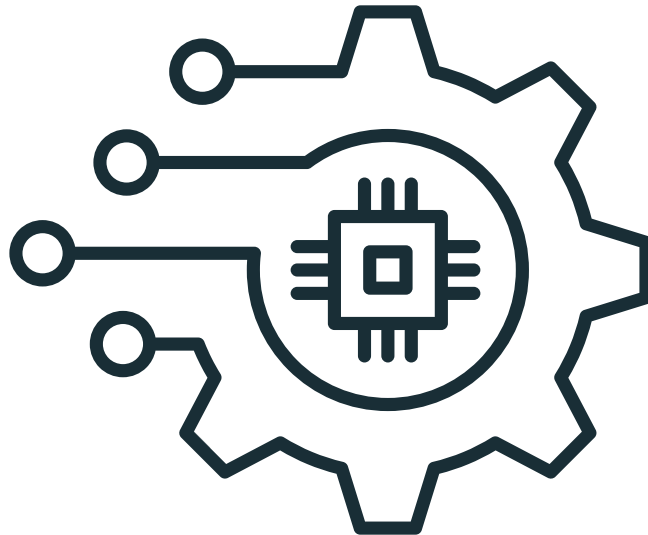


TECNOLOGÍAS PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA INDUSTRIA ARGENTINA



GUSTAVO BARUJ
EDITOR

TECNOLOGÍAS PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA INDUSTRIA ARGENTINA

GUSTAVO BARUJ
EDITOR



Baruj, Gustavo

Tecnologías para la transformación digital en la industria argentina / Gustavo Baruj.- 1a ed.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires : CIECTI, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4193-74-2


1. Tecnología Informática. 2. Industria Argentina. 3. Innovaciones. I. Título.
CDD 338.064

© 2023 CIECTI

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723.

Godoy Cruz 2390 - PB (C1425FQD), CABA
(54-11) 4899-5500, int. 5684
www.ciecti.org.ar / info@ciecti.org.ar

Seguinos en  @ciecti

Buscanos en  /ciecti

AUTORIDADES

ASOCIACIÓN CIVIL CIECTI

Presidente

Miguel Lengyel

Vicepresidente

Fernando Porta

Secretaria

Norma Pensel

EQUIPO EDITORIAL

Coordinación editorial

Fernando Porta

Celeste De Marco

Edición

Mara Sessa

Edición gráfica

Lea Ágreda

ÍNDICE

Introducción	5
<i>Gustavo Baruj</i>	
Capítulo 1	De las TIC y la digitalización a la industria 4.0 y la transformación digital 12
<i>Darío Vázquez</i>	
Capítulo 2	La transformación digital en el sector de dispositivos médicos 22
<i>Sergio Drucaroff y Darío Vázquez</i>	
Capítulo 3	La transformación digital en el sector de maquinaria agrícola 79
<i>Tomás Canosa y Francisco Arno</i>	
Capítulo 4	La transformación digital en el sector de procesamiento de productos lácteos 131
<i>Ricardo Cravero, Mario Garrapa y Roxana Páez</i>	
Anexo I	Listado de instituciones con potencial oferta para la transformación digital del sector de dispositivos médicos 192
Anexo II	Principales empresas e instituciones entrevistadas del sector de maquinaria agrícola 195
Anexo III	Listado de instituciones con potencial oferta para la transformación digital del sector de maquinaria agrícola 196
Anexo IV	Perfil de personas entrevistadas del sector lácteo 198
Autoras y autores	199

INTRODUCCIÓN

La irrupción de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en el ámbito de la producción es un fenómeno de larga data, que ha sido caracterizado como la tercera revolución tecnológica.¹ Desde la década de 1970, las TIC fueron moldeando la organización de la producción a partir de la automatización de procesos y la extensión y aceleración de las comunicaciones.² En consecuencia, una nueva división internacional del trabajo se fue configurando al ritmo de la externalización y deslocalización de las actividades productivas, en un contexto de ampliación de los mercados y transformación de los procesos de trabajo en los distintos países.³ A medida que las TIC fueron incrementando su eficacia y disminuyendo su costo, su aplicación se generalizó a los distintos sectores productivos, lo cual propició innovaciones que posibilitaron la transformación de los procesos productivos, la generación de nuevos productos y la emergencia de nuevas oportunidades de negocios y nuevos sectores —por ejemplo, el auge de la llamada “economía de los servicios”.

De esta manera, la digitalización de la economía pasó a ser una parte fundamental de las agendas de desarrollo productivo, lo que involucra la adopción e incorporación de tecnologías informáticas, así como la capacitación de la fuerza de trabajo para su uso y desarrollo. El objetivo de la creciente utilización de tecnología apunta a lograr una mejora en la eficiencia, la productividad y la competitividad.⁴

En la última década, una nueva oleada de innovaciones vinculadas a las TIC, conocida como industria 4.0,⁵ ha adquirido paulatinamente mayor relevancia en los procesos productivos. Se estima que el impacto de estas nuevas TIC en los próximos años llevará a una transformación radical de la economía global, de ahí que varios consideren a estas tecnologías como vehículos hacia la cuarta revolución industrial.⁶ Esto significa que las innovaciones no solo se dan en la industria de las TIC, sino que atraviesan las fronteras de todas las actividades económicas y con el potencial transformador de toda la industria.⁷

La agenda de transformación digital alcanza los desafíos aún inconclusos de la tercera revolución industrial, como la automatización y el uso de tecnologías digitales para aumentar la productividad —una asignatura pendiente para muchas firmas latinoamericanas—⁸ y al mismo tiempo, la adquisición, adopción y generación de las tecnologías de industria 4.0. En este sentido:

¹ Coriat, B. (1992). *El taller y el robot: ensayos sobre el fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica*, México, Siglo XXI Editores.

² Entre las tecnologías de la tercera revolución industrial se destacan los semiconductores, los chips, las máquinas-herramienta de control numérico, las computadoras y los sistemas CAD (diseño asistido por computadora) y CAM (fabricación asistida por computadora), los robots industriales, el uso de la informática y del software en la gestión de procesos (por ejemplo, planificación de insumos), los primeros teléfonos móviles. Véanse Coriat, *op. cit.*; González Martínez, J. (2003). *La producción en serie y la producción flexible: principios, técnicas organizacionales y fundamentos del cambio*, México, Universidad Autónoma Metropolitana.

³ Baldwin, R. E. (2012). “Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going”, Working Paper FGI-2012-1, julio, Fung Global Institute.

⁴ BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y Tecnalia (2021). “Metodología de digital innovation hubs (DIH) en América Latina y el Caribe”, julio, mimeo.

⁵ Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*, s/l, Foro Económico Mundial / Debate.

⁶ Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. y Hoffmann, M. (2014). “Industry 4.0”, *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, N° 4, pp. 239-242; UIA y OIT (Unión Industrial Argentina y Organización Internacional del Trabajo) (2019). “Diseño de un nuevo servicio de desarrollo empresarial para la transformación digital de pymes industriales argentinas ante el nuevo escenario económico de la pandemia por COVID-19”, mimeo.

⁷ Navarro, J. C. (2018). “El imperativo de la transformación digital. Una agenda del BID para la ciencia y la innovación empresarial en la nueva revolución industrial”, Banco Interamericano de Desarrollo.

⁸ Ídem.

La reciente combinación y convergencia de las tecnologías digitales –como el *machine learning*, los dispositivos móviles, los sensores, la tecnología *block-chain*, la inteligencia artificial y el internet de las cosas– ha dado lugar a innovaciones que están teniendo un fuerte impacto no solo en la industria TIC sino en otras, lo que despierta la noción de una nueva revolución industrial que toma forma con la digitalización de la economía en su totalidad y la potencial transformación de todas las industrias.⁹

Esta definición de transformación digital además trasciende las fronteras de la agenda tecnológica de las firmas en sus diferentes áreas de negocio –producción, comercialización, ventas, logística, etc.– y alcanza a toda la cadena de valor de las industrias y sus ecosistemas de negocios, traccionadas no solo desde la oferta por cuestiones de impacto en la competitividad de los fabricantes, sino fundamentalmente por la demanda, cuando la transformación digital surge para resolver nuevos problemas o nuevas formas de atenderlos con las tecnologías disruptivas de la industria 4.0.

Por lo tanto, esta agenda debe apuntar a la adopción de las nuevas tecnologías, al desarrollo de capacidades y a la conformación de ecosistemas innovadores que permitan generar demandas de transformación digital hacia los fabricantes. Conviene destacar que lejos de constituir inversiones tecnológicas enlatadas, la adopción y generación de soluciones tecnológicas 4.0 es un proceso altamente idiosincrático, particular y que se sustenta en capacidades endógenas, tanto desde los oferentes de soluciones como en los propios demandantes. Por ello, la transformación digital implica el surgimiento de nuevos desafíos en el ámbito del mercado de trabajo; requiere crear nuevos perfiles profesionales y demandas laborales para dar respuesta a las capacidades de las firmas.¹⁰

En este marco, el objetivo de la presente publicación es identificar y estimar algunas de las características salientes de las tecnologías asociadas con los procesos de transformación digital y la industria 4.0, y aportar una aproximación real a las particularidades específicas que adopta la demanda de transformación digital en tres sectores productivos de la Argentina: dispositivos médicos, maquinaria agrícola y procesamiento de productos lácteos.

Este trabajo surge a partir de un requerimiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) –a través de la División de Competitividad, Tecnología e Innovación– por obtener información sobre una muestra diversa de sectores productivos, para contar con insumos y antecedentes que nutran las iniciativas vinculadas con la reactivación y la transformación digital del sector productivo argentino en general y su potencial aplicación a programas de apoyo a las pymes argentinas en particular. Así, los estudios que se desarrollan a continuación fueron llevados a cabo en acuerdo con el BID por el Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI). Para ello, el CIECTI constituyó y coordinó tres equipos de trabajo especializados por temática, abocados a cada uno de los sectores analizados.¹¹

De tal modo, el libro se organiza de la siguiente manera. En el primer capítulo Darío Vázquez realiza una sucinta revisión acerca de qué es la industria 4.0, para posteriormente detallar las características principales de las tecnologías involucradas, así como sus posibles consecuencias sobre los procesos de trabajo, la organización de las actividades productivas, las transacciones económicas, los patrones de consumo y los reque-

⁹ Ídem.

¹⁰ UIA y OIT (Unión Industrial Argentina y Organización Internacional del Trabajo) (2019). “Diseño de un nuevo servicio de desarrollo empresarial para la transformación digital de pymes industriales argentinas ante el nuevo escenario económico de la pandemia por COVID-19”, mimeo.

¹¹ La investigación que dio base a este estudio finalizó en marzo de 2022.

rimientos de la fuerza laboral. Asimismo, se destaca el rol fundamental que puede ejercer el sector público en los procesos de transformación digital tanto a nivel productivo como social.

En el segundo capítulo, Sergio Drucaroff y Darío Vázquez analizan las características de la demanda de tecnologías para la transformación digital del sector productor de dispositivos médicos en la Argentina. Allí, los autores afirman que pese a que las tecnologías de la industria 4.0 están transformando notoriamente la industria de dispositivos médicos a nivel global, en la Argentina ese proceso es más incipiente. En este sentido se menciona que en el país los prestadores de salud han iniciado un progresivo sendero de incorporación de tecnologías 4.0 en sus dispositivos y servicios médicos, a partir de demandas más sofisticadas para mejorar la eficiencia operativa y la calidad de los servicios de salud. En paralelo, las tendencias hacia la incorporación de tecnologías 4.0 y de digitalización de procesos transversales a toda la manufactura también encuentran eco en la fabricación de dispositivos médicos. No obstante, los autores sostienen que las tendencias globales están lejos de ser homogéneas y que en la Argentina este proceso es aún incipiente.

El sector está compuesto por unas 265 empresas que emplean a 4.500 ocupados/as, según datos del Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, con una alta presencia de micro y pequeñas empresas—cerca del 80% de las firmas emplea a menos de 50 ocupados/as—. Dicha cantidad de ocupados/as representa el 0,4% del empleo registrado privado industrial. Sin embargo, su aporte al empleo no alcanza a explicar la mitad del total ocupado en el sector.¹²

En este capítulo, los autores se apoyan en metodologías cualitativas de relevamiento (entrevistas individuales, *focus groups* y formularios *online*), que toman como base la información aportada por más de 40 personas entrevistadas, correspondientes a 30 empresas del sector, así como por distintas áreas del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica y otras organizaciones del ámbito académico y empresarial. Además, se analiza el conjunto de instituciones de apoyo a la transformación digital y se obtiene un panorama de la oferta de servicios tecnológicos disponible para las firmas.

Entre los principales resultados, se destaca que las firmas del núcleo innovador del sector de dispositivos médicos local evidencian un elevado interés en la adopción y el uso de nuevas tecnologías, dado que el 70% de las firmas relevadas se encuentra desarrollando o ya ha implementado algún proyecto de transformación digital. No obstante, el grado de utilización y conocimiento de las tecnologías y sus aplicaciones a la realidad empresarial es muy heterogéneo, lo que se debe tanto a la variedad de productos en el sector como a la diversa situación de las firmas según tamaño o localización geográfica, entre otras variables. Así, al analizar las tecnologías que generalmente se vinculan con cambios en la conducta innovadora de la empresa y con generar capacidades propias nuevas—como el uso de nanotecnología, de *big data* y *analytics*, de inteligencia artificial o de gemelos digitales—, el porcentaje de firmas que está desarrollando alguna de estas actividades no supera un tercio de la muestra relevada. Al poner en contexto estos resultados, que se dan sobre el núcleo más dinámico del sector, es esperable que una porción significativa de los fabricantes en posiciones de menor desarrollo tecnológico revele una menor inserción en esta temática, y que la transformación digital sea aun más limitada de lo que estos números indican.

¹² No se consideró el empleo de la rama 3310 porque, si bien puede involucrar algunas empresas y empleo de dispositivos médicos, su participación es muy menor y resulta imposible de desagregar para su determinación cuantitativa con precisión.

También se identificaron las tecnologías cuya adopción es más ágil y tiende a ser más “enlatada”, entre las que se encuentran el uso de soluciones de almacenamiento en la nube y software de terceros como instrumentos de transformación digital, algo que no es sorprendente por su alta transversalidad hacia diversas áreas de gestión. Luego, se relevó el uso de instrumentos que no son estrictamente 4.0 pero que constituyen condiciones previas necesarias para la adopción de otras tecnologías (por ejemplo, Kaizen o sensorización); así, se halló que son de uso extendido, si bien no están totalmente implementadas en todas las firmas estudiadas. Finalmente, salvo por el alto grado de adopción de la impresión 3D, las tecnologías 4.0 son menos utilizadas aunque de sencilla adopción, sin capacidades endógenas de innovación.

Por otra parte, el estudio identifica limitaciones y obstáculos a la transformación digital que están por fuera de la órbita de las propias empresas del sector y dan lugar a distintas áreas de intervención. Entre las principales se encuentran la ausencia de una demanda sofisticada promotora de la transformación digital y de un mercado interno con dificultades para los fabricantes nacionales, la ausencia de una estrategia para compatibilizar la innovación nacional con los procedimientos de aprobación de dispositivos médicos basados en transformación digital, la inadecuada infraestructura tecnológica de soporte para la transformación digital en el ámbito de la salud y la indefinición de protocolos de comunicación y estándares tecnológicos. Los principales obstáculos relevados traen como consecuencia que las tecnologías con mayor potencial de cambio en la trayectoria innovadora de las firmas son las que menos se están instrumentando, ya sea por limitaciones del entorno regulatorio, de la demanda, del sistema de apoyo o de las propias capacidades de las empresas.

El estudio concluye sugiriendo una estrategia para el desarrollo del sector, orientada a cinco grandes áreas de intervención: fortalecer la coordinación institucional y las capacidades de las agencias clave, desarrollar un mercado dinámico que potencie la transformación digital en proveedores nacionales, desarrollar un plan de infraestructura de soporte a la transformación digital en los prestadores de salud, fortalecer y coordinar una red de centros tecnológicos e instituciones que permitan el acceso a servicios tecnológicos innovadores y promover la adecuación regulatoria a la innovación con agilidad en la aprobación de nuevos dispositivos médicos.

En el tercer capítulo, Tomás Canosa y Francisco Arno examinan las características de la demanda de tecnologías para la transformación digital de la maquinaria agrícola en la Argentina, con el objetivo de identificar su grado de avance tanto en el sector en general como en cada empresa en particular. El análisis destaca que el sector está conformado por unas 1.200 firmas que representan el 1,6% del valor agregado bruto de la industria manufacturera, y el 25% de la rama de maquinaria y equipos a la vez emplea directamente a unos 12.300 trabajadores/as. En el país conviven compañías de capitales nacionales con una alta prevalencia de pymes y con la presencia de multinacionales: las firmas nacionales se especializan en la fabricación de sembradoras, pulverizadoras autopropulsadas, cabezales para cosechadoras, tolvas autodescargables, silos y secadoras, mientras que las multinacionales, en cosechadoras y tractores. Asimismo, se resalta que el sector cuenta con un atributo que no se da en todos los entramados industriales: el 85% de la producción sucede en localidades que cuentan con menos de 100 mil habitantes, principalmente de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba.

La metodología de trabajo para este capítulo se basó, por un lado, en una exhaustiva revisión de la literatura especializada y actualizada en la materia, tanto nacional como internacional; por otro, se efectuaron 36 entrevistas a ejecutivos/as de empresas de maquinaria agrícola y agropartista de diferentes subrubros del

sector, funcionarios/as del Poder Ejecutivo, organismos descentralizados y expertos/as de la academia y del sector privado.

En su desarrollo, los autores destacan que la totalidad de las empresas entrevistadas han llevado adelante o están emprendiendo el camino hacia la transformación digital, lo que refleja que esta agenda se encuentra presente en firmas pequeñas, medianas y grandes, y en las agropartistas y fabricantes de equipos. Sin embargo, resaltan que las empresas de mayor tamaño relativo o fabricantes de equipos de maquinaria agrícola son las más avanzadas y que en general han implementado más de un proyecto de transformación digital.

Al momento de identificar cuáles son las principales tecnologías vinculadas con la transformación digital utilizadas, se registró una amplia variedad. Entre ellas, la creciente incorporación de sensores —el 60% de las empresas entrevistadas los usa—, la reciente automatización —el total de las empresas entrevistadas emplea en sus procesos productivos máquinas de corte láser, máquinas CNC (control numérico computarizado), plegadoras automáticas u otras máquinas similares— y el progresivo almacenamiento de información en la nube —el 69% de las firmas relevadas emplea este sistema—. La utilización de inteligencia artificial y de impresoras 3D, si bien se verifica en algunas empresas, luce aún incipiente.

Entre los principales obstáculos para la adopción de la transformación digital en las firmas se identificaron: la conectividad, la compatibilidad, la interoperabilidad y la comunicación entre dispositivos; la falta de estandarización; la contratación y retención de personal calificado, la coordinación de esfuerzos públicos y privados; y la incertidumbre sobre los beneficios potenciales y reales de los proyectos asociados con la transformación digital.

El análisis se completa con el reconocimiento de posibles espacios de intervención para avanzar en la transformación digital del sector. Así, los autores aportan propuestas para que las firmas accedan a financiamiento que impulsen la demanda y las inversiones —de manera de promover la capacitación de los recursos humanos—, que diseñen políticas para mejorar la conectividad, que propicien esfuerzos de investigación y desarrollo (I+D) interna y tracen una hoja de ruta que marque el rumbo hacia la transformación digital.

En el cuarto y último capítulo, Ricardo Cravero, Mario Garrapa y Roxana Páez analizan las características de la demanda de tecnologías para la transformación digital en el sector de procesamiento de productos lácteos. Allí se destaca que la cadena de valor láctea argentina es un actor importante en el contexto agroindustrial del país, dado que su distribución territorial y el hecho de que contenga actividades capital intensivas y otras mano de obra intensivas la convierten en un motor para el desarrollo y el despegue de las economías regionales. La cadena se encuentra integrada por unos 10.400 tambos y alrededor de 670 usinas lácteas, que dan empleo directo e indirecto a más de 180 mil personas.

Si bien la radiografía completa y detallada del sector industrial exhibe el retrato de un conjunto heterogéneo de firmas de diferentes tamaños, orientaciones productivas y grados de desarrollo tecnológico, el eslabón estudiado está integrado mayoritariamente por pymes queseras, que comercializan su producción casi con exclusividad en el mercado interno. En el extremo superior, el 5% de las empresas más grandes procesan dos tercios del total de la leche generada en los tambos de la Argentina, con importante presencia en los mercados de exportación y niveles de productividad variables. No obstante ello, la y los autores afirman que, incluso en el estrato industrial de mayor escala, los niveles de adopción de innovaciones tecnológicas de vanguardia aún permanecen en una fase incipiente. Solo una pequeña fracción de las empresas ha incurrido

nado activamente en el sendero de la transformación digital, mientras que la mayoría de las firmas todavía se ubica lejos de la frontera tecnológica.

Para desarrollar el trabajo, se llevó a cabo un relevamiento cuali-cuantitativo a través de la revisión de información secundaria combinada con entrevistas a 99 referentes que aportaron información sobre 187 empresas, que representan el 66% de la leche procesada. A partir de los datos relevados, se exploraron las características particulares de tres tipologías de firmas del sector –pequeñas, medianas y grandes– según los volúmenes de leche procesados, en los que resulta posible identificar ciertos rasgos productivos particulares.

Los resultados muestran que los tres rangos explorados presentan cualidades muy disímiles en cuanto al grado de evolución de su transformación digital. En general, se observa que las empresas grandes y algunas medianas realizan inversiones en la automatización de las líneas de alta producción para aumentar la productividad, de acuerdo con sus posibilidades financieras y de negocios. Estas firmas suelen operar con proveedores internacionales, quienes ofrecen paquetes tecnológicos completos, en su mayoría subutilizados, ya que no se explotan todas las funcionalidades que ofrecen los sistemas de control SCADA (*supervisory control and data acquisition*) para ir hacia la esencia 4.0. El análisis de las empresas que cuentan con ERP (*enterprise resource planning*) instalados y en funcionamiento permite extraer aprendizajes sobre los beneficios de las herramientas creadas para trabajar en entornos 4.0. No obstante, a pesar de su creciente utilización en el sector industrial argentino, por el momento ninguna empresa se encuentra operando en condiciones 4.0 de manera completa.

Para las firmas pequeñas y medianas, los datos aportados en el estudio reflejan que la inversión en automatización suele ser muy costosa. Por consiguiente, todavía existe un amplio margen de crecimiento para la incorporación de este tipo de tecnologías. Entre las principales razones que justifican la baja implementación de sistemas automatizados se mencionan el retraso tecnológico que caracteriza a los sistemas de producción predominantes, las limitaciones asociadas a la gestión de las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes), la ausencia de una estrategia clara de negocios y la escasez de instrumentos financieros ajustados a los indicadores de retorno que pueden lograrse con la inversión.

Aun así, la y los autores de este último capítulo avizoran espacios donde resulta factible dar un salto en la tecnificación y digitalización de las empresas, tales como la trazabilidad del proceso y del producto y la incorporación de herramientas de gestión comercial. En estos casos, se trata de inversiones de menor costo relativo que se hallan al alcance de las firmas de menor escala y ofrecen expectativas optimistas en la ecuación costo/beneficio. Otra posible vía conducente hacia la transformación digital 4.0 sería la generación y el fortalecimiento de proveedores locales y regionales que aporten soluciones escalables para que las mipymes puedan ir conociendo y aplicando tecnologías 4.0 de acuerdo con sus recursos económicos y humanos.

El fuerte avance de las TIC y de la IIOT (internet industrial de las cosas) también ha generado nuevos emprendedores/as conectados e integrados a las pymes a un costo relativamente más accesible. En este sentido, se propone promover su crecimiento mediante el aporte de los sectores de I+D de las universidades y centros afines. Asimismo, el rol de la cultura empresarial –en particular la apertura, o la falta de ella, de las firmas a las nuevas tecnologías y su impacto positivo sobre la competitividad del negocio– resulta una variable crítica para el éxito de las pymes. Para ello, el estudio sostiene que es importante trabajar en la brecha que existe entre la cultura y la tecnología, con foco en aquellas empresas que transitan actualmente un proceso de recambio generacional.

Además de señalar la necesidad de promover un escenario de mayor asociativismo empresarial en el sector, la y los autores plantean que el avance hacia la transformación digital 4.0 del sector lácteo argentino podría lograrse con la creación de políticas de intervención segmentadas y diferenciales, que partan de reconocer las diferencias y las características propias de los distintos estratos empresariales. En este sentido, estiman necesario evidenciar casos concretos, medir resultados y presentarlos al resto de las empresas, como estrategia para sensibilizar y sumar voluntades de cambio al interior del sector.

A modo de cierre, mediante los distintos estudios expuestos en este volumen se espera visibilizar las principales características que la transformación digital presenta en cada uno de los sectores analizados y los avances que estos han tenido a la fecha, mostrar las instituciones más relevantes que están participando del proceso en apoyo a las empresas de cada sector y revelar los obstáculos más significativos que dificultan una mayor evolución en esta transformación. De esta manera confiamos que sirvan como insumo para la reflexión y el debate a la hora de idear intervenciones de política pública en general y para cada sector en particular.

Gustavo Baruj

////////////////////

Capítulo 1

De las TIC y la digitalización a
la industria 4.0 y la transformación digital

Darío Vázquez

¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0?

La industria 4.0 comprende un conjunto de tecnologías que plantean un nuevo paradigma de “fabricación inteligente” (Motta, Morero y Ascúa, 2019). Este paradigma implica la organización de los procesos de producción basada en el uso de dispositivos interconectados de manera autónoma y automatizada (European Parliament, 2016), con el objetivo de llegar a la recolección y el procesamiento automatizados de la información a lo largo de toda la cadena de valor, para mejorar la eficiencia de la gestión de insumos y la conexión con las necesidades del cliente, y extender esta lógica a todos los procesos de gestión de la empresa (producción, venta, posventa, aprovisionamiento, etc.). El paradigma de la industria 4.0 está conformado por las siguientes tecnologías a nivel general (Schwab, 2016; Motta, Morero y Ascúa, 2019; Drucaroff, 2020a; UNIDO, 2020; BID y Tecnalía, 2021; Navarro, 2018):

- > Internet de las cosas (IoT): comunicación multidireccional entre dispositivos, objetos y personas a través de internet. Se basa en la incorporación de sensores para la recolección de información en cualquiera de las etapas de producción –incluso en el producto final–, para mejorar la experiencia del cliente/a y realizar innovaciones incrementales a futuro.
- > *Big data*: análisis de grandes volúmenes de datos para la mejora de procesos, productos, predicción de fallas y anticipación de operaciones de mantenimiento, inteligencia comercial, etcétera.
- > Computación en la nube (*cloud computing*): almacenamiento de grandes volúmenes de datos en grandes servidores con acceso en red compartido, para acelerar su disponibilidad y reducir costos operativos. Resulta clave para la proliferación de *big data*, así como para la complejización de los servicios basados en software (*software as a service*) y las plataformas.
- > Inteligencia artificial: desarrollo de aplicaciones, dispositivos o programas que adquieren capacidades cognitivas similares a las redes neuronales. Para esto, resultan esenciales los algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*), que usan grandes cantidades de datos como insumo, y los de aprendizaje profundo (*deep learning*), que jerarquizan los algoritmos en redes neuronales para ser utilizados en distintos contextos.
- > Robots autónomos y colaborativos: automatización de procesos por medio de robots que reemplazan las actividades previamente desarrolladas por humanos y también con la colaboración entre robots y humanos en diferentes procesos productivos.
- > Sistemas de Integración: coordinación en tiempo real de sistemas de información de la firma con otras firmas en las cadenas de valor (proveedor/a-cliente/a) para la toma de decisiones y coordinación operativa de la producción.
- > Impresión 3D o manufactura aditiva: reproducción de partes, piezas, componentes y equipos sobre la base de un diseño que posibilita la producción en series cortas, prototipos y modelos de prueba.
- > Realidad virtual y aumentada: herramientas de simulación o de visualización de entornos reales que permiten la mejora de procesos y la formación de capacidades en entornos de alta complejidad.

A las tecnologías mencionadas, una parte de la literatura adiciona otras que presentan también un potencial de vinculación y de innovación relevantes, como las tecnologías blockchain, que aportan ventajas importantes en términos de trazabilidad de datos y en aplicaciones para ciberseguridad y computación cuántica –con potencial para acelerar la velocidad de muchos procesos en el futuro–, o bien para biotecnología –por ejemplo, en genómica– y nanotecnología y ciencias de los materiales (Rüßmann *et al.*, 2015; Pérez González, Solana González, y Trigueros Preciado, 2018; Motta, Morero y Ascúa, 2019; UNIDO, 2020; BID y Tecnalía, 2021).

Lo cierto es que, más allá de la definición específica de industria 4.0, muchas y muchos autores reconocen en este conjunto de tecnologías un potencial de impacto sobre los procesos productivos, de consumo y de socialización que podría ser asimilado al de una cuarta revolución industrial (Lasi *et al.*, 2014; Schwab, 2016; Skilton y Hovsepian, 2018). Otras y otros son más escépticos sobre la idea de considerar la industria 4.0 como un salto tecnológico y social disruptivo, debido a que consideran la proliferación de estas tecnologías y el mayor despliegue de su potencial como un resultado de la profundización de la tercera revolución tecnológica: la caída tendencial en el precio de los sensores, los microcontroladores y las minicomputadoras con elevada potencia de cálculo, así como la masificación en el uso de internet y el progreso de la conectividad, explicarían en buena parte su impacto actual y futuro (Kagermann *et al.*, 2013; Casalet, 2018; Reischauer, 2018; Brixner *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2020; entre otros).

Más allá de este debate, es importante notar que, a diferencia de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que caracterizaron la tercera revolución tecnológica, las tecnologías de la industria 4.0 presentan una serie de rasgos distintivos, que auguran un impacto relevante cada vez mayor a futuro a lo largo de distintas esferas sociales. En primer lugar, el propio concepto de industria 4.0 involucra una lógica de incremento constante en la cantidad de dispositivos conectados o con potencial de conexión. Segundo, las potencialidades se multiplican por las llamadas “tres V”: volumen, variedad y velocidad de circulación y procesamiento de la información (BID y Tecnia, 2021). Cabe agregar que esta mayor circulación de los datos, así como el aumento en su velocidad, se ve posibilitado en gran parte por muchas tecnologías esenciales para la industria 4.0, como el IoT o el *cloud computing*, mientras que podría incrementarse incluso más por tecnologías relacionadas, como la computación cuántica. Por último, un elemento fundamental que distingue a la industria 4.0 es la mayor convergencia o fusión de tecnologías de distinta base tecnológica (Casalet, 2018; Andreoni, Chang y Labrunie, 2021).

El nuevo marco exige, entonces, no solo promover una mayor difusión del conocimiento, sino fomentar la transdisciplinariedad para hacer frente a la creciente interdependencia y complejización de ese conocimiento en pos de resolver problemas y mejorar el desempeño innovador y competitivo. Las estrategias de este nuevo contexto se enmarcan en la agenda de transformación digital (Navarro, 2018; Suaznábar y Henríquez, 2020). Una particularidad de la industria 4.0 es que el avance tecnológico podría llevar a todo tipo de desenlaces, que se traducen en que la capacidad de previsión se vuelva más difusa, ya que se alteran, entre otras variables claves, la reorganización dentro de las firmas, las estrategias de integración vertical/horizontal, el impacto sobre el empleo y las estrategias de inserción internacional (UIA y OIT, 2019).

LOS DESAFÍOS DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

Si bien los términos “digitalización” y “transformación digital” suelen ser utilizados como sinónimos, a los fines de este documento se consideran etapas distintas de un proceso que confluye hacia resultados similares. La digitalización es el proceso de incorporación de TIC a los productos, procesos y estrategias de una organización o institución (BID y Tecnia, 2021). La transformación digital, por su parte, coloca el énfasis en el uso de esas TIC para mejorar el desempeño de una empresa –en términos de productividad, competitividad e innovación– en distintas áreas relacionadas no solo con sus procesos internos, sino también con el cliente/a, con los proveedores o la generación de nuevos modelos de negocio (Westerman, Bonnet y McAfee, 2014; Suaznábar y Henríquez, 2020).

Desde la perspectiva de este trabajo, la transformación digital involucra una profundización del proceso de digitalización –promovido a partir de la tercera revolución tecnológica– respecto de la posibilidad de incrementar las conexiones entre tecnologías –así como la relación humano-tecnología–, con el objetivo de mejorar las prácticas y la eficiencia de las organizaciones. En este sentido, la transformación digital no abarca únicamente la agenda de acceso a las TIC –por lo tanto, a los procesos de automatización y acceso a la información que estas implican y promueven– y de formación de capacidades vinculadas con su incorporación y uso. Como se comentó previamente, la transformación digital involucra también, y sobre todo, la actualización y complejización del uso de las TIC, así como el fomento de competencias relacionadas con su adopción, uso y desarrollo. En este aspecto, se puede entender una triple búsqueda a nivel tecnológico, que presenta un correlato específico en términos de capacidades: incrementar la adopción de las nuevas TIC; mejorar la eficiencia en su utilización para poder administrar mejor los beneficios que ofrecen en términos de generación de información relevante para las organizaciones y su potencial interactivo para la creación de entornos competitivos; y propiciar el desarrollo de las nuevas TIC para poder resolver problemas específicos de manera idiosincrática, fomentando la formación interdisciplinaria y transdisciplinaria, así como la combinación de tecnologías y los ambientes colaborativos. El resultado esperable de estas acciones no solo implica mantener la competitividad, sino incrementarla, tanto en la organización individual como en su entorno de colaboración.

En los últimos tiempos, debido a la pandemia global del COVID-19 y a las medidas de confinamiento, distanciamiento social y rastreo de casos relacionadas con ella, el proceso de digitalización de muchas empresas se produjo de manera forzosa (Suaznábar y Henríquez, 2020; BID y TecNALIA, 2021), lo que resaltó los beneficios que ofrece el entorno digital para las firmas y los desafíos que supone profundizar la transformación digital hacia la adopción y el desarrollo de la industria 4.0. El distanciamiento social generó nuevas necesidades de soluciones digitales en las formas de, entre otras variables, producir, consumir y educar (BID y TecNALIA, 2021).

Sin embargo, este proceso de digitalización forzosa es apenas el punto de partida. La velocidad del cambio tecnológico vinculado con la industria 4.0 plantea desafíos específicos, que la agenda de la transformación digital ha recogido en dos niveles o estrategias distintas:

- > En primer lugar, hay autores/as que destacan la importancia de la sensibilización en los mandos medios y estratégicos de las firmas sobre el alcance y el potencial que implica la industria 4.0, y plantean una serie de abordajes microeconómicos para que esas empresas puedan adaptarse a la nueva oleada y mejorar su desempeño.
- > En segundo lugar, varios trabajos ponen el énfasis en el abordaje colectivo e interactivo necesario para comprender la potencialidad de las nuevas tecnologías y aprovechar sus beneficios. En esta línea, la principal acción a considerar es la configuración de entornos colaborativos que fomenten la resolución de problemas y la innovación, lo que se resume en las ideas de los *hubs* de innovación digital, la innovación abierta, entre otros.

El desafío para la agenda de la transformación digital es aun mayor para países en vías de desarrollo, como los de América Latina (Navarro, 2018; UIA y OIT, 2019; BID y TecNALIA, 2021). La transformación digital representa una oportunidad para que las naciones de la región puedan resolver los problemas socioeconómicos que atraviesan hace décadas, al aumentar potencialmente la productividad de las empresas y mejorar la inclusión y el bienestar (BID y TecNALIA, 2021). Navarro (2018) plantea que las herramientas vinculadas con

la transformación digital permiten acortar las distancias existentes entre usuarios/as y fabricantes y entre compradores/as y vendedores/as, mediante la reducción de los costos de información e ingreso en los diversos mercados. Asimismo, menciona activos que existen en América Latina asociados a la riqueza en los recursos naturales y posibilidades de avanzar en soluciones relacionadas con estos activos.

De esta manera, si bien la agenda de la transformación digital puede ser una oportunidad, Navarro (2018) alerta sobre el riesgo que implica que los países de la región no se sumen a esta agenda y no logren desarrollar una rápida adaptación al cambio, y que sus empresas y sistemas productivos no puedan aprovechar las oportunidades que ofrece la economía digital. Las dos limitaciones que *a priori* están presentes en la región son la infraestructura de la banda ancha y una industria del software que en la mayoría de los países no está del todo desarrollada.¹

Navarro (2018) también resalta que si bien el sector privado puede impulsar las inversiones para promover esta agenda, es necesaria la articulación con el sector público para evitar que suceda lo registrado en experiencias previas. Más aún, la transformación digital no solo impacta en el modo de producir dentro de las empresas, sino que reconfigura los patrones de consumo.

El desafío que representa esta agenda para las empresas está vinculado con el desarrollo de nuevos modelos de negocios y la modificación en las formas de producir, de gestionar el negocio y de vincularse con las y los clientes y proveedores. En este sentido, BID y TecNALIA (2021) y Navarro (2018) incorporan algunas soluciones para resolver estos obstáculos respecto de mejorar el despliegue de infraestructuras digitales, promover una modernización institucional acorde a la economía digital, fomentar el desarrollo de industrias digitales, impulsar la digitalización de los hogares, avanzar en la alfabetización digital de la población y apoyar el desarrollo acelerado de ecosistemas digitales.

Asimismo, se alerta sobre los riesgos de no avanzar correctamente en esta agenda. Si las cadenas globales de valor son el canal a partir del cual se difunden las tecnologías vinculadas con la industria 4.0, quienes tengan el control de ellas tendrán una ventaja inicial sobre el resto. Por lo tanto, la ausencia de políticas e iniciativas activas en los países en vías de desarrollo podría llevar a que las ganancias de productividad derivadas de la industria 4.0 sean concentradas en las naciones más avanzadas (UIA y OIT, 2019).

LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL A NIVEL DE LA FIRMA

La transformación digital impacta en todas las esferas donde interviene una empresa, ya que potencialmente se aumenta la capacidad de codificar conocimiento, que sin estas tecnologías sería difícil de almacenar, analizar y utilizar (Navarro, 2018). Como destaca Albukhitan, el proceso de transformación digital en el contexto de la empresa manufacturera “es más que únicamente implementar nueva tecnología, invertir en herramientas o actualizar los sistemas existentes [...], las compañías requieren planificar y ser diseñadoras activas de su futuro” (2020, p. 1, traducción propia). Por lo tanto, en la estrategia de transformación digital desde el abordaje microeconómico es posible encontrar tres elementos principales que se encuentran en línea con la teoría evolucionista neoschumpeteriana del cambio tecnológico (Nelson y Winter, 1982; Dosi y Nelson, 1994). Por una parte, la innovación es vista como un proceso orientado a la resolución de problemas especí-

¹ Navarro (2018) menciona como excepciones determinados polos digitales que existen en la Argentina, Brasil, Uruguay y México.

ficos, por lo que las organizaciones buscan soluciones a sus problemas a partir de sus rutinas, en función del conocimiento previamente acumulado y sus capacidades existentes. Además, lo hacen de manera interactiva, involucrando a sus clientes/as y proveedores en el proceso de cambio (Lundvall, 1985; Von Hippel, 2009). Finalmente, durante el proceso de innovación la firma modifica sus rutinas a partir del aprendizaje, lo que en el caso de la transformación digital involucra el desarrollo de tres competencias específicas: “sensibilización, toma de decisiones informada y rápida implementación” (Albukhitan, 2020, p. 1, traducción propia).

En esta dirección, Albukhitan (2020) presenta un esquema para la transformación digital en firmas manufactureras compuesto por seis fases específicas que sirven como orientación en el proceso:

1. Visión estratégica: la firma debe definir sus objetivos y su visión sobre la transformación digital desde un punto de vista holístico en torno al potencial que la estrategia implica para una mejora del negocio, mucho más que una mejora limitada de algún proceso individual. Delimitar cuál es el escenario de éxito y orientar la incorporación de tecnologías a la resolución de problemas es mucho más importante que adquirir soluciones ya estandarizadas que no abordan completamente los problemas específicos existentes. La estrategia debe pensarse en función de que las mejoras se puedan extender también a las y los clientes y empleados, lo que facilita la implementación.
2. Evaluación de las competencias existentes: consiste en un relevamiento del grado actual de digitalización, así como de las capacidades que pretenden impulsarse con el proceso de transformación digital.
3. Diseñar la experiencia del usuario/a y del empleado/a: resulta importante involucrar a las y los distintos actores al interior de la firma en el proceso y buscar complementariedades con el resto de la cadena de valor (proveedores, logística, mantenimiento, etc.) y los clientes/as.
4. Revisar las soluciones requeridas y los proveedores adecuados.
5. Crear un mapa de implementación de la transformación digital.
6. Ajustar la infraestructura y la cultura organizacional.

En esta estrategia multifocal, resulta fundamental el enfoque colaborativo a nivel de la empresa y la contemplación de las especificidades que implica la adopción y el uso de las nuevas tecnologías.

Más allá de estas especificidades, otros autores/as plantean un ordenamiento de la fase de implementación para las tecnologías de la industria 4.0 en términos genéricos, siguiendo un patrón de complejidad (cuadro 1). En este sentido, el ingreso a la industria 4.0 para una firma debería partir conceptualmente de la implementación y el mejoramiento de la infraestructura básica vinculada a las nuevas TIC, como la adquisición –o desarrollo– y puesta a punto de sensores, routers o software de gestión. Una fase superior se relacionaría, en términos generales, con la posibilidad de explotar eficientemente la información recolectada por esa infraestructura básica en pos de usarla en beneficio de los distintos eslabones de la cadena de valor, así como de las y los clientes. Adicionalmente, se integrarían robots conectados a algunos de esos eslabones. Una última fase involucraría la expansión y optimización de estas herramientas para poder sacar pleno provecho de la automatización e interconexión de dispositivos, y del análisis en tiempo real de los datos y beneficios de la industria 4.0 para la modelización, la simulación y el prototipado.

No obstante, estas fases se encuentran planteadas en forma genérica, pero las necesidades tecnológicas y las formas en que las tecnologías se aplican poseen especificidades sectoriales, lo que vuelve borrosas las fronteras entre una fase y otra en términos de tecnologías. Las fases reflejan más precisamente el potencial

que una empresa puede aprovechar de la transformación digital según el grado de digitalización implicado. Si bien estas estrategias redundarían en mejoras para la firma, UIA y OIT (2019) sostienen que este camino más que una opción es una estrategia de supervivencia.

Cuadro 1 Fases de implementación de las tecnologías de la industria 4.0

Fases	Descripción	Implementaciones características
Inicial	Establecimiento de la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> > Instalación de hardware para automatización de procesos, conectividad y almacenamiento de datos (sensores PLC, pantallas HMI, routers wifi, etc.) > Instalación de software de gestión tradicional (ERP, CMAO, CRM, MRP, etc.)
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
De expansión	Fabricación inteligente	<ul style="list-style-type: none"> > Software de <i>big data</i> y analítica predictiva > IoT > Impresión aditiva > Realidad virtual y realidad aumentada

Fuente: Motta, Morero y Ascúa (2019).

En resumen, pueden visualizarse un conjunto de capacidades y desafíos organizacionales a superar para que las firmas incorporen a su agenda de desarrollo empresarial la transformación digital. Estas líneas dan un marco conceptual sobre el cual el relevamiento hará foco al momento de identificar el “cómo” pueden lograrse estas transformaciones y “cuáles” son las dificultades específicas en cada sector y en el contexto argentino, de modo de orientar los resultados hacia el diseño de instrumentos de política pública.

EL ROL DEL SECTOR PÚBLICO EN LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

El sector público puede ejercer un rol fundamental en el proceso de transformación digital en distintos niveles (Navarro, 2018; UIA y OIT, 2019). Primero, a partir de completar los casilleros aún vacíos respecto del ingreso al mundo digital tanto para las personas como para las organizaciones. Esto incluye no solo la provisión de bienes públicos y bienes comunes vinculados con la infraestructura de digitalización y el acceso a internet, sino también a la generación de capacidades básicas en programación y el diseño de programas de apoyo y ayuda financiera para la mejora de las competencias relacionadas con los requerimientos de la sociedad digital. Segundo, mediante la articulación y el fomento de interacciones entre los distintos actores/as que puedan aportar conocimientos claves para la innovación de productos y procesos. Es decir, promover la difusión del conocimiento y el diseño de ámbitos colaborativos –como los hubs de innovación digital–, acercando sobre todo a las firmas pequeñas y medianas. Tercero, al favorecer la digitalización desde el entramado institucional, a los fines de que sean las propias instituciones las que protagonicen el proceso de transformación digital.

Es importante aclarar que la transformación digital de la economía involucra ámbitos muy diversos de las sociedades modernas, los cuales contienen, pero también superan, al ámbito estrictamente productivo. No obstante, en el presente libro se hará foco en evaluar los patrones de adopción, uso y desarrollo de las tecnologías de la industria 4.0, exclusivamente en los procesos industriales. Por lo tanto, se evaluará en última

instancia el grado de transformación digital de los procesos de producción en tres sectores de la estructura productiva argentina, que se destacan por su potencial de incorporación a la nueva economía digital, así como por los desafíos para una aceleración de dicha transformación.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBUKHITAN, S. (2020). "Developing Digital Transformation Strategy for Manufacturing", *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 664-671. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.173>.
- ANDREONI, A., CHANG, H. J. Y LABRUNIE, M. (2021). "Natura non facit saltus: Challenges and opportunities for digital industrialisation across developing countries", *The European Journal of Development Research*, vol. 33, N° 2, pp. 330-370.
- BALDWIN, R. E. (2012). "Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going", Working Paper FGI-2012-1, julio, Fung Global Institute.
- BID (BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO) Y TECNALIA (2021). "Metodología de digital innovation hubs (DIHs) en América Latina y el Caribe", julio, mimeo.
- BRIXNER, C., ISAAK, P., MOCHI, S., OZONO, M., SUAREZ, D. Y YOGUEL, G. (2020). "Back to the future. Is industry 4.0 a new techno-organizational paradigm? Implications for Latin American countries", *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, N° 7, pp. 705-719.
- CASALET, M. (2018). "La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa", Estudios de casos", Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95), Santiago de Chile, CEPAL.
- CORIAT, B. (1992). *El taller y el robot: ensayos sobre el fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica*, México, Siglo XXI Editores.
- DOSI, G. Y NELSON, R. R. (1994). "An introduction to evolutionary theories in economics", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 4, N° 3, pp. 153-172.
- DRUCAROFF, S. (2020a). "Diseño de un nuevo servicio de desarrollo empresarial para la transformación digital de pymes industriales argentinas ante el nuevo escenario económico de la pandemia por COVID-19", UIA/OIT, inédito.
- DRUCAROFF, S. (2020b). "Políticas para promover la autonomía sanitaria basada en el desarrollo de proveedores locales de dispositivos médicos y kits de diagnóstico", Buenos Aires, CEPAL.
- EUROPEAN PARLIAMENT (2016). "Industry 4.0", Bruselas, European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy (ITRE), Policy Department A: Economic and Scientific Policy.
- KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A. Y WAHLSTER, W. (2013). "Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. Securing the future of German manufacturing industry", Berlín, Forschungsunion.
- LASI, H., FETTKKE, P., KEMPER, H. G., FELD, T. Y HOFFMANN, M. (2014). "Industry 4.0", *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, N° 4, pp. 239-242.
- LEE, K., WONG, C. Y., INTARAKUMNERD, P. Y LIMAPORNVANICH, C. (2020). "Is the Fourth Industrial Revolution a window of opportunity for upgrading or reinforcing the middle-income trap? Asian model of development in Southeast Asia", *Journal of Economic Policy Reform*, vol. 23, N° 4, pp. 408-425.
- LUNDVALL, B.-Å. (1985). "Product innovation and user-producer interaction", *The Learning Economy and the Economics of Hope*, vol. 19, pp. 19-60.
- MOTTA, J., MORERO, H. Y ASCÚA, R. (2019). "Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina", Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/93), Santiago de Chile, CEPAL.
- NAVARRO, J. C. (2018). "El imperativo de la transformación digital. Una agenda del BID para la ciencia y la innovación empresarial en la nueva revolución industrial", BID.
- NELSON, R. R. Y WINTER, S. G. (1982). "An evolutionary theory of economic change", University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship. Disponible en https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1496211.
- 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*, N° 409, pp. 37-45.
- REISCHAUER, G. (2018). "Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize systemic innovation in manufacturing", *Academy of Management Proceedings*, vol. 2018, N° 1, agosto.
- RÜßMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., ENGEL, P., HARNISCH, M. Y JUSTUS, J. (2015). "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", 9 de abril, Boston Consulting Group. Disponible en <https://www.bcg.com>.

- bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.
- SCHWAB, K.** (2016). *La cuarta revolución industrial*, s/l, Foro Económico Mundial / Debate.
- SKILTON, M. Y HOVSEPIAN, F.** (2018). *The 4th Industrial Revolution: Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*, Cham, Springer Nature.
- SUAZNÁBAR, C Y HENRÍQUEZ, P.** (2020). "Transformación digital empresarial: ¿cómo nivelar la cancha?", Washington, BID. Disponible en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Transformacion-digital-empresarial-Como-nivelar-la-cancha.pdf>.
- UIA Y OIT (UNIÓN INDUSTRIAL ARGENTINA Y ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO)** (2019). "Diseño de un nuevo servicio de desarrollo empresarial para la transformación digital de pymes industriales argentinas ante el nuevo escenario económico de la pandemia por COVID-19", mimeo.
- UNIDO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL)** (2020). "Industrial Development Report 2020. Industrializing in the digital age", Viena, UNIDO.
- VON HIPPEL, E.** (2009). "Democratizing Innovation: The Evolving Phenomenon of User Innovation", *International Journal of Innovation Science*, vol. 1, N° 1, pp. 29-40. Disponible en <https://doi.org/10.1260/175722209787951224>.
- WESTERMAN, G., BONNET, D. Y MCAFEE, A.** (2014). "The Nine Elements of Digital Transformation", *MIT Sloan Management Review*, vol. 55, N° 3, 7 de enero, pp. 1-6. Disponible en <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>.

////////////////////

Capítulo 2

La transformación digital en el sector de dispositivos médicos

Sergio Drucaroff y Darío Vázquez

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la industria 4.0 (Schwab, 2016; UNIDO, 2020) están transformando notoriamente la realidad productiva de las empresas a nivel internacional, lo que no solo plantea desafíos para las firmas en relación con su competitividad, sino que ha impulsado a distintas instituciones tanto del ámbito público como del privado a abordar una agenda orientada hacia la transformación digital (Navarro, 2018; UIA y OIT, 2019; BID y Tecnalía 2021). Si bien esta agenda es transversal a los distintos sectores de actividad y a las diversas regiones, implica desafíos diferenciados dada la elevada heterogeneidad de la estructura productiva en los países en desarrollo, particularmente en la Argentina. En el presente informe se evalúa en especial la situación del sector de dispositivos médicos.

En la Argentina, este sector se compone de empresas que abastecen de manera directa o indirecta a prestadores del ámbito de la salud, con una oferta amplia que incluye máquinas, insumos o descartables para diversos usos, tales como incubadoras, servoincubadoras y equipos de asistencia para neonatología, desfibriladores, cardioversores, simuladores biológicos, equipos y accesorios de esterilización, equipos de diagnóstico por imágenes de rayos X, mamógrafos, ecógrafos y radiología digital, equipos de anestesia, respiradores para terapia intensiva y para emergencia, mobiliario hospitalario, espéculos, pinzas plásticas, jeringas y productos descartables. Está compuesto por unas 265 firmas —de las cuales el 90% se concentra en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba— que emplean a 4.500 ocupados/as. Se trata principalmente de micro y pequeñas empresas, con una inversión en investigación y desarrollo (I+D), que en los fabricantes nacionales se encuentra por encima del promedio industrial (2,35% sobre ventas), y una fuerte concentración de sus exportaciones en menos de 20 firmas que producen en la Argentina y constituyen su núcleo dinámico innovador.

En el presente trabajo se ha propuesto evaluar a través de metodologías cualitativas el grado de avance actual de la agenda de transformación digital en el sector de dispositivos médicos en la Argentina. En general, es posible reconocer que el estado de la transformación digital en este sector muestra un elevado interés de las firmas fabricantes nacionales en la adopción y el uso de nuevas tecnologías. Sin embargo, el grado de utilización y conocimiento de las tecnologías y sus aplicaciones a la realidad empresarial es muy heterogéneo, lo que se debe tanto a la variedad de productos en el sector como a la diversa realidad de las firmas según tamaño o localización geográfica, entre otras variables.

Como uno de los principales resultados, el estudio permitió identificar una amplia gama de tecnologías para la transformación digital utilizadas por las empresas del sector y su nivel de uso, así como también los obstáculos y las dificultades que enfrentan para acelerar esa agenda en una muestra relevada que representa poco más del 10% de las firmas registradas del sector. Entre las tecnologías más utilizadas surge la adopción de tecnologías de almacenamiento de datos en la nube, el uso de software de terceros para digitalizar las áreas administrativas o comerciales y el uso de impresión 3D en la producción, mientras que en menor medida se detectaron casos de utilización de tecnología de gemelos digitales para mejorar la producción, *big data* y *analytics*, inteligencia artificial y robótica, y automatización de procesos, tecnologías también utilizadas por las empresas en distintos ámbitos de la gestión empresarial.

Entre los principales obstáculos detectados para el avance de esta agenda se reconocieron la baja orientación de la demanda del sistema de salud a impulsar la transformación digital en los fabricantes, la debilidad en el entramado institucional de apoyo para el desarrollo de proyectos dentro de las firmas, la ausencia de

un enfoque regulatorio alineado con la innovación, la ausencia de infraestructura adecuada para garantizar el correcto funcionamiento de los nuevos desarrollos en el ámbito de la salud y la heterogeneidad de las firmas en sus capacidades internas para motorizar proyectos de transformación digital y para conseguir apoyo en consultores externos y en equipos propios con capacidades para liderar este tipo de desarrollos.

En este trabajo se sugiere abordar estas dificultades en clave de políticas para superar obstáculos y acelerar la agenda de transformación digital del sector, mediante el fortalecimiento de la demanda y la orientación a los fabricantes nacionales y la mejora de las capacidades institucionales de los oferentes de servicios tecnológicos y agencias regulatorias y de *delivery* de los instrumentos de apoyo público, de manera de reforzar las capacidades internas de las pymes para concretar estos proyectos.

EL COMPLEJO EN EL CONTEXTO NACIONAL

Descripción de la cadena de valor

El sector de equipamiento médico puede dividirse en dos grandes grupos: el que se dedica a la producción de máquinas y equipamiento y el que produce insumos y descartables –materiales de uso único–.¹ Dentro del primer grupo se encuentran las empresas fabricantes de máquinas y equipos médicos y hospitalarios, que incluyen equipos para diagnóstico, neonatología, neumología, anestesiología, oxigenoterapia, oftalmología, odontología, y para laboratorio y sus respectivas partes y accesorios. Dentro del segundo se encuentran las fabricantes de agujas y jeringas, indumentaria, mobiliario hospitalario y equipamiento para pesar y medir (cuadro 1).

El primer grupo se caracteriza por destinar intensivamente recursos a la innovación de productos y procesos, y allí se verifica la presencia de firmas exportadoras y de mayores barreras a la entrada de nuevas firmas, mientras que el segundo utiliza tecnologías maduras, invierte menores recursos en actividades de innovación y tiende a sesgar sus esfuerzos de comercialización hacia el mercado interno.

Cuadro 1 Productos de equipamiento médico y hospitalario, según su clasificación por tipo

Máquinas y equipos		Insumos y otros	
Segmento	Ejemplos	Segmento	Ejemplos
Equipos para diagnósticos por imágenes	Rayos X, ecógrafos, angiógrafos, pletismógrafos, mamógrafos	Implantes	Para osteosíntesis, ortopédicos y odontológicos
Anestesiología	Máquinas, válvulas y tuberías, vaporizadores	Productos ortopédicos	Camas, sillas de ruedas, bastones
Equipos para oxigenoterapia	Aparatología, gases medicinales, anestésicos	Instrumental para rehabilitación y para tratamiento del quemado	Dispositivos posturales
Equipos de neonatología	Incubadoras, servocunas	Instrumentos de cirugía general y de especialidades	Bisturí
Aparatos para pesar y medir	Balanzas	Mobiliario hospitalario	Luminarias, mesas quirúrgicas, mesas para instrumental, camillas

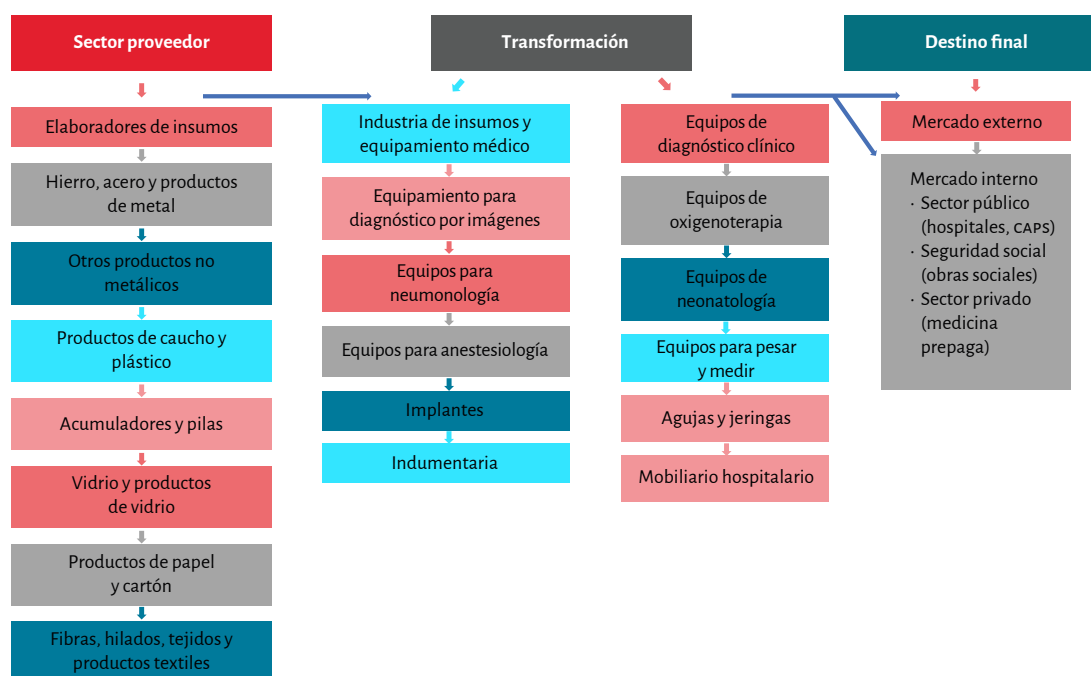
¹ La Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) define como producto médico "a todo equipamiento, aparato, material, artículo o sistema de uso o aplicación médica, odontológica o laboratorial, destinada a la prevención, diagnóstico, tratamiento, rehabilitación o anticoncepción y que no utiliza medio farmacológico, inmunológico o metabólico para realizar su función principal en seres humanos, pudiendo entretanto ser auxiliado en su función, por tales medios"; disponible en <https://www.argentina.gob.ar/anmat/regulados/productos-medicos>.

Centrales, equipos e insumos para esterilización	Equipos a vapor u óxido de etileno	Agujas y jeringas hipodérmicas, y otros productos de uso descartable	Jeringas, agujas
Equipo médico electrónico	Electrocardiógrafos, monitores de parámetros vitales, electroencefalógrafos	Indumentaria	Uniformes médicos
Otros instrumentos y equipos de diagnóstico clínico	Esfigmomanómetros, estetoscopios		
Equipos, accesorios e insumos para hemodiálisis	Bombas de infusión		
Equipos para neumología	Respiradores y accesorios		
Equipos para oftalmología	Topógrafo corneal, aberrómetro ocular		
Equipos para odontología	Mini torno		
Equipos para laboratorios	Analizadores, centrífugas, estufas, destiladores de agua, agitadores		

Nota: La clasificación se corresponde con la rama 33 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU): fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión, y de relojes.
Fuente: Drucaroff (2020a).

En general, las firmas de este sector utilizan acero y chapa de hierro entre sus principales materias primas, lo que les otorga un marcado perfil metalmeccánico (figura 1). A su vez, la integración de elementos plásticos es una tendencia destacada a lo largo de todos los productos, pero varía su carácter según el grupo específico. En líneas generales, los componentes plásticos no suelen tener una importancia fundamental en los aspectos funcionales del producto, sino predominantemente en los estéticos, aunque esto varía según el tipo de producto.

Figura 1 Cadena de valor del sector de equipamiento médico



Fuente: Secretaría de Política Económica (2019).

De esta forma, es posible encontrar insumos y descartables en los que la base tecnológica esencial del producto puede ser predominantemente petroquímica (sondas, catéteres, jeringas, etc.). Con independencia de ello, en la etapa de transformación se verifican diferentes niveles de complejidad productiva según el tipo de producto, mediante la integración de componentes de terceros (metalmecánicos, electrónicos, plásticos) o actividades desarrolladas en las propias plantas, que van desde el pintado (sintéticos, químicos) a líneas de ensamblaje, que a su vez pueden incluir la fabricación de algunos componentes críticos o accesorios del equipamiento producido, hasta alcanzar el producto comercializable.

Para un amplio rango de productos médicos, la transformación de estos insumos básicos genera el soporte estructural y el revestimiento de los productos, para luego ensamblarse con un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos. Por último, en menor medida, se utilizan también insumos como vidrio, papel, cartón y productos textiles, lo que pone de manifiesto la capacidad de generación de encadenamientos hacia atrás que tiene el sector.

La naturaleza del conocimiento en el sector, de base metalmecánica y electrónica, le otorga un potencial singular para la incorporación de avances tecnológicos vinculados con la industria 3.0 (software embebido, sensores, automatización) y 4.0 (internet de las cosas, robótica e inteligencia artificial, *machine learning*, mantenimiento predictivo, *big data* y *analytics*, etc.). También existen oportunidades de innovación y adopción más relacionadas con la base plástica y petroquímica, como las asociadas a la nanotecnología, las ciencias de los materiales y la manufactura aditiva. Además, se cuentan potencialidades de convergencia con la biotecnología, en especial en el segmento de productos para diagnóstico *in vitro*, que es uno de los más importantes a nivel internacional en términos de facturación, donde se destaca la microfluídica como tecnología de vanguardia. Por último, sus demandas de innovación traccionan otras actividades de corte más tradicional, que también pueden realizar aportes en la diferenciación de los productos, desde el diseño hasta la funcionalidad, seguridad y eficiencia en el uso.

En la Argentina, la provisión de materias primas para la industria de equipamiento médico suele ser principalmente de origen nacional, salvo en el caso de los componentes electrónicos, que son mayoritariamente importados. Esto tiene un impacto directo sobre la estructura de costos de las empresas del sector, donde el peso de los insumos importados puede ser muy significativo, así como también su propia capacidad de agregar valor a los dispositivos y a diferenciarse de otros competidores.

Respecto del estado de situación tecnológico, si bien los avances en nanotecnología a nivel global otorgan la posibilidad de acceder a insumos con mejores parámetros de resistencia, elasticidad, dureza, densidad, flexibilidad y seguridad para la o el paciente y consumidor/a, su uso y difusión en la industria local es todavía muy incipiente. En general, son las empresas especializadas en productos de media-alta complejidad tecnológica las que más han incorporado estas tecnologías.

Algo similar sucede con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que han permitido un mayor grado de automatización en procesos, introducir o mejorar controles de calidad, realizar mediciones especiales, optimizar el *lay out* de plantas y crear nuevas funciones en los puestos de trabajo, pero todavía siguen principalmente destinadas a la gestión administrativa y productiva y limitadas a la incorporación de software y electrónica a los productos. Aun así, han sido particularmente importantes para diseñar e implementar un sistema de trazabilidad de los equipos, innovación que no era posible mediante tecnologías primitivas (Baruj y Porta, 2012).

PRINCIPALES SEGMENTOS Y PRODUCTOS DEL SECTOR EN FUNCIÓN DE SU USO Y COMPLEJIDAD TECNOLÓGICA

En relación con la complejidad tecnológica de los productos, se distinguen tres grandes grupos de firmas. Un primer segmento de baja complejidad, caracterizado por tecnologías maduras, producción en serie, altas economías de escala y bajo valor agregado, basadas en ventajas comparativas en costo laboral. Un segundo segmento de complejidad media, donde predominan bienes más intensivos en tecnología, la producción en series cortas, la diferenciación de productos sobre la base de diseño, software y funcionalidades de los equipos. Y un tercer segmento de alta complejidad, vinculado con instrumental quirúrgico y equipamiento médico electrónico, con elevadas barreras a la entrada y fuerte efecto reputación de las compañías grandes multinacionales líderes (figura 2). En la Argentina, predominan las firmas del segundo segmento, de complejidad tecnológica intermedia, junto con algunas del segmento de baja complejidad.

En general, las empresas nacionales presentan un ritmo acelerado de incorporación de innovaciones, sobre todo aquellas firmas dinámicas que compiten en productos de nicho, en los que la diferenciación de producto resulta clave. Este ritmo acelerado es parte de la estrategia comercial de las empresas multinacionales del sector y suele operar como barrera a la entrada de nuevas firmas, a partir de la renovación tecnológica y del diseño de los productos. Cada línea o producto se renueva con una celeridad tal que exige que el nuevo participante deba invertir un gran monto de recursos para desarrollar el producto antes que su ciclo de vida en el mercado culmine. Es decir, las empresas del sector mantienen un comportamiento innovador permanentemente como forma de defenderse frente a nuevos competidores (Baruj y Porta, 2012).

Debido a la inserción de la industria argentina en el segmento de media-alta tecnología, las firmas suelen contratar a técnicos/as y profesionales. Este perfil de demanda de personal calificado se asocia con la complejidad de los procesos productivos y la constante exigencia de innovación sobre procesos, diseños y productos.

Asimismo, las regulaciones adquieren una importancia fundamental en el sector de equipamiento e insumos médicos, mucho más que para otros sectores. El sector se encuentra reglado por diversas normas regulatorias

Figura 2 Equipamiento médico según complejidad tecnológica



Fuente: Drukaroff (2020a) con base en Peirano (2017).

tanto nacionales como internacionales. Dado que no hay uniformidad de criterios entre países, las empresas nacionales deben adecuar sus productos a regulaciones variables según mercado o sistema (CIECTI, 2013).

La Organización Mundial de la Salud (2017), en su modelo “paso a paso” para la regulación de dispositivos médicos, establece que los controles regulatorios se corresponden a tres fases: aquellos aplicados antes de que un dispositivo médico llegue al mercado (requerimientos y regulaciones); aquellos aplicados cuando se está por ubicar un dispositivo médico en el mercado (registros de establecimientos, listados de productos médicos, controles de importación); y aquellos aplicados después de que el dispositivo médico haya sido ubicado en el mercado (tecnovigilancia). Cada uno cuenta con un marco legal e instrumentos de *enforcement* específicos.

Las agencias reguladoras cuentan con un copioso articulado normativo que, para simplificar, propone garantizar el buen funcionamiento de los establecimientos fabricantes/importadores, la autorización de comercialización de productos médicos seguros y eficaces, el control de los procesos de distribución y llevar a cabo los procesos de vigilancia necesarios en la instancia de posventa a fin de mitigar eventuales perjuicios en caso de fallas de los productos médicos o comportamientos inesperados a partir de su utilización.

Las áreas de productos médicos que hoy presentan un creciente desafío en materia de innovación son los dispositivos médicos inalámbricos, las aplicaciones médicas móviles, la telemedicina, el software como dispositivo médico, la inteligencia artificial y la seguridad cibernética, entre otros. Constituyen una prioridad para las agencias regulatorias, como lo manifiesta el Foro Internacional de Reguladores de Dispositivos Médicos,² un grupo voluntario de reguladores de dispositivos médicos de todo el mundo –del cual la ANMAT forma parte– que se reúne para acelerar la convergencia y armonización de la regulación internacional de dispositivos médicos (Belloso *et al.*, 2019; Red ISPA, 2020).

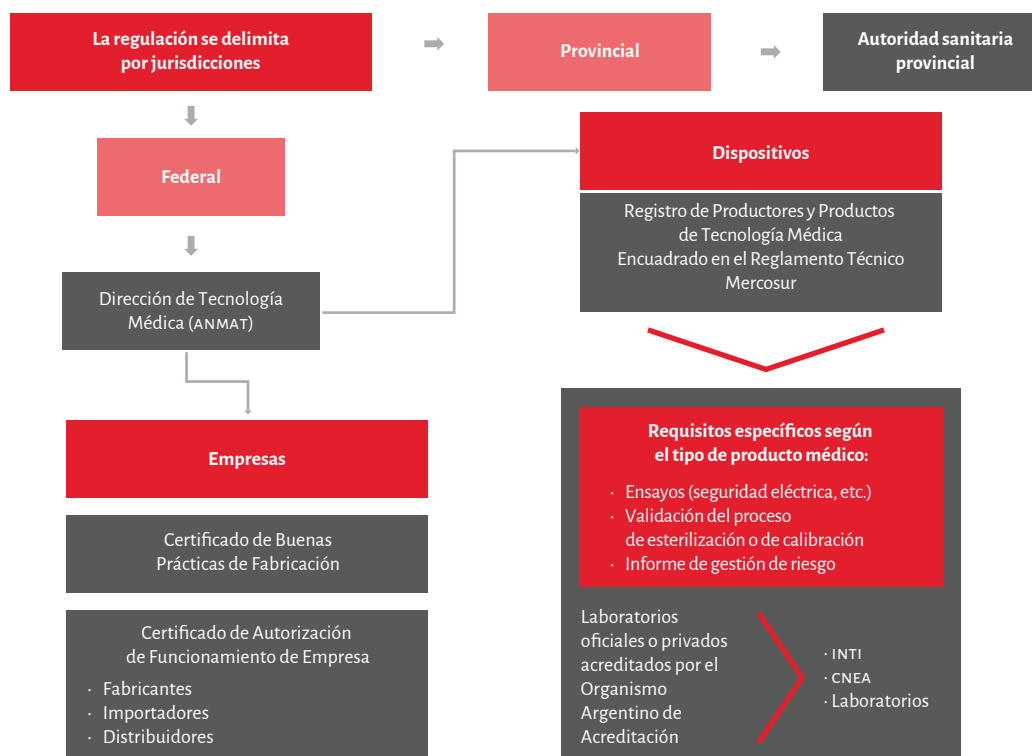
En la Argentina, el responsable de los procesos de autorización, registro, normalización, vigilancia y fiscalización de los productos que se utilizan en las prácticas médicas es la ANMAT. El marco normativo argentino exige a las empresas la habilitación como fabricantes o importadores de productos médicos (Disposición N° 2.319/2002). Además, debe contar con un Certificado de Cumplimiento de Buenas Prácticas de Fabricación de Productos Médicos (Disposición N° 3.266/2013) en el rubro correspondiente, requisito que no siempre se exige a los productores radicados en otros países. Asimismo, no todas las empresas fabricantes de productos médicos deben cumplir con los procesos exigidos por la ANMAT, ya que la autoridad de fiscalización rige a nivel provincial y la ANMAT tiene jurisdicción para establecer obligatoriedad de cumplimiento a los fabricantes cuyos productos tengan alcance nacional o tránsito interprovincial (figura 3).

En relación con el empadronamiento provisorio de productos médicos, la Disposición N° 5.031/2009 establece que las empresas titulares de los empadronamientos provisorios deberán ajustarse a lo establecido por Disposición N° 2.318/2002, Disposición N° 5.267/2006 y Disposición N° 3.802/04.

En el ámbito del Mercosur, se establecieron los Requisitos Esenciales de Seguridad y Eficacia de los Productos Médicos (Disposición N° 4.306/1999). Además, se estableció el Reglamento Técnico Mercosur de Registro de Productos Médicos (Resolución GMC Mercosur N° 40/2000) y el Registro de Productos Médicos por la Disposición N° 2.318/2002. La Disposición N° 727/2013, a su vez, describe los Requisitos de Inscripción de Productos Médicos en el Registro de Productores y Productos Médicos de Tecnología Médica.

² Véase <http://www.imdrf.org/>.

Figura 3 Marco regulatorio nacional y provincial para la fabricación y comercialización de dispositivos médicos en la Argentina



Fuente: Informe sectorial de CADIEM 2019, disponible en <https://www.cadiem.org.ar/informe-sectorial>.

Algunas otras normas y regulaciones para productos médicos y sanitarios exigidas son:

- > CE (European Conformity) - Unión Europea
- > FDA 510(k), CFR 21 part 820 (GMP) - Estados Unidos
- > IEC 60601-1 y UL 60601
- > ISO 9000: 2015 Sistemas de Gestión de la Calidad
- > ISO 9001: 2008 Sistemas de Gestión de la Calidad
- > ISO 9002: Sistema de Calidad y de Buenas Prácticas de Fabricación
- > ISO 10993-1: 2010 Evaluación Biológica de Productos Sanitarios
- > ISO 13485: 2016 Norma de la ISO 9001 aplicada a equipos médicos, equivalente a EN 46001
- > ISO 14971: 2007 Gestión de Riesgos
- > ISO 80601: Seguridad Básica y Desempeño Esencial
- > ISO 62304: Sistema de Equipamientos Médicos Programables
- > ISO 10993: Biocompatibilidad

Cabe mencionar dos leyes recientes con foco específico en equipamiento médico: la Ley N° 26.906/2013 de Trazabilidad de Equipamiento Médico, que a la fecha de publicación de este capítulo no estaba reglamentada, y la Ley N° 27.159/2015, que obliga a la instalación de desfibriladores en lugares públicos de gran concurrencia.

Por otro lado, en 2016 se presentó al Senado la creación de la Agencia Nacional de Evaluación de Tecnologías en Salud (AGNET).³ Entre otras funciones, tendría bajo su responsabilidad la determinación de los criterios técnicos y la evaluación de tecnologías médicas. Sin embargo, el proyecto ha pasado por diferentes estados parlamentarios y aún no ha sido aprobado.

En 2021 se aprobó la Ley N° 27.605 de Aporte Solidario y Extraordinario para Ayudar a Morigerar los Efectos de la Pandemia, la cual establece en su artículo 7 que “El producido de lo recaudado por el aporte establecido en el artículo 1° será aplicado: 1. Un veinte por ciento (20%) a la compra y/o elaboración de equipamiento médico, elementos de protección, medicamentos, vacunas y todo otro insumo crítico para la prevención y asistencia sanitaria...”. El último informe del Ministerio de Economía documenta que se recaudaron 247.503 millones de pesos por el impuesto durante 2021, cuya aplicación por ley al sistema de salud equivale a 49.500 millones, de los cuales se ejecutaron gastos por 45.590 millones de pesos (92% de lo recaudado). La descomposición del gasto se refleja en el cuadro 2 y se observa que el gasto casi excluyente es la compra de vacunas para COVID-19, con un peso marginal de estos recursos hacia la compra de dispositivos médicos.

Cuadro 2 Asignación de recursos recaudados por la Ley N° 27.605

Asignación	Ejecutado (en millones de pesos)	Objetivos de política cumplidos
Vacunas (COVID-19 y otras)	45.222	Se adquirieron más de 45 millones de vacunas COVID-19 y se redujeron sensiblemente los tiempos de pago.
Laboratorios e Institutos de Salud Carlos G. Malbrán	154	Se reforzó el presupuesto en un 6% respecto del inicial.
Hospital Nacional Prof. Alejandro Posadas	123	Se reforzó el presupuesto en un 3% respecto del inicial.
Hospital Dr. René Favaloro	92	Se reforzó el presupuesto en un 10% respecto del inicial.
Total	45.591	

Fuente: Ministerio de Economía de la Nación.

En distintos casos, los tiempos de aprobación regulatoria pueden constituirse también como una barrera a la entrada. La ANMAT debe certificar los procesos y productos de toda empresa que quiera intervenir en el mercado. Recientemente, el tiempo de fiscalización de la ANMAT se amplió de uno a tres años, con lo cual se elevó la barrera al ingreso. Si bien las exigencias del organismo concuerdan con las necesidades del caso y están en línea con la normativa del resto del mundo, los tiempos establecidos resultan un obstáculo significativo para aquella pyme que quiera involucrarse en la producción de equipos para servicio médico (CIECTI, 2013).

Localización/distribución territorial

En el sector argentino de equipamiento e instrumentos médicos predominan las pequeñas y medianas empresas (pymes). Según datos del Observatorio del Empleo y la Dinámica Empresarial (OEDE) del Ministerio de Trabajo de la Nación, en 2018 las pymes representaban el 51% de las firmas, en comparación con el 46% de microempresas y el 3% de empresas grandes. Con respecto a su localización geográfica (mapa 1), los establecimientos productivos se concentran principalmente en CABA (40%) y en los partidos del Gran Buenos Aires (GBA) (30%), seguida por las provincias de Córdoba (12%) y Santa Fe (8%), y el resto de Buenos Aires (7%) y Entre Ríos (2%). Este patrón se explica principalmente por la cercanía de la demanda: la actividad se concentra en las grandes ciudades, donde se sitúan los principales hospitales y centros de salud.

³ Véase <http://www.senado.gov.ar/parlamentario/parlamentaria/404459/downloadPdf>.

Mapa 1 Localización geográfica de los establecimientos productivos



Fuente: Subsecretaría de Programación Microeconómica del Ministerio de Economía (ex Hacienda) con base en OEDE.

Descripción cualitativa del complejo y de los principales actores económicos

Para ilustrar el alcance del sector, algunos de los productos que se fabrican a nivel local –aunque no se trata de una lista exhaustiva ni completa– son incubadoras, servoincubadoras y equipos de asistencia para neonatología, desfibriladores, cardioversores, simuladores biológicos, equipos y accesorios de esterilización, equipos de diagnóstico por imágenes de rayos X, mamógrafos, ecógrafos y radiología digital, equipos de anestesia, respiradores para terapia intensiva y para emergencia, mobiliario hospitalario, espéculos, pinzas plásticas, jeringas y productos descartables.

Además, conviven en esta actividad un núcleo de firmas con altas capacidades tecnológicas y con trayectoria exportadora⁴ y segmentos de fabricantes de productos de menor complejidad, estos últimos con orientación predominante al mercado interno –se estima que el 75% del total de la producción tiene este destino–, y de empresas multinacionales de gran tamaño, tales como GE Healthcare, Siemens Healthineers, Philips Healthcare, Johnson & Johnson, Boston Scientific, Becton Dickinson, Abbott, 3M Health Care, Toshiba –recientemente adquirida por Canon–, Olympus, Fresenius y Hitachi, entre otros, con distribuidores u oficinas comerciales locales que ofrecen sus productos importados.

Estas firmas multinacionales lideran el *ranking* de ventas de dispositivos médicos a nivel global y desarrollan estrategias ofensivas de comercialización, fidelización tecnológica y servicio de posventa, en un mercado donde la confiabilidad y la reputación pueden ser determinantes, tanto por el destino que tienen los equipos como por la naturaleza de las instituciones que deben invertir en ellos y justificar sus erogaciones.

⁴ Algunos ejemplos son Medix (incubadoras, aparatos de electrodiagnóstico), Tecme (aparatos de ozonoterapia, ventiladores, mesas de anestesia), Leistung (aparatos de ozonoterapia, ventiladores, mesas de anestesia), Promedon (artículos y aparatos para prótesis, instalaciones y aparatos de medicina, como bandejas, cánulas, etc.), Silmag (artículos y aparatos para prótesis, instrumentos), SanUp (aparatos de aerosolterapia), Ecleris (aparatos de electrodiagnóstico y sus partes, artículos de estética), B&W (artículos y aparatos de prótesis dental, instalaciones y aparatos de odontología), Feas Electrónica (desfibriladores, monitores multiparamétricos, entre otros), INVAP (equipos de rayos X).

En un reciente informe publicado por la consultora Medical Product Outsourcing se destaca la concentración del 68% de las ventas globales de dispositivos médicos en tan solo 30 fabricantes, los cuales, según la misma fuente, invierten el 8% de sus ventas en I+D cuando se trata de empresas de origen europeo y el 11% cuando se trata de firmas estadounidenses.

En la Argentina, según la Encuesta Nacional de Dinámica de Empleo e Innovación, el mismo indicador de I+D se ubicaba en torno al 2,38%, lo que revela las brechas de inversión y tecnología que subsisten contra los países líderes del sector. Al respecto, y al considerar la existencia de firmas exportadoras argentinas de equipamiento, el promedio muestra el predominio de empresas con menor inversión en I+D propio que actúan en sectores de baja complejidad tecnológica.

Más allá de la realidad local, no debería llamar la atención que la concentración de las exportaciones globales en pocos fabricantes se traduzca también en liderazgos de países. En 2016, los Estados Unidos, Alemania, Holanda, China, el Reino Unido, Japón y México generaron el 61% de las exportaciones mundiales de dispositivos médicos.

Un aspecto en común de estos países con la Argentina es el elevado gasto en salud que realizan, por encima del promedio de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo –8,8% del producto bruto interno (PBI)–, con excepción de México (5,5%) y China (5%). Es decir que los fabricantes se han apoyado sostenidamente en la demanda doméstica de sus países de origen –y en muchos casos de la demanda pública específicamente– para luego trascender hacia mercados internacionales. La autonomía sanitaria resulta mayor cuanto más escala pueda dar el sistema de salud a sus propios fabricantes.

La mayoría de las ventas del sector se realizan por medio de licitaciones públicas o privadas, de alcance nacional o internacional. Para ilustrar el gasto argentino en equipamiento médico anual, estimaciones del Ministerio de Economía indican que sigue al nivel del gasto total en salud, lo que involucra aproximadamente el 3% de dicho total. Si se considera que para 2017 el gasto total en salud era del 9,6% del PBI, el tamaño de mercado del sector se ubica en el entorno de los 1.400 y los 1.500 millones de dólares anuales, tendencia que puede haber tendido a caer por la disminución de la inversión pública en los últimos años.

El papel de la demanda pública en este sector es muy importante en el sostenimiento y desarrollo de una cadena de proveedores locales. Para una porción no menor de las firmas, las compras del sector público, en sus tres niveles de gobierno, pueden alcanzar a representar más del 70% de su demanda habitual, lo que ratifica que la producción se destina mayoritariamente al mercado interno.

La importancia relativa de cada nivel de gobierno se aproxima al 50% para las compras del nivel nacional, 40% a las compras provinciales –fuertemente concentradas en CABA, Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Mendoza– y el 10% restante a municipios. La descentralización de la demanda pública, en ausencia de mecanismos de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, genera obstáculos burocráticos –normas y procedimientos de contratación diferentes en cada uno de ellos–, pero también en términos de escala (compras divididas), que se ven aun más afectadas por el bajo nivel de estandarización de productos al diseñar los pliegos de especificaciones técnicas.

Ahora bien, ¿qué ocurre con la cobertura de la demanda interna por parte de la industria nacional? La participación de la industria nacional sobre el mercado total de equipamiento médico se aproxima actualmente a menos de un tercio del mercado considerando el promedio de importaciones del sector en el período 2016-2019 –aproximadamente 1.000 millones de dólares anuales.

¿Cuán distinta era esta participación en el mejor momento competitivo del sector, donde no solamente sustituía importaciones sino también exportaba? Si se analiza el año 2008 –mejor punto en el tiempo en términos de desempeño exportador, cuando alcanzó ventas al exterior por más de 140 millones de dólares–, la participación de la industria nacional fue del 40%, aunque en un mercado doméstico 30% más pequeño que en la actualidad. En otras palabras, el crecimiento del mercado doméstico de equipamiento médico fue acompañado por un incremento más que proporcional de las importaciones, lo cual revela que la industria nacional no ha podido capitalizar esa demanda doméstica adicional prácticamente en la última década.

Instituciones públicas que juegan un papel central en el desarrollo del sector

Diferentes instituciones públicas tienen un rol de singular importancia para la industria de equipamiento médico. En particular, además del papel fundamental que cumple la ANMAT como entidad regulatoria, se pueden mencionar las principales carteras ministeriales asociadas al sector: Ministerio de Salud; ex Ministerio de Desarrollo Productivo; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio internacional y Culto.

Por otra parte, en lo que refiere a entidades del sistema científico-tecnológico, se destaca el rol del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en el apoyo a las empresas para la optimización de los procesos industriales, por medio de la generación y provisión de servicios tecnológicos en áreas tales como la I+D, la asistencia técnica, los ensayos, los análisis y las calibraciones, la certificación y la transferencia del conocimiento.

También las universidades son actores significativos en los procesos de innovación y transferencia además de los aspectos formativos. En particular, aquellas que poseen carreras vinculadas con las ciencias médicas. La histórica Universidad de Buenos Aires (UBA), la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), la Universidad Favaloro y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) se cuentan como las de mayor impacto en la formación de bioingenieros/as y profesionales relacionados con el sector, y las que se distinguen por incluir proyectos de vinculación con empresas.

Respecto de la innovación y la transferencia tecnológica, es posible destacar la presencia de incubadoras y aceleradoras tanto públicas como privadas, en su mayoría asociadas a dichas universidades. Entre las públicas, nuevamente sobresale el papel de las universidades (por ejemplo, la incubadora de la UNC o la incubadora Bioloop de la UNSAM), mientras que algunos ejemplos de instituciones privadas son la incubadora de la Cámara de Instituciones de Diagnóstico Médico (CADIME), GridX (Grupo Insud) o Incubando Salud –vinculada con el Instituto Universitario de Ciencias de la Salud de la Fundación Barceló–. Asimismo, la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN), con sede en el campus de la UNSAM, es una institución público-privada de relevancia en el campo de la promoción de la innovación en el país.

Desde el punto de vista del financiamiento, otra institución relevante para el sector es la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Agencia I+D+i), organismo nacional dedicado a la promoción y al financiamiento de actividades relacionadas con la ciencia, la tecnología y la innovación productiva a través de sus cuatro fondos: Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica, Fondo Tecnológico Argentino, Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria del Software y Fondo Argentino Sectorial.

Con respecto a las actividades de certificación, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación es una asociación civil sin fines de lucro que opera como organismo argentino de normalización y como represen-

tante local del principal organismo que fija estándares en el sector –International Organization for Standardization (normas ISO)–, establece normas técnicas y colabora en la promoción de las actividades de certificación de productos y de sistemas de la calidad en las empresas.

Por otra parte, CETIME es la Red de Centros Tecnológicos de la Industria Metalúrgica Argentina, creada en 2011 en el marco de un proyecto en el cual intervienen el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA) y el Centro Tecnológico José Censabella. Constituye la primera red nacional de centros tecnológicos del país. CETIME trabaja para “impulsar y promover la gestión del conocimiento a través de comunidades de aprendizaje, a fin de lograr el establecimiento de un Sistema Nacional de Formación Profesional y Certificación de recursos humanos, basado en normas de competencias laborales del sector metalúrgico argentino”.⁵

Actualmente la red CETIME está compuesta por seis centros tecnológicos que cubren las necesidades de más de mil empresas metalúrgicas argentinas. Brinda, además, servicios de asistencia técnica e investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), de acuerdo con las necesidades de cada sector y región, con el fin de potenciar la competitividad de las grandes empresas y pymes metalúrgicas nacionales.

Entre las principales entidades del sector privado se destacan las distintas cámaras y asociaciones empresariales. La Cámara de Equipamiento Hospitalario de Fabricación Argentina (CAEHFA) es la asociación que nuclea las compañías fabricantes de tecnología médico-hospitalaria e insumos en la Argentina. Se trata de la cámara más numerosa y representativa del perfil pyme del sector. Se inscribe en ADIMRA, que contiene a las empresas del sector metalmeccánico y productor de bienes de capital en general.

En paralelo, se encuentra la Cámara Argentina de Insumos, Implantables y Equipamiento Médico (CADIEM), que agrupa principalmente a las empresas importadoras de equipamiento médico, en su mayoría distribuidoras y agentes de empresas multinacionales que operan en el país, aunque incluye también a firmas con producción local.

A estas cámaras, que nuclean la mayor parte de las empresas del sector, se suman otras que otorgan representatividad a segmentos específicos, como la Cámara Argentina de Productores de Equipos Electromédicos (CAPEEM), la Cámara de Fabricantes de Implantes Médicos (CAFIME) y la Cámara de la Industria Traumatológica (CADIT); así como asociaciones empresariales que aglomeran a empresas exportadoras, como el grupo MEDEX –compuesta por las principales firmas cordobesas exportadoras en el sector–, la Cámara de Industrias de la Salud de la provincia de Córdoba (CAISAL), donde se agrupan empresas de productos médicos y farmacéuticos de la provincia de Córdoba, y Fabricantes Rosarinos de Equipamiento Médico (grupo FREM).

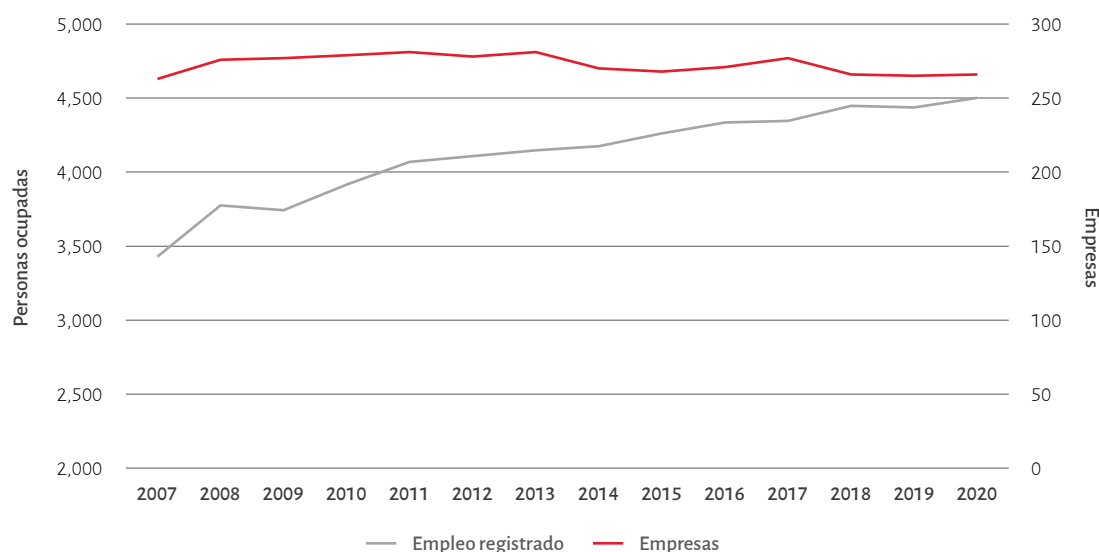
IMPORTANCIA DEL SECTOR EN LA ESTRUCTURA PRODUCTIVA NACIONAL

El sector está compuesto por unas 265 firmas que emplean a 4.500 personas ocupadas, según datos de OEDE, con una alta presencia de micro y pequeñas empresas –cerca del 80% de las firmas emplea a menos de 50 personas ocupadas–. Dicha cantidad representa el 0,4% del empleo registrado privado industrial. Sin em-

⁵ Véase <https://www.adimra.org.ar/reddecentros>.

bargo, su aporte al empleo no alcanza a explicar la mitad del total ocupado en el sector.⁶ Por otra parte, la fabricación de equipamiento médico alcanzó un importante dinamismo en la generación de puestos de trabajo de alta calificación con significativa participación de profesionales y técnicos/as hasta 2011. El nivel de empleo del sector no ha registrado crecimiento desde entonces, lo que produce un cambio en el mercado signo de expansión característico desde 2003 (gráfico 1). A su vez, la dinámica empresarial –creación neta de empresas en el sector– verifica similares tendencias a las del empleo, agravada por una disminución en la cantidad de firmas en los últimos años.

Gráfico 1 Dinámica empresarial y evolución del empleo en el sector de equipamiento médico en la Argentina (2007-2020)



Fuente: Drucaroff (2020a), con base en OEDE.

Importancia y evolución de la producción

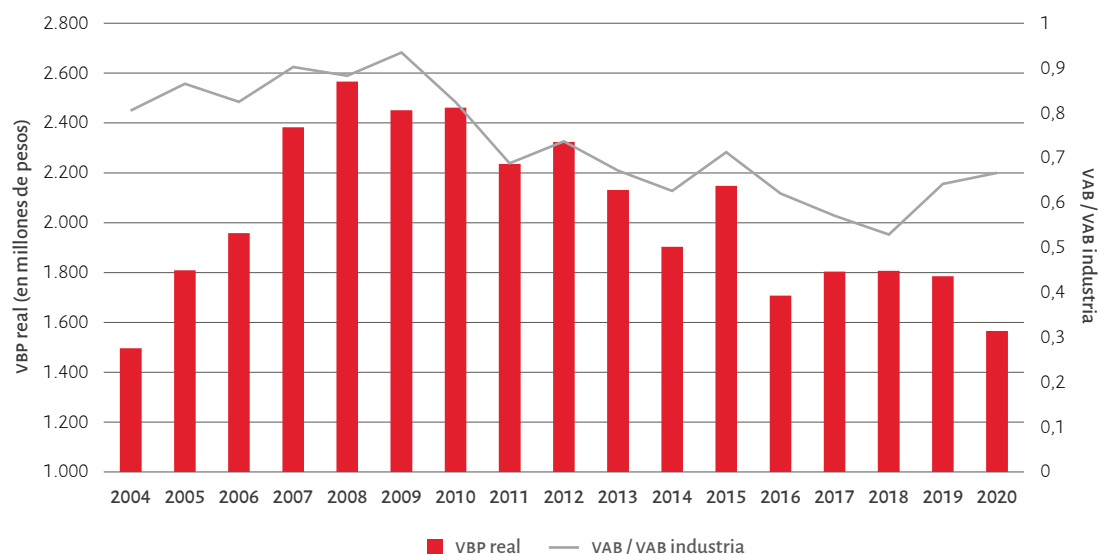
Con relación a su importancia en la producción, el sector representaba el 0,67% del valor agregado bruto (VAB) y el 0,66% del empleo registrado privado del sector industrial en 2020. En general, el sector en la Argentina tiene un peso comparativamente reducido en el valor de la producción, el empleo y en las exportaciones totales del sector industrial, y dichos guarismos suelen evolucionar en línea con las variaciones en la actividad manufacturera total. En este sentido, el valor de la producción y el peso del sector en el valor agregado industrial han caído significativamente desde 2008, pese a algunos años puntuales de leve recuperación (gráfico 2). Una tendencia similar se percibe en la evolución de la producción frente al empleo registrado, lo que puede ser tomado como un *proxy* de la productividad y sigue la tendencia de caída que caracteriza a toda la industria manufacturera desde 2011 (gráfico 3).

La pandemia no fue la excepción a este proceso, pese a que, en un contexto crítico para la mayor parte de los sectores económicos, el sector de equipamiento e insumos médicos presentó algunos segmentos específicos, cuya demanda aumentó repentinamente. Incluso, según datos del OEDE, el sector presentó un incremento en la incorporación neta de trabajadoras y trabajadores registrados en 2020 respecto del año previo. Sin embargo, la pandemia del COVID-19 resultó clave para hacer visible la importancia de contar con niveles

⁶ No se consideró el empleo de la rama 33110, porque si bien puede involucrar algunas empresas y empleo de dispositivos médicos, su participación es muy menor y resulta imposible de desagregar para una determinación cuantitativa con precisión.

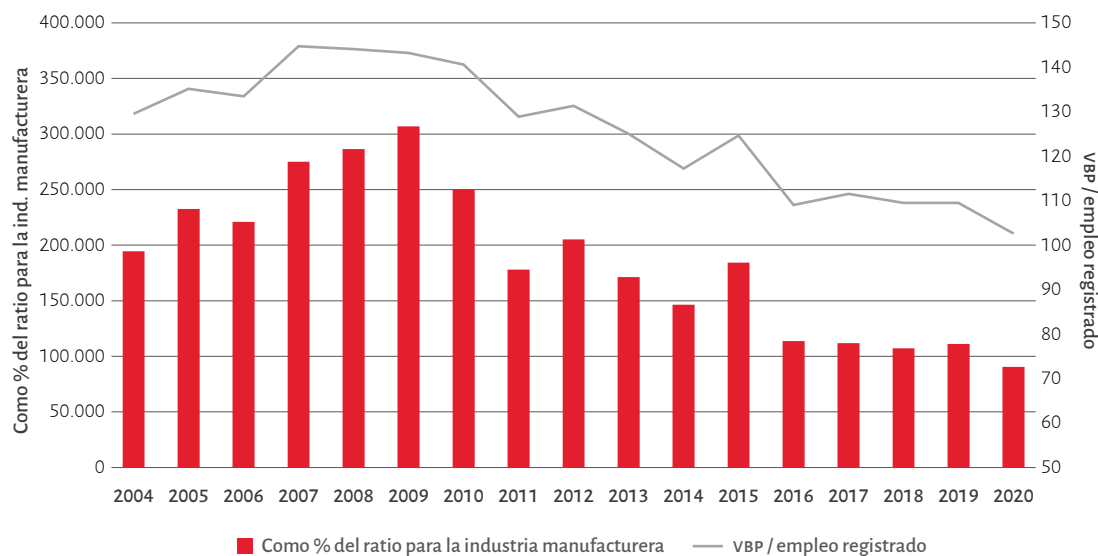
relativamente altos de autosuficiencia sanitaria frente a la interrupción temporaria de las cadenas de aprovisionamiento globales, y mostró muchas de las capacidades tecnoproductivas en el sector a nivel local que se encontraban relativamente opacadas ante el desempeño de otros sectores. En este sentido, más allá de episodios extraordinarios como el de la pandemia, la rama de equipamiento médico adquiere relevancia como objeto de estudio en la Argentina por poseer una conducta innovativa y por su potencial de diversificación productiva hacia bienes intensivos en conocimiento.

Gráfico 2 VBP a precios de 2004 (en millones de pesos) y VAB (sobre el total de la industria manufacturera) del sector de equipamiento médico en la Argentina (2004-2020)



Nota: VBP: valor bruto de producción.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INDEC.

Gráfico 3 Ratio entre el VBP a precios de 2004 (en millones de pesos) y la cantidad de empleo registrado del sector de equipamiento médico (total y como porcentaje del ratio para el total de la industria manufacturera) en la Argentina (2004-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INDEC.

Importancia y evolución de la balanza comercial y sus componentes

La balanza comercial es estructuralmente deficitaria, con exportaciones promedio en torno a los 70 millones de dólares en los últimos cinco años (2015-2019) e importaciones en los 950 millones de dólares. Si se analiza por productos, las exportaciones se concentran en productos de intensidad tecnológica medio-alta y las principales importaciones se destinan a la compra de productos de mayor complejidad tecnológica y también a aquellos que utilizan tecnología madura pero cuya producción requiere de grandes economías de escala.

Los principales productos exportados se distribuyeron entre desinfectantes y esterilizantes (37%), *kits* y aparatos de diagnóstico (20%), equipos de esterilización (13%) y otros aparatos médicos (10%). En este último rubro, se destacan especialmente los aparatos de oxigenoterapia, los artículos y aparatos para prótesis, las sondas y catéteres, y las incubadoras para bebés.

Si se observan las importaciones, los principales productos fueron los *kits* y aparatos de diagnóstico (26%), otros aparatos (20%) e insumos médicos (12%). Entre estos últimos grupos, adquieren relevancia los instrumentos y aparatos de medicina, cirugía o veterinaria; las sondas, catéteres y cánulas, y los instrumentos y aparatos para transfusión de sangre o infusión intravenosa.

Las exportaciones argentinas en equipamiento médico tuvieron como principales destinos Brasil (19%), Estados Unidos (11%), Alemania (9%) India (8%), Uruguay (5%), Paraguay (4%) y Chile (4%). Por su parte, las importaciones provinieron de los Estados Unidos (23%), China (17%), Alemania (11%) y Japón (4%).

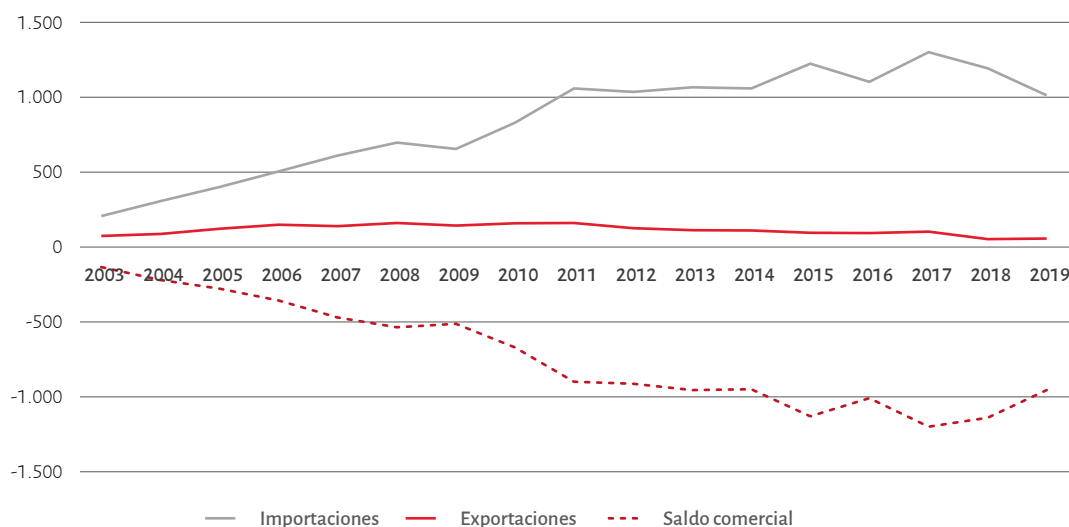
Seis empresas nacionales concentran el 60% de las exportaciones. El 90% de las empresas exportan productos de tan solo un segmento. Las pymes exportan dentro de nichos de mercado que las multinacionales no cubren por ser series cortas o a pedido o bienes discontinuados (tecnología madura). Córdoba (45%) es la principal provincia exportadora de equipamiento médico, seguida por Buenos Aires (39%) y CABA (13%).

En términos de evolución del comercio exterior, si bien el déficit es de carácter estructural, en la última década se ha combinado una caída continua en las exportaciones con un incremento de las importaciones –las cuales abastecieron, como se dijo previamente, la brecha de demanda creciente en el sector que no fue cubierta por productos nacionales–. Así, los mejores niveles en términos de exportación se alcanzaron en 2008 y 2011 (gráfico 4). Desde entonces solo se registraron sucesivas bajas interanuales, con una caída del 33% si se compara el promedio exportado entre el período 2016-2019 y el mismo indicador para el período 2006-2015. Cuando se realiza la misma comparación y solo se consideran las exportaciones del promedio de 2018 y 2019, la caída es aun mayor: alcanza el 44%.

En relación con el destino de las exportaciones, hasta 2015 se destaca la elevada presencia de los mercados latinoamericanos como principales destinos –diez de los primeros 14 mercados son países latinoamericanos–, incluso cuando en los últimos años fueron perdiendo participación relativa, lo cual demuestra los importantes desafíos de la integración regional, particularmente frente a la presencia cada vez mayor de importaciones provenientes de China, fenómeno al que tampoco escapan países como Brasil. Es evidente que la agenda exportadora invita a revisar la mayor presencia en los mercados latinoamericanos con estrategias de mayor integración regional.

En definitiva, se da en simultáneo una pérdida de mercado externo e interno para el sector en la última década, en un contexto de crecimiento tanto del mercado doméstico como del mercado mundial. En relación

Gráfico 4 Evolución del comercio exterior de equipamiento médico (2003-2019)



Fuente: Elaboración propia con base en UN-Comtrade, Estadísticas de Comercio Internacional.

con esto, las estimaciones privadas auguran un crecimiento del mercado de dispositivos médicos del 5,2% anual hasta 2022 –prospectiva previa a la situación actual de la pandemia–, en un mercado que globalmente moviliza exportaciones por 195 mil millones de dólares, considerando bienes de capital, implantes e insumos médicos.

Sin embargo, subsisten al interior del sector nichos de ventajas competitivas al abrir exportaciones e importaciones por segmentos de producto. En efecto, Peirano (2017) analizó en profundidad los espacios de especialización productiva, que revelan capacidades dinámicas dentro del sector de equipamiento médico. A partir de los grados de complejidad tecnológica del equipamiento presentados previamente, identifica que las exportaciones están fuertemente concentradas en pocas firmas que detentan posiciones dominantes en diversos segmentos como la fabricación de incubadoras, de equipos de oxigenoterapia y de implantes ortopédicos. Como complemento, un estudio solicitado por una cámara del sector basado en datos del INDEC da cuenta de esta concentración exportadora en pocas firmas, al mostrar que entre 2015 y 2017 las primeras tres firmas exportadoras concentraron el 42% y las primeras nueve firmas, el 61% del total exportado. En línea con este análisis, CEPAL (2021) encuentra también ventajas potenciales para el comercio de *kits* de diagnóstico.

Las nueve firmas son exportadoras de bienes de alto valor agregado, originalmente de capitales nacionales y líderes en sus nichos de manufactura, lo que la literatura denomina “campeones ocultos” (Simon, 2009). Se trata de empresas de tamaño medio con elevada especialización productiva y capacidades tecnológicas propias, que por los mercados en los que participan no suelen ser ampliamente visibles. La pandemia reveló que la Argentina cuenta con este perfil de compañías en un sector estratégico, en busca de generar mayores niveles de autonomía sanitaria.

La especialización productiva del sector en el segmento medio surge de analizar aquellos espacios de competitividad sostenidos en el tiempo y aquellos latentes pese a haber tenido interrupciones. El análisis de Peirano respecto de esta especialización es contundente:

Dentro del universo de las 160 posiciones arancelarias que conforman los intercambios internacionales de equipamiento médico, es posible identificar 10 posiciones que explican el 80% de las exportaciones de 2008 y el 28% de las importaciones. Esta situación también se sostiene en 2015 ya que este subconjunto reúne al 69% de las exportaciones y al 27% de las importaciones. Por el procedimiento de selección efectuado para identificar a estas posiciones arancelarias, podemos afirmar que se tratan de productos fabricados localmente exportados con regularidad a lo largo de la última década, que conforman un perfil de especialización compatible con el criterio de ventajas comparativas, y que corresponden al segmento de complejidad tecnológica media (Peirano, 2017, p. 39).

En general, los principales rubros de exportación se presentan en el cuadro 3.

Por su parte, en un estudio prospectivo sobre la demanda de mercados externos realizado por Cancillería Argentina en 2020, se destaca la presencia de una demanda potencial favorable en 25 mercados para los productos médicos: Arabia Saudita, Argelia, Armenia, Australia, Austria, Barbados, Bulgaria, Corea, Costa Rica, Emiratos Árabes Unidos, Etiopía, Filipinas, Ghana, India, Kuwait, Líbano, Marruecos, México, Polonia, Portugal, Qatar, Reino Unido, Rumania, Suiza y Vietnam.

Cuadro 3 Exportaciones e importaciones por segmento
En millones de dólares

Categoría	Monto exportado		Monto importado		Saldo comercial	
	2010	2019	2010	2019	2010	2019
Dispositivos terapéuticos y de asistencia	28	7	146	193	-119	-186
Desechables	36	29	214	274	-178	-244
Equipos de diagnóstico por imagen	6	3	127	154	-121	-151
Instrumentos médicos, quirúrgicos y de ensayo	22	8	133	175	-111	-167
Mobiliario médico hospitalario	1	0	7	9	-6	-9
Total	93	47	627	805	-534	-758

Fuente: Elaboración propia con base en UN-Comtrade, Estadísticas de Comercio Internacional. Las categorías se basan en la taxonomía de Bambery Cereffi (2013).

LA AGENDA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y SU IMPACTO SOBRE LAS TECNOLOGÍAS DE LA SALUD

El sector de dispositivos médicos se ha caracterizado tradicionalmente por el uso de tecnologías asociadas a la metalmecánica –cuyos mayores ejemplos pueden encontrarse en productos como muebles hospitalarios, sillas de ruedas e instrumentos médicos de uso general–, pero también ha sido espacio para la aplicación de conocimientos en petroquímica y física, específicamente por el trabajo de materiales plásticos y del vidrio –estos últimos, con mucha presencia en insumos hospitalarios como jeringas y sondas, y en aplicaciones oftalmológicas o de laboratorio más complejas–. La tercera revolución tecnológica transformó notoriamente los segmentos ya existentes en el sector por medio de la incorporación de la electrónica en prácticamente todos los productos y procesos –lo que incluye no solo aspectos productivos sino también administrativos y de logística–, así como por la creación o expansión de nuevos segmentos de base electrónica, como lo fueron los equipos de electromedicina. De manera análoga, el proceso de transformación digital más reciente a nivel global está teniendo repercusiones importantes tanto en el ámbito de la salud en general como en el de los dispositivos médicos en particular. Además, es posible observar la incorporación progresiva de capacidades propias de desarrollo de software, cuya extensión y alcance dependen del perfil de los productos desarrolla-

dos y la escala de la firma. En el presente trabajo, sin pretender ser exhaustivo, se destacan dos grandes modalidades de expansión de las nuevas tecnologías, así como distintas ramas o áreas al interior de cada una.

La primera modalidad de la transformación digital en medicina involucra a lo que Herman y Devey (2007) denominan “tecnologías de atención descentralizada”, es decir, la incorporación de software y TIC para la transformación operativa y geográfica de las prestaciones. Los ejemplos característicos de esta tendencia son la telemedicina o *e-health*, la *m-health* y los *wearables*.

La telemedicina se caracteriza por la prestación integrada de servicios de salud a través de tecnologías que permiten la asistencia médica remota de alto impacto y escala; por ejemplo, sobre poblaciones lejanas y con alta dificultad de acceso a servicios de salud directos, que pueden ser monitoreadas, controladas y asistidas a distancia por profesionales de la salud. Por su parte, la *e-health* se nutre de la *big data*, la inteligencia artificial y la internet de las cosas para almacenar enormes cantidades de datos y transformarlos en información clave para la toma de decisiones de profesionales de la medicina, asistidos por el cálculo de grandes bases de datos interconectadas que contribuyen a calibrar los tratamientos de pacientes sobre la base de evidencia en grandes números de casos, que los profesionales de la salud no siempre tienen disponible ya que generalmente parten de su propia experiencia y la de su entorno científico y de investigación publicada en medios de difusión especializados. En este sentido, la *e-health* comprende desde artificios digitales de almacenamiento, como la historia clínica electrónica, hasta la capacidad de procesamiento de múltiples fuentes de información—desde imágenes hasta voz—para diagnóstico, como el uso de inteligencia artificial en la detección de tumores o afecciones pulmonares, neurológicas, nefrológicas, entre otras.

Por su parte, la *m-health* y los *wearables* comprenden la creación de aplicativos o la adaptación de dispositivos de uso cotidiano para el monitoreo de variables individuales de las y los pacientes, así como para el autodiagnóstico asistido o la integración de distintos tipos de prestación y servicios. Un ejemplo son las *apps* diseñadas para el seguimiento de pacientes diabéticos, que más allá de su integración o no con otros equipos u aplicaciones, ofrecen funciones de medicina preventiva fundamentales. Este tipo de aplicaciones y dispositivos recopilan y transmiten datos que además pueden ser accesibles para las y los profesionales de la salud y para los prestadores, lo que posibilita una personalización del tratamiento.

La segunda modalidad es la incorporación de las tecnologías 4.0 en los propios dispositivos médicos especializados: cada vez más dispositivos poseen la capacidad de recopilar datos, conectarse con otros equipos, generar aprendizaje a través de inteligencia artificial y mejorar su impacto sobre las y los pacientes. Dentro de esta segunda modalidad, si bien el impacto de las tecnologías es transversal, es posible distinguir tendencias más marcadas por tipo de producto.

Por ejemplo, en lo que refiere a los implantes, los avances en biotecnología, nanotecnología y ciencias de los materiales han permitido producir implantes de mayor biocompatibilidad con mejores propiedades mecánicas. Asimismo, la combinación de estos progresos con la impresión 3D, la realidad virtual y la realidad aumentada han posibilitado una mayor adaptabilidad y personalización de los artículos implantables, lo que se traduce en una amplia gama de productos, desde audífonos y prótesis dentales hasta férulas e incluso prótesis cardíacas (Gutiérrez y Febles, 2020; Schatan, 2021). Además, en el ámbito de los implantes activos—como puede ser un marcapasos—, Javid y Haleem (2019) señalan la posibilidad de customizar y desarrollar implantes con materiales inteligentes, lo cual proporciona agilidad en su producción e integración inteligente y remota con los sistemas de monitoreo para evaluar su *performance* con la asistencia virtual del médico/a especialista.

En contraste, la tendencia sobre el equipamiento –tanto de diagnóstico como de tratamiento– tiende a concentrarse en los datos y la conectividad mucho más que en las propiedades físicas del producto. De esta forma, se destaca la incorporación e integración de sistemas tecnológicos guiados por *big data*, inteligencia artificial, robótica e internet de las cosas. Ejemplos clásicos de aplicación de *big data* e inteligencia artificial a los dispositivos médicos son los “sistemas expertos” y su empleo en los equipos de diagnóstico, que conectan inmediatamente los resultados de un estudio de diagnóstico de cualquier índole con grandes bases de datos, lo que permite situar en comparabilidad con individuos similares los resultados obtenidos de manera automática para la o el profesional, y tener información sobre su posterior recuperación y desempeño en torno a la enfermedad o trastorno detectado para su inmediata aplicación al tratamiento. Además, el monitoreo posterior permite al sistema aprender de los resultados del tratamiento y continuar recomendando mejoras en iteraciones futuras. Por el lado de la robótica avanzada, los ejemplos más relevantes son los robots quirúrgicos y los de acompañamiento. Mientras los primeros son un mercado en franco crecimiento, los segundos van adquiriendo diseños y funcionamientos cada vez más similares a las que pueden prestar los seres humanos, y ofrecer una mayor comodidad para las y los pacientes (PWC, 2017). Por último, internet de las cosas permite no solo obtener información de distintos sensores colocados en los dispositivos, sino también su conexión con otros dispositivos, lo que resulta clave para generar información nueva trazable a lo largo de todo el proceso de diagnóstico –disponible para las y los profesionales en forma inmediata– y complejizar la interacción entre equipos y los resultados que generan (Javaid y Haleem, 2019). Por ejemplo, un reloj inteligente suele tener sensores para medir el pulso cardíaco de quien lo utiliza o incluso puede realizar un electrocardiograma (Schatan, 2021) y ofrecer la posibilidad de transmitir los datos inalámbricamente y almacenarlos en la nube –para luego interpretarlos posiblemente con sistemas de inteligencia artificial.

No obstante, si bien estas tecnologías son predominantes en los dispositivos, también se observa un progresivo crecimiento en la convergencia entre biotecnología y TIC, tanto en el campo de la combinación complementaria de dispositivos y fármacos –por ejemplo, el progreso en *stents* liberadores de fármacos– como en el campo de la microfluídica y la nanofluídica,⁷ las cuales tienen impacto en los métodos de diagnóstico y en la llamada “medicina de precisión”.

Los cambios mencionados en los productos y servicios se producen a partir de las nuevas tecnologías, pero también en respuesta a nuevas demandas. La coevolución entre la transformación digital y la transformación de los sistemas de salud se resume actualmente en el modelo de salud de las 4P: predictiva, preventiva, personalizada y participativa (Schatan, 2021). Este marco se basa plenamente en la incorporación de las nuevas tecnologías para la mejora continua de distintos aspectos de la salud bajo un marco individualizado de prestaciones. De esta manera, se apunta al monitoreo en tiempo real de las variables de la o el paciente, donde los datos que se generan se van almacenando y son potencialmente procesados bajo algoritmos de *machine learning* o *deep learning*. Este modelo no solo busca aumentar las capacidades de monitoreo de la o el paciente para incrementar su control de dichas variables, sino que la cantidad de información y la mayor capacidad de procesamiento constituyen herramientas para la toma de decisiones de los prestadores y profesionales de la salud. Asimismo, el modelo prevé el uso de la biotecnología y la inteligencia artificial

⁷ La microfluídica y la nanofluídica son tecnologías de manejo de fluidos que buscan la automatización y miniaturización de procesos de laboratorio. Particularmente en el área de diagnóstico han adquirido un ámbito de aplicación concreto en los llamados *lab on a chip*, es decir, la posibilidad de integrar múltiples tareas de laboratorio en un chip, reemplazando espacios y dispositivos específicos en actividades como la electroforesis de las muestras. El laboratorio en un chip adquiere especial utilidad en la accesibilidad de las pruebas de diagnóstico, tanto como en la aceleración de su procesamiento, bajo una nueva lógica: “Si llevar las muestras al laboratorio requiere tanto tiempo, ¿por qué no traer el laboratorio a las muestras?” (Zbrog, 2021; traducción propia).

para la detección temprana de enfermedades e incluso para el rastreo de enfermedades potenciales desde la predisposición genética. En este marco, distintas tecnologías –por ejemplo, la robótica– cumplen un rol relevante en el tratamiento, desde las intervenciones quirúrgicas hasta el acompañamiento de pacientes.

La firma Frost & Sullivan (2016) destaca que el nuevo paradigma tecnológico de la salud, a diferencia de los anteriores, se basa en la provisión de soluciones médicas en lugar de productos médicos o plataformas médicas. En este sentido, desde el punto de vista de los fabricantes, el impacto de las nuevas tecnologías se produce en los dispositivos pero también en la capacidad de adaptarse a la provisión de soluciones para un “hospital inteligente” (*smart hospital*) u hospital 4.0 (Chen *et al.*, 2019). Este concepto involucra distintas dimensiones de uso de las nuevas tecnologías para una mejora integral de las prestaciones desde el manejo de los datos y la automatización de procesos. Las nuevas tecnologías asisten a la o el paciente y a la o el profesional desde la prevención hasta el diagnóstico y el tratamiento, pero también protegen la calidad del equipamiento. En este sentido, el mantenimiento predictivo inteligente de los dispositivos médicos también es otra herramienta 4.0 que tenderá a favorecer el aumento de la disponibilidad de equipamiento operativo en el sistema de salud al fomentar su adecuado funcionamiento, algo que para países emergentes se torna esencial habida cuenta de la menor velocidad de reemplazo de los equipos y la importancia de extender su vida útil operativa.

De esta forma, aprovechar el potencial que la transformación digital ofrece a la medicina no solo requiere el mejoramiento de la infraestructura digital en los centros de prestación y la capacitación de recursos humanos orientada al uso de las nuevas tecnologías, sino también un sistema de salud que demande la incorporación de estos sistemas. Por lo tanto, el grado de importancia de la agenda 4.0 en los fabricantes depende esencialmente de las demandas de los sistemas de salud en los que operan, y eso determina que los fabricantes que abastecen sistemas de salud de alta sofisticación tenderán a liderar esta agenda de innovación (cuadro 4).

Cuadro 4 Modelos de provisión y el desafío de los fabricantes frente a la transformación digital

Modelo	Década de 2000: productos médicos	Década de 2010: plataformas médicas	Década de 2020: soluciones médicas
Enfoque tecnológico	Equipamiento, hardware, desechables	<i>Wearables, big data</i>	Robótica avanzada, inteligencia artificial, realidad aumentada
Fuentes de diferenciación	Innovación de producto	Incorporación de sensores y provisión de servicios a pacientes individuales	Provisión de soluciones inteligentes a pacientes y prestadores
Modelo de cuidado	Basado en historia clínica y evidencia científica	Basado en la disponibilidad de datos en tiempo real	Enfoque predictivo y preventivo, basado en el análisis de sistemas integrados

Fuente: Elaboración propia con base en Frost & Sullivan (2016) y PwC (2017).

En las próximas secciones se comparten algunos ejemplos y avances de esta agenda, en virtud de que una gran cantidad de países han impulsado políticas transversales para la adopción y generación de tecnologías 4.0 en sus respectivas industrias. Tanto Brasil como la Argentina han lanzado iniciativas de industria 4.0 en los últimos años, pero no tienen todavía el alcance y los recursos de iniciativas similares en los países desarrollados. Aun así, cabe destacar espacios donde estas iniciativas podrían tener una alta incidencia en la competitividad de los fabricantes de dispositivos médicos. Estas son algunas tendencias generales del sector cuyo alcance y aplicación en la Argentina aún no es del todo conocida, por lo que se intentarán dar algunos ejemplos y casos en distintos nichos del sector a través del relevamiento a empresas.

CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE TECNOLOGÍAS DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN EL SECTOR DE DISPOSITIVOS MÉDICOS

En este apartado se presentan los resultados preliminares del relevamiento efectuado en torno a la caracterización de la demanda de transformación digital. El relevamiento de información se basó en la realización de entrevistas semiestructuradas a representantes de empresas fabricantes y oferentes y a un conjunto de expertas y expertos de distintas instituciones clave para el desarrollo del sector.

En la mayoría de los casos fue posible obtener un panorama general de los principales obstáculos y desafíos para la transformación digital a través de un cuestionario estructurado enviado previamente a la entrevista individual. Durante la entrevista se focalizó sobre aspectos microeconómicos del proceso de transformación digital de índole cualitativa. De esta manera, se fueron construyendo elementos comunes sobre la base de casos y empresas.

La selección de las firmas buscó priorizar al segmento más innovador del sector. En estudios previos sobre la adopción de tecnologías 4.0 por parte de la industria manufacturera en la Argentina (UIA, BID-INTAL y CIPPEC, 2019; Drucaroff, 2020b) se identificó que solo un pequeño segmento de empresas es el que lleva adelante esta agenda –en 2018 esa proporción alcanzaba el 6% de los casos–. El foco sobre estos nichos de firmas innovadoras⁸ fue buscado especialmente para identificar la agenda de transformación digital, a sabiendas de que otros segmentos de empresas pueden estar relativamente rezagados en la materia, por lo que las firmas seleccionadas no deben ser consideradas como la norma sino precisamente como el estado del arte más avanzado en el país.

Para validar este enfoque, se complementaron las entrevistas individuales con *focus group* realizados con cámaras de fabricantes del sector, donde la variedad y heterogeneidad de las firmas confirmó la diversidad de avances y problemáticas en torno a la transformación digital –elemento que se comenta en la sección de resultados.

De esta manera, el informe final fue confeccionado con base en información cualitativa aportada por 30 personas entrevistadas correspondientes a 28 empresas del sector: 18 de esas empresas participaron de entrevistas individuales o de *focus group* (cuadro 5), mientras que las diez restantes completaron exclusivamente un breve cuestionario web que indagaba sobre el uso, la adopción o el desarrollo de tecnologías 4.0 por áreas de gestión. Además, fueron entrevistados 15 referentes de distintas áreas del INTI, la ANMAT y otras organizaciones del ámbito académico y empresarial (cuadro 6).⁹

Cuadro 5 Listado de representantes de empresas que participaron del relevamiento

Nombre	Cargo	Entidad	Entrevista	Cuestionario web
Alejandro Pina	Socio gerente	Rayos Pimax	x	

⁸ La identificación de empresas “innovadoras” *a priori* surge de informantes clave que fueron señalando diferentes casos reconocidos por sus prácticas de innovación. Además, aquellas firmas que son identificadas por su capacidad exportadora, en especial con destinos fuera de América Latina, también fueron incluidas, ya que son un indicador de *performance* competitiva en mercados altamente regulados.

⁹ Cinco personas aparecen tanto en el cuadro 5 como en el cuadro 6 porque fueron consultadas en calidad de miembros relevantes de asociaciones empresariales y por su rol en empresas, por lo que estrictamente el relevamiento total constó de la participación de 40 informantes (30 empresarios/as y diez referentes institucionales).

Nombre	Cargo	Entidad	Entrevista	Cuestionario web
Carmen Camacho	IT Business Partner - Digital Transformation & Innovation - Medical Devices Southern Cluster	Johnson & Johnson Latinoamérica	x	
Marcelo Bilinsky	Gerente de Ingeniería, Calidad y Asuntos Regulatorios	Medix Medical Devices	x	
Marcelo Castiglione	Titular	Amrra	x	
Marcelo Dordoni	Gerente	MDV S.R.L.	x	
Marcelo Olmedo	Fundador y CEO	Promedon	x	
Marcos Ledesma	Director	Ecleris	x	
Marne Fontán	Titular	EP@D TECH	x	
Sebastián Parigi	Gerente senior de Asuntos Gubernamentales	Johnson & Johnson Argentina	x	
Silvina Grasso	Socia y gerenta general	Leistung	x	
Alejandro Bertorello	Gerente de Tecnología y Desarrollo	Vitolen	x	x
Arturo Burin	Servicio técnico	Iraola y Cía.	x	x
Carlos Serafini	Presidente	Cardiotécnica	x	x
Eduardo Andrade	Director	E&M Electromedicina	x	x
Guillermo Rojkin	CEO - Gerente general	Wiener Lab	x	x
Javier Brizuela	Presidente	Tecnosalud	x	x
Javier Viqueira	Presidente	ADOX	x	x
Mauro Paiaro	Socio y gerente de Operaciones	Leistung	x	x
Mauro Stabile	Fundador y CEO	Opulens	x	x
Pablo Jordana	Director general	FOC Medical	x	x
Adrián Vera	Socio	BioSafety s.A.		x
Carla Bragos	CAO - Gerente de Administración	Terragene		x
Gustavo Siso	Global CIO	Silmag		x
Rafael Senestrari	CEO - Gerente general	Ingemed		x
Wanda Mansilla	Gerenta de Proyectos e Inversiones	Body Health		x
Anónimo	CEO - Gerente general	K27 S.R.L.		x
Anónimo	CEO - Gerente general	Lexel		x
Anónimo	Socio	Rayos X Dinan		x
Anónimo	Socio	SIEC S.R.L.		x
Anónimo	CEO - Gerente general	Sulan S.R.L.		x

Nota: Las y los participantes anónimos decidieron no revelar su identidad pese a enviar sus respuestas desde las cuentas de mail de sus organizaciones.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6 Listado de referentes de instituciones que participaron del relevamiento

Nombre	Cargo	Entidad
Alex Lozano	Director técnico de Micro y Nanotecnologías	INTI
Axel Barceló	Director ejecutivo	Incubando Salud
Carlos Serafini	Vicepresidente	CAPEEM
Carolina O'Donnell	Secretaria de Ciencia y Tecnología	Instituto Universitario de Ciencias de la Salud de Fundación Barceló
David Acevedo	Coordinador de Operaciones	Incubando Salud
Javier Elgadban	Dirección de Tecnología Médica	ANMAT
Javier Viqueira	Miembro activo	CAEHFA

Nombre	Cargo	Entidad
Leonardo Pazos	Jefe de Departamento de Desempeño Mecánico de Productos	INTI
Marne Fontán	Gerente	CAPEEM
Mauro Paiaro	Miembro activo	CAISAL
Romina Gudiño	Unidad de Vigilancia Tecnológica en Tecnología Médica	INTI
Sebastian Parigi	Secretario	CADIEM
Silvia Ceré	Jefa de la División Electroquímica Aplicada	Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de los Materiales de la Universidad Nacional de Mar del Plata y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNMDP-CONICET)
Silvia Díaz Monnier	Directora Técnica de Electrónica	INTI
Victoria del Castillo	Gerenta	CADIEM

Fuente: Elaboración propia.

Las personas entrevistadas comprenden cargos directivos de distintas instituciones clave del sector, mientras que, en el caso de las empresas, se intentó cubrir una parte considerable del diverso espectro de firmas que lo caracterizan. En este sentido, la mayor parte de las personas entrevistadas pertenecen a pymes de capital nacional con actividades de fabricación en distintos segmentos –desde equipamiento médico hasta implantes e insumos hospitalarios–. No obstante, se entrevistó también a directivos/as de empresas importadoras y representantes de grandes multinacionales del sector de dispositivos médicos, dado que complementan la oferta tecnológica disponible a nivel local –pese a no ser fabricantes– y constituyen un *benchmark* relevante para analizar la competitividad del sector fabricante local con relación a la competencia internacional, al menos en el mercado argentino. Sus aportes fueron significativos también en torno a la percepción del nivel de sofisticación de la demanda local frente al percibido en otros países en los que actúan.

Previo a la entrevista, se les circuló a las y los entrevistados pertenecientes a empresas un breve cuestionario estructurado orientado a identificar el nivel de conocimiento y aplicación de las tecnologías 4.0 y de transformación digital en las distintas áreas de la gestión empresarial. Durante la entrevista se les consultó acerca de su percepción respecto del grado de transformación digital del sector en la Argentina y cómo impactaría o no sobre su campo de actuación, incluida la propia demanda de los productos que ofrecen. Además, se les consultó el grado de avance de la firma a nivel individual en la agenda de transformación digital y se indagó a nivel cualitativo por las distintas áreas en las que realizaron –o planeaban realizar– proyectos de transformación digital, así como los objetivos buscados y beneficios obtenidos de ese proceso. Esto último incluía las dificultades con las que se enfrentaron en sus proyectos de transformación digital, así como los obstáculos, las necesidades y los desafíos que encuentran relevantes para la profundización de la agenda de la transformación digital.

A partir de estas entrevistas, se pudieron identificar algunas tendencias de incorporación y mecanismos de adaptación de tecnologías de la industria 4.0 en el entorno local y los principales obstáculos y desafíos para la transformación digital en el sector de dispositivos médicos en la Argentina.

Panorama de instituciones clave en la agenda de transformación digital del sector

A los fines de dar un panorama de las instituciones y los centros tecnológicos esenciales para la agenda de transformación digital, se realizó un relevamiento sobre la base de fuentes de información secundarias que permitió establecer un listado. En particular, se obtuvo información del trabajo de Peirano (2019), y a partir

de considerar el perfil productivo de las empresas de dispositivos médicos y la oferta tecnológica de apoyo, se las incluyó en este listado específico.

Téngase presente que se valoraron como relevantes centros tecnológicos e instituciones de propósitos amplios que puedan dar soporte a las tecnologías más utilizadas y significativas para el sector. No es llamativo encontrar, entonces, muchos centros vinculados con la asistencia tecnológica a empresas de perfil metal-mecánico como eje preponderante. Este relevamiento se propone tener una mirada amplia de la oferta de soluciones tecnológicas, dado que las instituciones con perfil dedicado al sector son marginales, algo razonable teniendo en cuenta también la propia escala limitada del sector –aproximadamente 260 firmas en todo el país.

El panorama general de esta oferta muestra:¹⁰

- > 33 instituciones públicas y privadas relevadas con oferta tecnológica que alcanza alguno de los aspectos de apoyo a la incorporación de tecnologías 4.0 importantes para el sector de dispositivos médicos.
- > De estas instituciones, el 29% tiene carácter privado, el 53% público y el 18% es una iniciativa público-privada.
- > El 50% de la oferta se ubica en CABA y la provincia de Buenos Aires y otro 25% en la provincia de Santa Fe, lo que da cuenta de la elevada concentración geográfica de la oferta.
- > Ninguna de las instituciones actúa simultáneamente en dimensiones de mejora de procesos (65%), desarrollo de producto (83%), mejoras organizativas y de tecnologías de gestión (33%) y transformación de los modelos de negocios (11%); es decir, la oferta de apoyo está compartimentada en distintos actores.
- > La oferta tecnológica es limitada y suele haber muchas áreas de vacancia en torno a tecnologías 4.0, y no se identifican centros con capacidad especializada en mantenimiento predictivo, *video analytics*, realidad aumentada, internet de las cosas, etcétera.
- > La baja dedicación al cambio en los modelos de negocios evidencia el marcado perfil tecnocrático de estas instituciones y la limitada orientación hacia el desarrollo empresarial –solo el 15% de estas instituciones tiene vinculación directa o una alianza con cámaras empresariales.
- > La mayoría de estas instituciones no se presenta comunicacionalmente como prestadora de servicios asociados a la transformación digital o industria 4.0, pese a contar con esta oferta.

En los siguientes apartados se mencionan los principales actores en torno a la agenda de transformación digital del sector que, por su peso específico, son fundamentalmente dos: el Instituto Nacional de Tecnología Industrial y la Agencia Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT).

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

El INTI “es el referente del Estado nacional en materia de tecnología industrial y metrología” y “su misión es contribuir al desarrollo de la industria a través de la generación y la transferencia de tecnología, la certificación de procesos, productos y personas, y el aseguramiento de la calidad de los bienes y servicios producidos en todo el país”.¹¹ Según su web institucional:

¹⁰ El listado de las instituciones puede verse en el Anexo I.

¹¹ Véase <https://www.argentina.gob.ar/inti/conoces-el-inti>.

El INTI fue creado el 27 de diciembre de 1957, en el marco del surgimiento de un conjunto de instituciones nacionales destinadas a poner en movimiento la inversión pública en ciencia y tecnología. Sus primeros laboratorios se ubicaron en el Parque Tecnológico Migueletes, un predio de 19 hectáreas ubicado en el partido bonaerense de General San Martín, en el que hoy se concentran diferentes sedes tecnológicas, integradas por profesionales altamente especializados, y laboratorios provistos de instrumental y equipamiento adecuado para atender las necesidades de las pymes en todo el país.¹²

Se trata de una institución con mucha trayectoria en materia tecnológica y conocida por la industria nacional. La institución se organiza en gerencias por áreas funcionales que –para dar una mirada resumida de su complejo modelo institucional– se articulan con centros por disciplina tecnológica y localización regional. En líneas generales, sus actividades son variadas, pero valen destacar la I+D en distintas áreas tecnológicas, la metrología, la asistencia técnica y los ensayos.

Si bien no existe un centro o área específica de dispositivos médicos, se pudo tomar contacto con al menos cuatro áreas distintas del organismo que tienen incidencia en el desempeño tecnológico del sector: electrónica, implantes, vigilancia e inteligencia tecnológica y micro y nanotecnología.

La Dirección de INTI-Electrónica cumple funciones de asistencia técnica y ensayos para distintos tipos de productos eléctricos, por lo que los dispositivos médicos son apenas una parte de su dedicación. Para todos estos productos, además de brindar capacitaciones a las empresas y asesoramiento específico, realizan evaluaciones de seguridad del producto, gestión de riesgos, compatibilidad electromagnética y ensayos de software –para lo cual poseen acreditación de laboratorio por el Organismo Argentino de Acreditación–. Asimismo, por las propias exigencias de estos ensayos, son esperables las repercusiones sobre el diseño industrial del producto, lo que lleva a la articulación con otras áreas, como INTI-Mecánica, INTI-Diseño Industrial o INTI-Envases y Embalajes.

Por otra parte, el área de implantes brinda también un servicio de asistencia integral, en el que trabaja con una amplia variedad de implantes, pese a que la mayor parte del mercado argentino evalúe implantes y prótesis para ortopedia y traumatología. Los ensayos requeridos a los implantes para su aprobación incluyen cuatro tipos: mecánicos, biológicos, clínicos y de superficie. El INTI tiene la capacidad de realizar distintos ensayos biológicos, mecánicos y de superficie, aunque para algunas pruebas específicas dentro de esas categorías todavía no cuenta con acreditación. Para dichas pruebas, el área de implantes articula igualmente, según el producto implantable específico, con una red de laboratorios que complementa su servicio, mientras que trabaja también en vinculación con INTI-Envases y Embalajes. En el caso de los ensayos clínicos, la regulación argentina –al igual que otras autoridades internacionales– establece una distinción entre dispositivos que son originales y aquellos que poseen ya un “equivalente sustancial” en el mercado, los cuales no requieren de investigaciones clínicas nuevas sino de la generación de evidencia objetiva que demuestre dicha equivalencia. En general, los productos desarrollados en la Argentina se basan en el concepto de “equivalencia sustancial”, por lo tanto, la aprobación clínica necesita únicamente el respaldo de una o un profesional del ámbito asistencial con experiencia probada en el uso de ese tipo de productos y la corresponsabilidad del fabricante (Pazos, 2012).

El área de vigilancia tecnológica e inteligencia estratégica se constituye en rigor como un nodo territorial del Programa Nacional de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva (VINTEC), con sede en Paraná (Entre Ríos) y con especialización en tecnologías médicas y productos farmacéuticos. Esta área brinda servicios de

¹² Ídem.

asesoramiento y capacitación a empresas orientados a la prospectiva tecnológica y la gestión de la innovación, y ofrece tanto servicios para proyectos particulares como un observatorio de acceso público. Dicho observatorio consiste en un portal web actualizado donde se registran distintos tipos de información dirigida al seguimiento de las tendencias tecnológicas del sector de tecnologías médicas,¹³ lo cual incluye normativas y legislación, eventos, publicaciones, patentes y licitaciones, entre otros.

Por último, la Dirección de Micro y Nanotecnologías trabaja fundamentalmente en actividades de I+D para distintos tipos de productos, y ofrece servicios de asesoramiento y apoyo técnico a las empresas para la incorporación de nuevas tecnologías, de manera de que optimicen sus productos o que puedan dar solución a sus problemas específicos. De tal modo, es un área crítica en lo que refiere al asesoramiento técnico sobre transformación digital, ya que ha trabajado en asistir a las empresas para, por ejemplo, la incorporación de conectividad a sus dispositivos, el diseño de hardware o actividades de miniaturización, o la programación de base *firmware* para los dispositivos. La asistencia está guiada por plataformas para la consecución de una prueba de concepto o un prototipo preindustrial.

El nivel de utilización de cada uno de estos centros es diverso en función de la oferta de dispositivos médicos de los fabricantes y sus tecnologías asociadas. Este elemento no debe ser soslayado si se considera que la limitada escala de empresas existentes en toda la gama de tecnologías médicas, al subdividirlas por tecnologías, se reduce significativamente. Puede ocurrir entonces que solo un número limitado de firmas –muchas veces inferior a la decena– requieran de servicios de muy alta especialización pero que compiten con inversiones de montos similares con capacidad de atender muchos más sectores o empresas. Esto también explica algunas dificultades en materia presupuestaria que manifiestan las y los informantes en torno a la actualización de equipos para brindar servicios que están en la frontera tecnológica del sector.

Según pudo conocerse, las cuatro áreas relevadas trabajan con cierto nivel de coordinación en la asistencia a las empresas, aunque según las y los referentes entrevistados se fundamenta más en la existencia de redes informales de conocimiento –se trata de áreas con muy baja rotación de perfiles técnicos y de responsables de antigüedad superior a los diez años en todas las disciplinas– que en un ordenamiento institucional que lo estimule o incentive en la organización de los servicios hacia las empresas.

En otras palabras, este esquema institucional de servicios descentralizados obedece a una organización por tecnología –definición organizacional por el perfil de conocimientos de las y los técnicos–, en contraposición a la que podría ser una organización desde la visión de la demanda –un centro especializado en dispositivos médicos capaz de integrar los distintos saberes y tecnologías disponibles para el sector.

Si bien el INTI siempre tuvo instrumentos y servicios de apoyo, durante la pandemia profundizó esa orientación a fortalecer las capacidades productivas vinculadas con el equipamiento médico necesario para la atención de personas afectadas por COVID-19, por ejemplo, a través del desarrollo de un ventilador alternativo denominado EVA O2 –que sostiene la vida de la o el paciente hasta que se desocupe un respirador convencional–, el primero en su tipo fabricado íntegramente en la Argentina. Además, el INTI asistió 23 proyectos relacionados con dispositivos médicos para atender las necesidades de la pandemia.¹⁴

¹³ Disponible en <https://inti.softvt.com/>.

¹⁴ Véase <https://www.inti.gob.ar/noticias/18-institucional/1699-el-inti-anuncio-la-aprobacion-de-anmat-del-equipo-de-ventilacion-alternativo-que-desarrollo-con-un-consorcio-de-pymes/>.

No obstante, al momento de la elaboración de este documento, las cuatro áreas relevadas presentaban distintas particularidades que dificultaban la extensión del servicio a una mayor cantidad de empresas y estaban asociadas al insuficiente presupuesto para la incorporación de personal y de equipos –problema que trasciende las gestiones de gobierno y tiene más que ver con la volatilidad de la economía nacional–, a las demoras en los trámites administrativos para la obtención de esos recursos, a la sobrecarga de trabajo en cuanto a la cantidad y heterogeneidad de ámbitos de acción que debían atender, entre otros obstáculos que serán también desarrolladas más adelante. Todas estas limitaciones se intentaban compensar con la generación y el sostenimiento de las redes informales mencionadas y con una elevada calificación y preparación de sus recursos humanos disponibles.

Por último, todas las áreas técnicas notan que la sensibilización de los fabricantes sobre la importancia de los aspectos regulatorios en la fabricación, así como de la agenda de transformación digital, ha crecido en los últimos años, aunque todavía es bastante incipiente. Por otro lado, las empresas reconocen la idoneidad y las elevadas capacidades técnicas del INTI en todas sus áreas, pero no suelen utilizar sus servicios de ensayos y asistencia técnica para determinados productos por la complejidad del proyecto o la celeridad necesaria para su aprobación, debido a las propias dificultades mencionadas del organismo que lo limitan para hacer frente con celeridad a todos los pedidos potenciales de la industria. En el caso del área de vigilancia tecnológica e inteligencia estratégica, el conocimiento por parte de las empresas del sector de los servicios de esta área –incluso aquellos de acceso libre– es aún muy limitado. La cantidad de empresas que consultan la web es muy baja y esto se debe también a que una parte significativa del sector no tiene un suficiente conocimiento de la agenda de la transformación digital y, más en general, de la utilidad de la prospectiva tecnológica.

Agencia Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica

La ANMAT cumple un papel clave en la regulación técnica, ya que habilita la comercialización y el uso de dispositivos médicos en el sistema de salud argentino y por parte de cualquier residente en el territorio nacional cuando se trata de productos que pueden ser autoadministrados por las y los pacientes.

Previamente se hizo referencia a estudios previos (CIECTI, 2013) que mostraban las dificultades señaladas por el sector privado a la hora de acceder a la aprobación regulatoria del organismo para la comercialización de sus productos. En contraste, las y los informantes técnicos entrevistados ponen el foco en que algunas empresas del sector no disponen de capacidades orientadas a cumplir con los requisitos regulatorios de entrada, con lo cual diseñan productos fuera del estándar normativo y se enfrentan, por este motivo, a demoras en la adaptación del diseño, de las piezas y de sus componentes, que deben ser rediseñados y ajustados a la normativa regulatoria.

Esta brecha entre la mirada de las empresas y de las y los técnicos persiste y debe ser tenida en cuenta a la hora de analizar cualquier iniciativa de transformación digital que modifique sustancialmente la oferta de productos de los fabricantes nacionales –y de otros que deban atravesar el camino de la certificación vía ANMAT sin posibilidad de homologar otras normas internacionales con igual validez.

La incorporación de nuevas tecnologías a productos existentes o el desarrollo de nuevos productos requieren de un marco regulatorio que pueda atender y comprender su funcionamiento y generar normas que los

regulen. Sin embargo, surge de las entrevistas¹⁵ que no parece ser un tema de suma importancia la transformación digital de los dispositivos médicos fabricados en la Argentina, tanto desde el punto de vista de la relevancia otorgada por el organismo a contar con capacidades tecnológicas en la materia, como desde las eventuales demoras en su aprobación por no contar con dichas capacidades para evaluar los productos médicos con tecnologías de industria 4.0.

El sistema de salud público y privado: la demanda del sector

La demanda pública es muy relevante para este sector, aunque su peso difiere –según los distintos segmentos de dispositivos médicos– en relación con la demanda del sistema de salud de la medicina prepaga y de las obras sociales.

En este contexto, ¿qué grado de tracción están teniendo las y los clientes de los oferentes de tecnología médica en la Argentina? La respuesta es que la demanda aún es relativamente incipiente. Según pudo reconstruirse, la importancia del sector público en la demanda de tecnologías médicas es diferente de acuerdo con el segmento de producto específico. En última instancia, en todos los casos la demanda pública juega un rol muy relevante, ya sea de manera directa –licitaciones públicas en el segmento de equipamiento electro-médico y de diagnóstico– o indirecta –a través del Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados (PAMI) en el segmento de implantables–. En el caso de los productos implantables y prótesis, el peso de los distribuidores –ya sean ortopedias u ópticas– desempeñan un papel de intermediario sobre la demanda, que igualmente tiene distintas consecuencias sobre el poder de dichos intermediarios en la cadena. En particular, se aborda en esta sección el segmento donde el entramado nacional presenta un nivel de complejidad tecnológica cercano a la frontera internacional y donde el sector público posee un amplio potencial para traccionar nuevas tecnologías, que es el rubro de equipamiento electro-médico y para diagnóstico por imágenes o de alta complejidad.

De la investigación cualitativa surge la elevada propensión importadora del sector público –en todos sus niveles administrativos– como el principal problema para la sostenibilidad de la inversión en dispositivos médicos, que permita procesos de acumulación previsible que den lugar a procesos virtuosos de acumulación de mediano y largo plazo para los fabricantes nacionales. Considerando la importancia de las compras descentralizadas de las provincias y municipios, el panorama es aun más complejo por la variedad de regímenes, procesos de licitación, diseño de pliegos y requerimientos técnicos solicitados en las compras.

En paralelo, en el mercado privado prima la demanda de dispositivos médicos guiada por el precio más económico y la mayor financiación otorgada por los oferentes, sin demasiadas consideraciones en relación con la durabilidad, garantía, posventa o innovación de los productos, según manifiestan las empresas del sector. Además, la inversión en este segmento está fuertemente influenciada por un atraso relativo de los aranceles de la medicina prepaga –regulados por el Estado– que tiende a generar efectos bandoneón en la inversión y reposición de equipos, algo que no escapa tampoco a la realidad del sector público.

No obstante, en el mercado público, la inversión en dispositivos médicos tiene características más complejas. El empresariado destaca una fuerte propensión a la importación de equipos basados en especifica-

¹⁵ Cabe destacar que durante el relevamiento se contactó para una entrevista a Marcela Rizzo, a cargo de la Dirección Nacional de Productos Médicos del Instituto Nacional de Productos Médicos, que se encuentra bajo la órbita de la ANMAT. Desde la institución, se informó la necesidad de solicitar autorización para su otorgamiento al titular de la ANMAT, Manuel Rodolfo Limeres. Habiendo solicitado dicha autorización, a la fecha de presentación de este informe no se había tenido una respuesta favorable.

ciones técnicas que dejan fuera de competencia a la industria local por sobreespecificación. Esto es llamativo en una inversión pública con recursos limitados que no alcanza a cubrir la reposición de dispositivos médicos ya amortizados que requieren reposición. Lo curioso, además, según manifiesta el empresariado, es que quienes dan posterior soporte a este perfil de equipos terminan siendo los fabricantes nacionales, porque las compras a proveedores del exterior suelen no garantizar la provisión de servicios de posventa y mantenimiento.

El escenario de mercado descripto funciona como una amenaza muy fuerte al sector de dispositivos médicos más desarrollado en la Argentina y con mayor potencial exportador: el de gama tecnológica media y media-alta. En el mercado privado la demanda se inclina por equipos de bajo costo que limitan rentabilidad por la competencia con fabricantes de países del Sudeste Asiático, que imitan y copian desarrollos con menor calidad pero de difícil distinción *a priori* por parte de la demanda al momento de comprar. En paralelo, en el mercado público la sobreespecificación y la compra de equipos con financiamiento condicional de países desarrollados le quitan capacidad de provisión.

Esta dinámica proporciona condiciones competitivas desfavorables en ambos mercados por la orientación de la demanda y por el perfil competitivo de la oferta en el segmento de tecnologías medias. Lo curioso es que en ambos mercados aún no se verifica una demanda diferenciada bajo ningún incentivo a la provisión de equipamiento bajo normas 4.0.

Más allá de la dinámica del mercado, lo cierto es que las empresas del sector reconocen un aumento paulatino de la demanda de dispositivos médicos con algún grado de innovación vinculada con la industria 4.0 y la transformación digital, particularmente en lo que refiere a la integración de datos generados por los dispositivos hacia las historias clínicas y todo lo relacionado a la telemedicina. Sin embargo, se destacó la falta de inversión en infraestructura complementaria –disponibilidad de internet y conectividad en los hospitales y centros de salud– y en la definición de protocolos de comunicación de los dispositivos.

Otras instituciones relevantes del ámbito privado

Como se expresó previamente, el ecosistema de servicios tecnológicos en la Argentina que puede aplicarle al sector de dispositivos médicos es amplio si se consideran instituciones que, pese a no tener una elevada especificidad con el sector, pueden atender en cierta medida algunas demandas, particularmente en lo referido a impresión 3D, desarrollo de software y electrónica, además de tecnologías de gestión que, si bien no son elementos propios de la transformación digital, pueden ser una base de apoyo ineludible para muchas firmas que aún no cuentan con capacidades de gestión productiva y tecnológica de base para la transformación digital.

Lo mencionado respecto a la distancia entre tipo de servicios y las asociaciones empresarias hace que estas últimas hayan desarrollado en el último tiempo sus propias estrategias de diseño y desarrollo de servicios y eventualmente de vinculación con otros centros tecnológicos. Un caso muy relevante es el de la Red de Centros Tecnológicos (CENTEC) de ADIMRA. El otro es la creación del Centro de Industria X de la Unión Industrial Argentina (UIA) en alianza con Accenture.

Los abordajes de estas instituciones son complementarios. En el caso de los CENTEC se hace foco en el acceso a servicio técnico especializado *in situ* con personal técnico calificado y una lógica federal y de especialización de servicios según las demandas regionales. Por otro lado, el Centro de Industria X de la UIA y Accenture fun-

ciona como un *one-stop-shop* de acceso a servicios de innovación blandos –formulación de proyectos, identificación de tecnologías críticas para la innovación, conexión con otros centros tecnológicos especializados y acceso a instrumentos de apoyo público–, que intentan resolver las asimetrías de información tecnológica existente entre las empresas respecto de la transformación digital, y a la disponibilidad de expertos/as consultores/as que puedan asesorarlas en la materia.

Ambas experiencias muestran intentos por generar espacios de aceleración de la transformación digital que cubran espacios no abordados por la política productiva y tecnológica, pero fundamentalmente que aprovechen su conectividad y *delivery* de servicios hacia las empresas para escalar la cantidad de proyectos de transformación digital en las pymes.

Si bien estas experiencias no tienen especificidad sectorial para las firmas de dispositivos médicos, merecen la pena mencionarse porque nada obstaculiza su utilización y aprovechamiento, particularmente de los CENTEC que están bajo la órbita de ADIMRA, entidad que aglutina una porción significativa de los fabricantes nacionales de dispositivos médicos asociados a CAEHFA.

Principales avances de la agenda de transformación digital en el sector de dispositivos médicos

Las 28 empresas relevadas del sector cubren una amplia variedad de dispositivos médicos: equipos para cuidados críticos, equipos de diagnóstico de alta complejidad, productos para control de infecciones, productos biomédicos descartables, *kits* de diagnóstico *in vitro*, equipamiento electromédico, lentes oftálmicos, máquinas de anestesia y respiradores, equipos de diagnóstico por imágenes, equipamiento para tratamientos de estética, implantes auditivos y prótesis. Se trata en su mayoría de perfiles de empresas fabricantes maduras, pymes, de capital nacional, que han desarrollado sus nichos de especialización sobre la base de esfuerzos de innovación propios.

Todas las firmas relevadas se ubican en CABA y en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, y predomina el tamaño mediano por facturación en los casos relevados, aunque al medirlas por empleo prevalecen las firmas de menos de 50 ocupados/as, algo que posiblemente también se vincula con el perfil de innovación elegido de las firmas –apuntado previamente– que da cuenta del elevado valor agregado que generan. En este grupo de empresas también se destaca la presencia de aquellas con actividad exportadora –80% de los casos relevados.

Las firmas señalaron la utilización de diversas tecnologías de industria 4.0 y transformación digital según el área de gestión. A continuación, se presentan los hallazgos para las distintas áreas de gestión. Se incluyeron algunas herramientas de gestión tecnológica –como KAIZEN– o tecnologías de automatización –como la sensorización de procesos– o de gestión de datos –como el software de terceros–, que si bien no son clasificables dentro de la industria 4.0 y de la transformación digital resultan habitualmente críticas para poder hacer ese proceso. Análogamente, la inclusión de la microfluídica se debe a su importancia potencial para el sector de dispositivos médicos, pese a no ser destacada en los estudios convencionales de industria 4.0.

Asimismo, dentro de este panorama se incluyen tanto proyectos finalizados como proyectos en curso. Muchas empresas destacaron que recién para el momento en que fueron realizadas las entrevistas –noviembre de 2021– estaban empezando a realizar acciones concretas sobre muchos proyectos de transformación digital que tenían en carpeta con anterioridad a la pandemia del COVID-19.

El cuadro 7 muestra los porcentajes de empresas relevadas que manifestaron utilizar cada una de las tecnologías consideradas. Las soluciones de almacenamiento en la nube y el software de terceros son ampliamente empleadas como instrumentos de transformación digital, algo que no es sorprendente por su alta transversalidad hacia diversas áreas de gestión. Un segundo grupo de tecnologías asociadas a la transformación digital también tiene un uso relativamente extendido, como las metodologías de mejora productiva o la sensorización de procesos. Y en tercer lugar aparecen la impresión 3D, la simulación digital de procesos productivos, el uso de *big data* y *analytics* para la toma de decisiones, el uso de robots, internet de las cosas, inteligencia artificial, nanotecnología y microfluídica.

Cuadro 7 Utilización de tecnologías en alguna de las áreas de la empresa

Tecnología para la transformación digital	Utilización
Software de terceros (no propio)	77%
Soluciones de almacenamiento en la nube	73%
Impresión 3D	55%
Metodología KAIZEN para la mejora productiva	45%
Sensorización de procesos	36%
Simulación digital de procesos productivos	32%
<i>Big data</i> y <i>analytics</i> para la toma de decisiones	32%
Robot/automatización	27%
Internet de las cosas	23%
Inteligencia artificial	18%
Nanotecnología	14%
Microfluídica	9%

Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

El nivel de utilización de tecnologías por área de gestión es muy diverso. El cuadro 8 resume las tecnologías usadas por las empresas y permite identificar los cruces más frecuentes entre tecnología y área de gestión —en verde más intenso—, entre los que se destacan cuatro intersecciones:

1. Software de terceros en la comercialización y administración y finanzas: se trata habitualmente del uso de software de gestión o enterprise resource planning (ERP) para digitalizar estas áreas.
2. Soluciones de almacenamiento en la nube en el área comercial y administración y finanzas: la disponibilidad de datos en la nube para poder compartirlo con usuarios/as y terceros en tiempo real.
3. La fabricación aditiva o impresión 3D en el desarrollo de nuevos productos.
4. La metodología KAIZEN para la mejora del proceso productivo.

El resto de las tecnologías y áreas de gestión muestran menores intensidades, aunque continúa habiendo una amplia gama de casos que indican la enorme diversidad de la agenda de transformación digital en el sector.

Cuadro 8 Utilización de tecnologías para la transformación digital por área de gestión

Tecnologías para la transformación digital	Áreas de gestión									
	P	C	PV	GT	AYF	CE	CV	I+D+i	L	
Software de terceros (no propio)	8	11	4	2	11	3	1	6	3	
Soluciones de almacenamiento en la nube	6	11	6	3	9	5	4	7	4	
Impresión 3D	5	1	1	0	0	1	0	10	0	
Metodología KAIZEN para la mejora productiva	10	1	3	0	2	1	2	1	3	
Sensorización de procesos	6	2	2	0	1	1	0	5	2	
Simulación digital de procesos productivos	3	6	2	0	4	3	0	3	5	
Big data y analytics para la toma de decisiones	5	1	0	0	0	1	0	4	0	
Robots/automatización	5	3	2	1	2	1	1	3	2	
Internet de las cosas	3	4	3	2	2	2	1	4	1	
Inteligencia artificial	2	2	0	1	0	1	1	4	0	
Nanotecnología	3	1	0	0	0	1	3	3	0	
Microfluídica	1	2	1	0	0	1	1	2	0	

Notas: P: producción; C: comercialización y ventas; PV: posventa; GT: gestión de talento; AYF: administración y finanzas; CE: comercio exterior; CV: cadena de valor; I+D: investigación, desarrollo e innovación de producto y L: logística. Los números denotan la cantidad de firmas que utilizan la tecnología.
Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento sobre 28 empresas del sector.

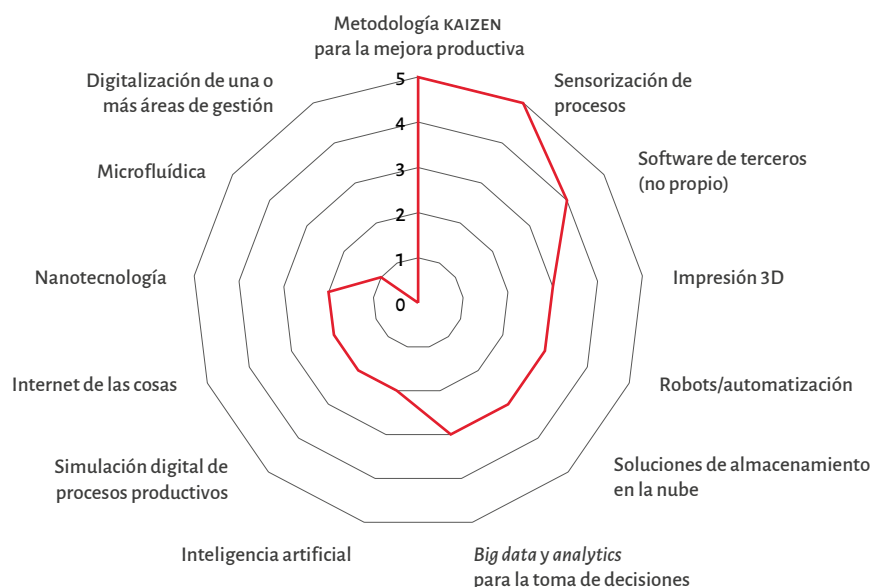
A continuación, se destacan las principales tecnologías por área de gestión para identificar así las tendencias incipientes que se pudieron relevar en las entrevistas cualitativas.

Producción

En las entrevistas cualitativas, un número significativo de firmas e informantes han descripto al sector como muy dinámico en cuanto a la actualización y el lanzamiento de nuevos productos, pero con un ritmo más lento en la incorporación de tecnologías vinculadas con la mejora de los procesos productivos. Pese a esta impresión general, se han encontrado casos de incorporación de tecnologías orientadas a una mayor digitalización del área de gestión productiva. El gráfico 5 muestra, en adición a lo referido previamente sobre la metodología KAIZEN, un importante grado de utilización de tecnologías de impresión 3D, de robots, de soluciones de almacenamiento en la nube, *big data*, inteligencia artificial, simulación de procesos productivos, internet de las cosas y nanotecnología. Además, en contraste con su uso poco extendido, se percibe una amplia variedad de tecnologías que pueden ser aplicadas al área productiva en función de la especialización de los fabricantes y de las demandas de las y los clientes.

Por ejemplo, en el rubro óptico, una empresa avanzó en la incorporación de internet de las cosas para el monitoreo y mantenimiento predictivo de equipos vinculados a la línea de producción y de grupos electrogénicos externos. En este caso, a partir de un software de desarrollo propio, el personal puede monitorear el correcto funcionamiento de las máquinas y el continuo suministro de energía. Asimismo, la automatización de una de las líneas de producción es completa, lo que comprende tanto la carga y descarga como el uso de sensores integrados a un sistema de detección y corrección de fallas, y la intervención de las y los operarios se produce exclusivamente para atender algún desvío que la propia máquina acusa. La recolección de datos asociados a la producción, sumado al desarrollo de un *data warehouse* propio, evidencia no solamente cómo esta compañía ha dado pasos firmes hacia la digitalización completa de sus actividades, sino también de qué manera se articulan las distintas tecnologías 4.0.

Gráfico 5 Producción: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

De igual manera, una firma del rubro de diagnóstico ha incursionado en proyectos de digitalización de su producción que tienen en cuenta la incorporación de robots para el ensamblado de los productos y la construcción de un anillo informático para la planta industrial orientado a la recopilación de datos de distintas etapas del proceso productivo. Esta misma empresa utiliza tecnologías de impresión 3D para el envase de algunas líneas de producto.

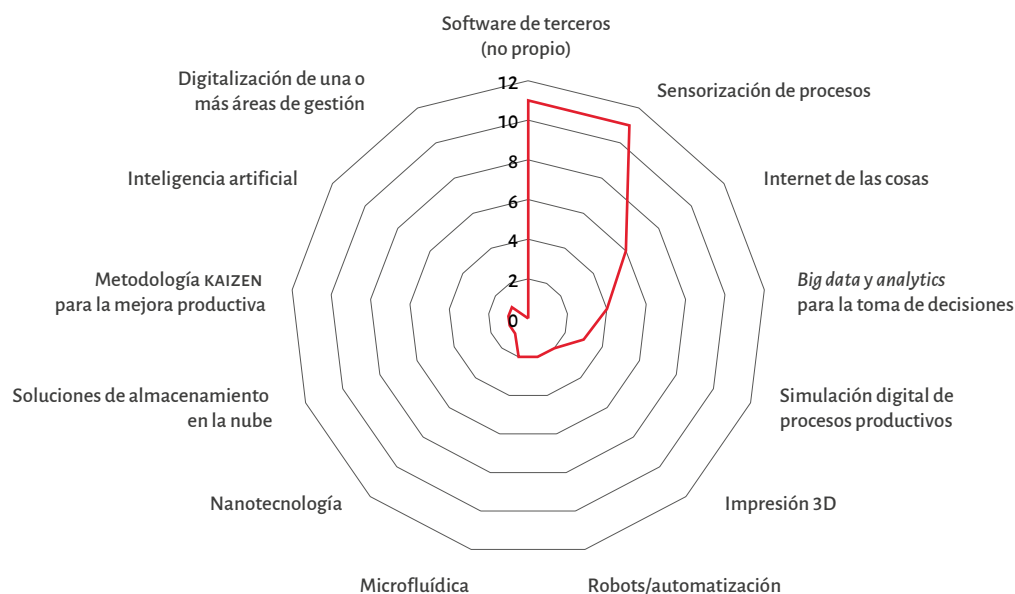
Comercialización

En el área de comercialización existen unas pocas tecnologías aplicadas, pero de uso intensivo debido a que una gran parte de las tecnologías listadas son de difícil aplicación a esta área de gestión. El predominio indudable está –como ya se mencionó– en las soluciones de almacenamiento en la nube y el uso de software de terceros típicamente bajo licencia para la gestión comercial. Algunas firmas también muestran proyectos en torno al uso de *big data y analytics* para la inteligencia comercial y de internet de las cosas y sensorización de procesos, estos dos últimos ejes fuertemente vinculados con poder mantener la trazabilidad de los productos (gráfico 6).

La trazabilidad es una preocupación que motivó a algunos fabricantes del mundo óptico que se encuentran integrados verticalmente con su cadena comercial a incorporar estas tecnologías. Asimismo, se constituye como un *driver* para la digitalización a medida que los mercados internacionales adoptan exigencias y estándares que ponen el foco particularmente en esos aspectos. Esto ha sido destacado por fabricantes tanto de equipamiento médico electrónico como de equipos de neonatología y de productos implantables. En particular, un fabricante de implantes incorporó un software del tipo CRM (*customer relationship management*) para mejorar la trazabilidad de los insumos y productos, debido a las exigencias que veía en las licitaciones internacionales de la Comunidad Europea.

A su vez, también los propios fabricantes ven las mejoras en la trazabilidad como un punto ineludible de una estrategia de negocios 4.0. Una de las empresas consultadas manifestó que habría sido una gran oportuni-

Gráfico 6 Comercialización y ventas: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

dad tener este ítem cubierto previo a la pandemia del COVID-19, ya que el fuerte incremento en la venta de equipos durante este período podría haber expandido su capacidad de recolección de datos tanto sobre fallas frecuentes y preferencias de las y los usuarios, como otros aspectos que podrían mejorar diversas áreas de su empresa en el futuro.

En cuanto a otros casos de implementación, una de las empresas relevadas del segmento de equipos de laboratorio inició un proceso de digitalización de toda su estructura de comercio exterior con el objetivo de tener un sistema *track and trace* de todas las operaciones de importación –por el alto componente de materias primas importadas– y de exportación –para darle previsibilidad a las y los clientes.

Posventa

La posventa también es liderada en materia de uso de tecnologías por las soluciones en la nube y el software de terceros, seguidas por las metodologías para la mejora de la gestión productiva e internet de las cosas. La presencia de otras tecnologías es marginal en los casos relevados (gráfico 7).

Una de las firmas en el rubro de implantables auditivos ha integrado varias de estas tecnologías al lanzar un sistema por el cual la o el paciente o usuario del dispositivo puede mantener, a través de su celular, una comunicación con el profesional a distancia y obtener no solo un autodiagnóstico del dispositivo, sino la posibilidad de una reprogramación de este guiada y monitoreada por la o el profesional de la salud. Para realizar este tipo de prestaciones, la compañía también utiliza herramientas para capacitar a las y los profesionales a distancia con relación al uso y características del dispositivo.

Asimismo, otra de las empresas relevadas manifestó que su principal interés por incorporar tecnologías digitales viene motivado por la mejora de sus servicios de posventa, en particular orientado a poder instalar sistemas de mantenimiento predictivo para la identificación de piezas a proveer a hospitales y fabricantes.

Gráfico 7 Posventa: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital

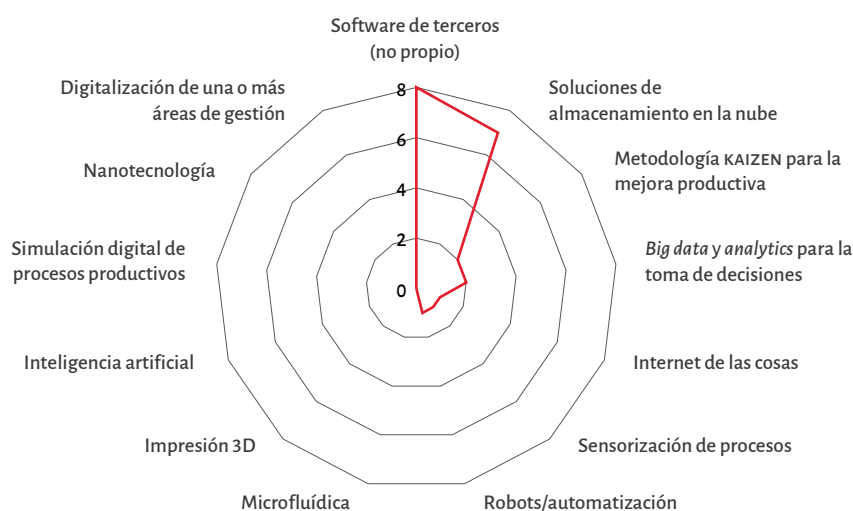


Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

Administración y finanzas

Ya se destacó que una de las principales tendencias ha sido la utilización de software de terceros y soluciones en la nube para la gestión administrativa y financiera. No obstante, las empresas relevadas destacan también la búsqueda de mejoras en esta área de gestión mediante la metodología KAIZEN y herramientas de simulación digital (gráfico 8).

Gráfico 8 Administración y finanzas: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

Un caso habitual en este rubro es la incorporación de software del tipo ERP, como un primer paso para la digitalización y automatización de las finanzas empresariales, por ejemplo en el caso de algunas empresas

fabricantes de equipamiento médico electrónico que recalcan la importancia de contar con información disponible para el análisis en un mercado en el que el principal demandante —el sector público en sus distintas escalas, niveles y jurisdicciones— no suele contar con una organización planificada y sistematizada de compras de equipos.

Cadena de valor

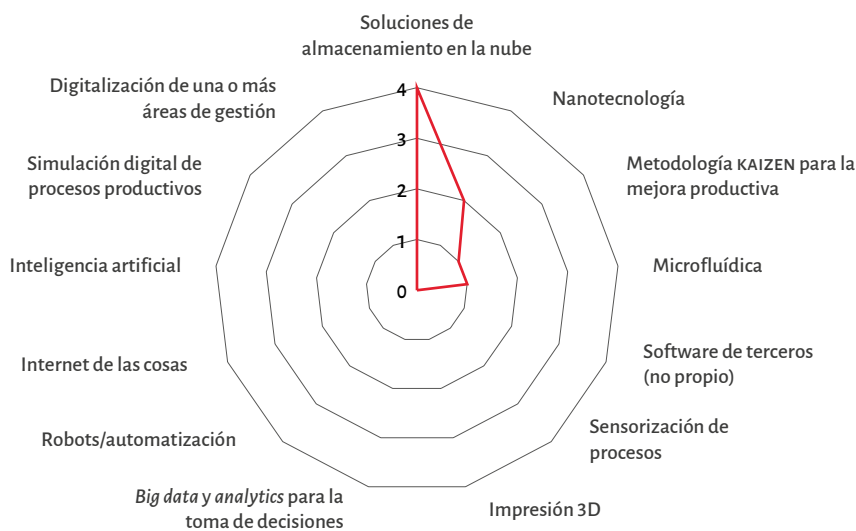
Las soluciones en la nube continúan al tope de las preferencias tecnológicas en la vinculación de las firmas con su cadena de valor. Sin embargo, aparecen también la nanotecnología y el método KAIZEN como tecnologías que trascienden las fronteras de la firma (gráfico 9).

Con respecto a las soluciones *cloud*, al día de la fecha se encuentran muy extendidas en las empresas del segmento óptico como estrategia de captación de clientes/as y para la recolección de datos integrada con el ERP y la gestión de solicitudes.

En el caso de KAIZEN, suele utilizarse para la gestión tecnológica y el desarrollo de proveedores para muchos fabricantes que integran partes y componentes en sus fábricas, que operan como terminales del proceso productivo de los bienes finales, como lo es el subsector de equipamiento electro-médico.

La nanotecnología tiende a ser utilizada en dos direcciones: hacia las y los clientes, en tratamientos de envases, materiales y dispositivos que al estar expuestos al contacto con bacterias y virus deben reunir condiciones que eviten su propagación; y hacia las materias primas, especialmente en la mejora de aspectos de seguridad y eficacia de los implantes, por ejemplo, la biocompatibilidad.

Gráfico 9 Cadena de valor: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

Investigación, desarrollo e innovación de producto

En esta área de gestión, al igual que en el caso de la producción, aparece una amplia variedad de tecnologías. La impresión 3D es la más utilizada seguida del almacenamiento en la nube, el uso de software, la sensorización de procesos, la inteligencia artificial e internet de las cosas (gráfico 10).

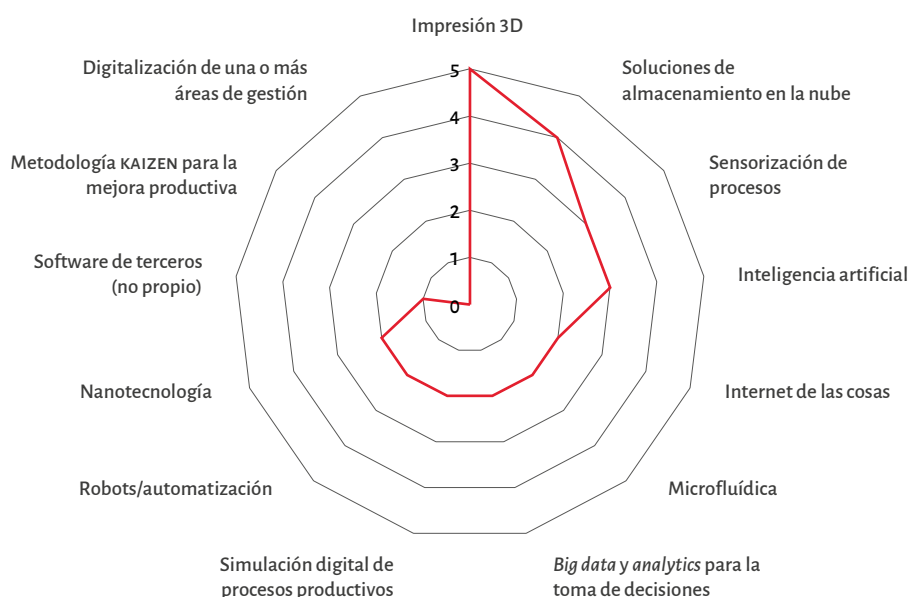
En lo que refiere a la impresión 3D, su uso en el prototipado de equipamiento y de implantes está bastante extendido, sobre todo desde que en la última década esta tecnología ha avanzado cada vez más sobre distintos tipos de materiales –muchos de ellos biocompatibles–. De las entrevistas surge que las empresas tienen capacidades de diseño en impresión 3D y algunas de ella poseen también impresoras 3D *in house*, según la complejidad técnica del segmento de producto. A este respecto, también en muchos casos se terceriza el servicio de impresión luego de haber diseñado las piezas o el prototipo. Asimismo, cuando los ensayos en laboratorios acreditados someten al producto a exigencias muy específicas, se utilizan técnicas específicas de impresión 3D que algunos fabricantes suelen tercerizar, en particular a empresas de China que fabrican a muy bajo costo por sus ventajas de escala.

Además, se destacan los proyectos en curso de interconexión de equipos sensorizados para generación y almacenamiento de datos de funcionamiento y de pacientes por vías inalámbricas –por ejemplo, en el rubro de máquinas de anestesiología, neumología y ozonoterapia–. De manera más inicial este tipo de tecnología se empieza a incorporar también a los equipos de electromedicina y el diagnóstico *in vitro*.

En el caso de software, *cloud* y simulación, sobresale el proyecto en una empresa del rubro de equipos de neonatología de recopilar información estadística vinculada con evaluaciones clínicas de distintas fuentes; y se distingue el uso de *big data*, *analytics* e inteligencia artificial de otra firma para el desarrollo de un sistema de diagnóstico oncológico por imágenes.

Por último, vale la mención del caso de una empresa del rubro óptico que desarrolló sistemas de realidad aumentada para solucionar un problema específico en el contexto de la pandemia de COVID-19. Este sistema lo continúan utilizando para sus procesos productivos, sobre todo en el área de mantenimiento y posventa, pero todavía no tienen pensado comercializarlo.

Gráfico 10 I+D+i: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

Logística y otros

En el área de logística se destacan casos de uso de almacenamiento en la nube, el software de terceros, *big data* y *analytics* y KAIZEN (gráfico 11). Entre las empresas de dispositivos médicos nacionales, esta área implica dificultades mayores en los casos de empresas que tienen al sistema de salud público como principal demandante, debido a la volatilidad e incertidumbre asociada a los sistemas de compra. No obstante, la integración y automatización de los sistemas de gestión de pedidos con los de producción es una tendencia que se empieza a observar en algunos casos de manera incipiente.

Además del caso mencionado respecto del sistema de *track and trace* en el área de comercialización, este tiene claras repercusiones sobre la logística, ya que se resaltó en las entrevistas la introducción de robots integrados al sistema ERP en empresas del rubro óptico y distintas soluciones orientadas al almacenamiento en equipos de neonatología.

Gráfico 11 Logística: utilización de tecnologías de industria 4.0 y transformación digital



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

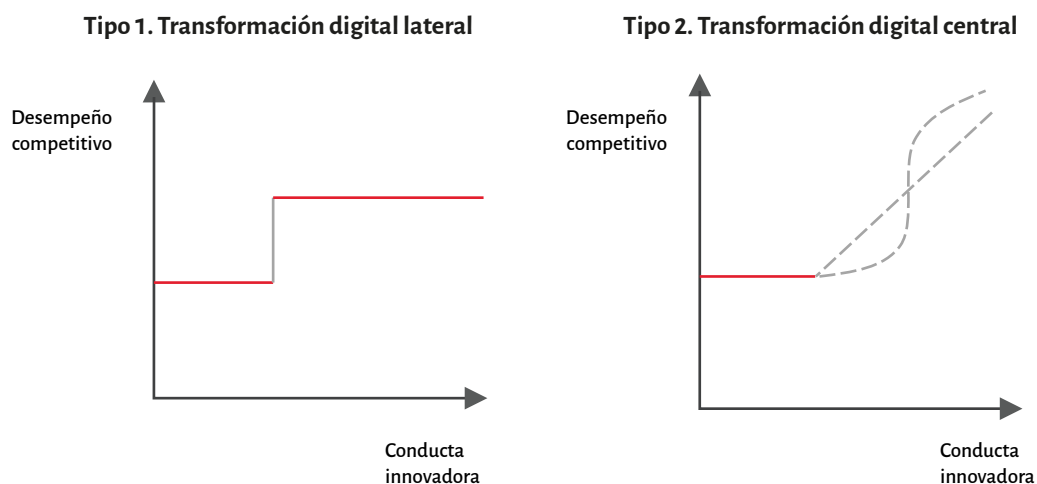
Además, el relevamiento permitió identificar que tanto en el área de gestión del talento como en el comercio internacional solo predominan el uso de soluciones en la nube y de software de terceros.

La transformación digital desde la perspectiva de la oferta de dispositivos médicos

Como se destacó previamente, la amplia variedad de firmas relevadas permitió abarcar un espectro muy amplio de productos fabricados y ofrecidos en el mercado argentino. Las áreas de producción, cadena de valor e I+D no son las más prolíficas en términos de cantidad de experiencias de transformación digital cuando se las compara con las áreas comerciales o de gestión administrativa. Sin embargo, pese a ser menores en cantidad, la relevancia de conductas tendientes a la transformación digital en estas áreas es mucho mayor, pues habitualmente tienen un peso transformador de la realidad competitiva de las firmas muy significativo, lo que genera nuevas conductas en torno a la innovación. Estas experiencias tienden a suscitar nuevas capacidades en las empresas y a desarrollar nuevos senderos de acumulación de *know-how* en materia de innovación y desarrollo tecnológico, a diferencia de aquellas áreas donde las tecnologías utilizadas son pro-

vistas por terceros o con muy poca injerencia de la firma en sus contenidos y parámetros tecnológicos, y generalmente tienen efectos “de una vez y para siempre” en la productividad. La distinción entre ambos tipos de transformación digital puede verse en el gráfico 12.

Gráfico 12 Esquema comparativo de trayectorias competitivas según tipo de transformación digital



Fuente: Elaboración propia.

El 70% de las firmas relevadas está desarrollando o ha desarrollado proyectos de transformación digital, lo cual valida el foco de la muestra hacia firmas con esta orientación. Además, todas las firmas con las que se tomó contacto en el relevamiento expresaron tener un muy elevado interés en sostener y profundizar los esfuerzos hacia la transformación digital, incluso aquellas que manifestaron sentirse un paso atrás del promedio de su competencia. Este es un elemento significativo para elaborar políticas hacia el sector que, si bien demanda sensibilización tecnológica, no requiere de mayores explicaciones respecto de la importancia y el impacto que podría tener esta agenda para mejorar su competitividad.

Sin embargo, al analizar las tecnologías que tienden a estar vinculadas con cambios en la conducta innovadora de la empresa y a generar nuevas capacidades propias –como el uso de nanotecnología, *big data* y *analytics*, inteligencia artificial o el desarrollo de gemelos digitales–, el porcentaje de firmas que están desarrollando alguna de estas actividades no supera un tercio de la muestra relevada, que –como se señaló– estuvo enfocada en los segmentos más innovadores de la industria de dispositivos médicos.

Aun así, se encontraron casos interesantes de empresas en cuanto a su patrón específico de adopción de las tecnologías 4.0 para el desarrollo de productos. Una característica bastante notoria en el sector es la de realizar innovaciones incrementales sobre diseños dominantes ya consolidados a nivel internacional, debido a que esto facilita la aprobación regulatoria por parte de las distintas autoridades nacionales. Si bien esto es cierto en la mayoría de los casos, algunas empresas tecnológicamente dinámicas en el sector se destacan por proyectos ambiciosos en términos de transformación digital, como es el caso de Adox, que ha crecido a partir de transformar su cultura organizacional hacia la búsqueda de mejora continua y oportunidades de innovación, así como de diversificar sus negocios sobre la base de asociaciones tecnológicas con distintas instituciones y recursos humanos del Sistema Nacional de Innovación (SNI) (recuadro 1).

Recuadro 1 Las tecnologías digitales como vía para la diversificación: el caso de Adox

Como afirma Albukhitan (2020), la agenda de la transformación digital requiere que las empresas planifiquen la implementación de las nuevas tecnologías y se transformen en sujetos activos que ajusten la cultura organizacional a nuevos paradigmas, en los que la mejora de las capacidades sea pensada de manera idiosincrática, sistémica e interactiva en conjunto con empleados/as, proveedores/as y clientes/as.

Adox es una empresa radicada en la provincia de Buenos Aires que ha orientado su cultura organizacional hacia el cambio tecnológico, y este hacia la diversificación de su cartera de negocios. Fundada en 1990 en el campo de los dispositivos médicos, Adox se constituyó en sus orígenes como una empresa referente en la provisión de equipamiento hospitalario para el área de cuidados críticos, especialmente máquinas para anestesia y bombas de infusión volumétricas y a jeringa. Actualmente, se describe a sí misma como una empresa de desarrollos tecnológicos innovadores y ofrece una amplia gama de productos destinados a múltiples rubros bajo cuatro áreas de negocio: salud, agroindustria, sector público y sector privado.

Esta visión no solo impulsó a la compañía a desarrollar proyectos orientados a la provisión de productos y sistemas basados en tecnologías de la transformación digital, sino que también la posicionó durante la pandemia del COVID-19 a partir de la expansión de sus ventas de medidores de CO₂. En ese momento adaptó junto con ADIMRA –y por medio de un dispositivo de bajo costo– sus equipos de anestesia para proveer ventilación mecánica en situaciones de extrema emergencia.

En cuanto a los productos de la empresa que constituyen una oferta basada en tecnologías digitales, se destaca el desarrollo –realizado junto a investigadores/as de la UNSAM y del CONICET– de un *spray* antimicrobiano formulado con nanotecnología para recubrimiento de superficies, así como el desarrollo de un sistema de diagnóstico por imágenes –llevado a cabo en conjunto con investigadores/as de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA– basado en analítica de datos e inteligencia artificial, con el objetivo de optimizar la terapia según la o el paciente.

El modelo de negocios de la empresa se basa en la diversificación orientada por tecnologías para distintos campos de aplicación, así como la profundización de una ya estrecha colaboración con el sistema científico-tecnológico, impulsando proyectos de innovación abierta.

Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento del caso y sitio web de la firma.

Además, algunas empresas se destacan por el grado de incorporación de sensores que actualmente tienen sus equipos, y tienen proyectos en curso para combinar esa generación de datos con el almacenamiento en la nube e internet de las cosas. Por lo que surge de las entrevistas realizadas con empresarios/as del sector, esta es una tendencia que ya se está manifestando en los rubros de diagnóstico *in vitro*, equipos de electro-medicina y máquinas de anestesiología, neumología y ozonoterapia. Las firmas cuyo modelo de negocios está orientado a la prestación de servicios basados en el comodato de los equipos vienen relativamente más avanzadas en esta agenda y han empezado a incursionar en algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial, mientras que las que comercializan sus productos son conscientes de que puede haber una transición a futuro hacia sistemas de *software as a service* y mientras tanto se enfocan en el fortalecimiento de sus servicios de posventa y en orientarlos al almacenamiento en la nube y al mantenimiento predictivo. No obstante, esta transición tiene dificultades que serán abordadas más adelante.

Particularmente en el rubro óptico, las empresas están incursionando en tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada de manera incipiente y direccionan sus esfuerzos hacia productos, pero también hacia los procesos productivos y la capacitación. Las firmas en este segmento tienen un alto grado de digitalización, como puede observarse en el caso particular de dos empresas fabricantes de lentes oftálmicas (recuadro 2).

Recuadro 2 La importancia de la transformación digital en el campo de las lentes oftálmicas: los casos de dos pymes argentinas

La transformación digital es un proceso adaptable a distintas estrategias empresariales y regiones geográficas, incluso dentro del mismo segmento de negocios. Se destaca aquí el avance de dos firmas del rubro óptico, ambas de tamaño mediano, pero de distinta región y alcance. Una de ellas tiene su planta de fabricación en la provincia de Buenos Aires, mientras que la otra se radica en la provincia de Santa Fe.

La empresa 1 es de capitales nacionales que actualmente emplea a unas 60 personas. Si bien se trata de una pyme que incursionó en la fabricación de lentes oftálmicas en la década de 1990, ha logrado competir con las principales empresas líderes del sector a nivel global a partir de contar con un software de diseño de lentes de desarrollo propio, el cual licencia a distintos laboratorios ópticos que se ubican en más de 40 países.

De las ópticas llegan los pedidos a los laboratorios. Las máquinas de fabricación en laboratorios que utilizan tecnología de fabricación FreeForm requieren de un software de diseño. Esta firma ha logrado incrementar la fidelización de los laboratorios a partir de ofrecerles no solamente el uso del software de diseño, sino también la posibilidad de integrarlo a un software de gestión de pedidos del tipo ERP. Asimismo, ha desarrollado dispositivos especializados para las ópticas e integrados al sistema ERP, de modo tal de que se minimicen los errores de medición de las dimensiones faciales básicas para la colocación.

Distinto es el caso de la empresa 2, una pyme que se dedica principalmente a la fabricación y venta de lentes oftálmicas, así como a la distribución local de lentes de algunas marcas líderes a nivel mundial. Esta empresa ha sido pionera en la adaptación idiosincrática de la agenda de transformación digital. A partir de fortalecer su gerencia de tecnología y desarrollo, ha logrado desde 2015 avances significativos en el uso de internet de las cosas y realidad aumentada para la mejora de sus procesos productivos, y ya posee una línea de producción totalmente robotizada y automatizada. A su vez, se encuentra actualmente abocada a la construcción de una nube de almacenamiento digital para el análisis de los datos surgidos de la fabricación y los pedidos de las ópticas.

Nota: Si bien se trata de casos reales, se reservan los nombres de las empresas para proteger su identidad.
Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

Es interesante notar que la tendencia a la transformación digital en este rubro viene muchas veces “tirada por la oferta”, es decir que la exigencia de automatización de líneas productivas la genera principalmente el proveedor de bienes de capital específicos para el sector. Al tratarse en su mayoría de empresas alemanas insertas en un proceso acelerado de digitalización y automatización de sus procesos, las maquinarias se actualizan rápidamente en esa dirección y los fabricantes locales se ven obligados a adoptar esa agenda. Esto contrasta fuertemente con otros segmentos –por ejemplo, el de equipamiento electromédico–, donde la agenda de transformación digital es principalmente “impulsada por la demanda”, debido a que son las regulaciones y las licitaciones en los principales mercados internacionales las que establecen estándares y exigencias de actualización digital a los fabricantes. En este sentido, incluso las oportunidades para nuevos fabricantes en nichos específicos emergen a partir de las exigencias de calidad de distintos mercados (recuadro 3), lo que también marca la importancia de contar con un sistema de salud que demande productos y servicios más sofisticados y otorgue un mayor potencial a la compra pública para la innovación como un vector para la transformación digital.

Recuadro 3 La demanda sofisticada como vector para la transformación digital de la empresa: el caso de Terragene

A diferencia de otros sectores, el sector de dispositivos médicos puede generar procesos tendientes a la integración vertical de actividades productivas y al desarrollo de nuevas tecnologías al interior de la firma, debido a las elevadas exigencias de calidad sobre los productos finales y a las estrictas normas de cumplimiento requeridas por las autoridades regulatorias nacionales. Asimismo, las necesidades reflejadas en la demanda de los prestadores de salud, en torno a mayor seguridad y eficacia de los productos, abren oportunidades de mercado a nuevos fabricantes, al mismo tiempo que exigen una constante actualización tecnológica de los concurrentes.

Estas tendencias pueden apreciarse claramente en el caso de Terragene, empresa santafecina que desarrolla y ofrece productos destinados al control de procesos de esterilización, lavado, limpieza y termo desinfección. Entre los productos que provee Terragene se destacan los indicadores biológicos y químicos, así como las incubadoras biológicas. Fue fundada en 2006 por iniciativa de dos investigadores del CONICET tras percibir las necesidades de indicadores biológicos en los hospitales de Rosario, y luego de un vertiginoso proceso de crecimiento actualmente es una firma mediana que exporta unos 15 millones de dólares anuales –el 90% de su facturación– a más de 70 países, entre ellos Estados Unidos y China.

El potencial de crecimiento de la empresa se encuentra vinculado directamente con los procesos de sofisticación de la demanda internacional, debido a que exporta la mayor parte de su producción a mercados con un mayor control del cumplimiento de las normativas referidas a esterilización e higiene. Los dispositivos específicos que produce Terragene, que requieren de una alta calidad de fabricación, llevaron a la firma a orientar su estrategia tanto a la diversificación de mercados externos como a la integración vertical de la cadena de valor y a la constante mejora de procesos internos. En este sentido, no solo ha incorporado nueva maquinaria para automatizar y hacer más eficientes sus procesos, sino que también ha incursionado en la fabricación de máquinas para agilizar los procesos productivos, bajo la premisa de disminuir al mínimo indispensable la dependencia de proveedores externos en función de cumplir con los estándares de calidad requeridos por los mercados internacionales. Es de destacar que la empresa posee proyectos en curso o terminados en relación con muchas de las tecnologías de la transformación digital relevadas (impresión 3D, inteligencia artificial, robótica avanzada, *big data* y *analytics*, entre otros), para mejorar tanto sus procesos internos como la trazabilidad de los productos y el procesamiento de datos generados a lo largo de toda la cadena de valor. Para ello, se vincula con otras empresas e instituciones, entre las que resaltan el CONICET y el Polo Tecnológico de Rosario. Por ejemplo, uno de estos proyectos involucra el desarrollo de un sistema de certificación de desinfección que permite monitorear el proceso de desinfección de ambientes, a través del escaneo de un código QR (<https://terragene.com/es/dcs-mobile-app/>). Este proyecto contó con la asistencia del Programa de Producción Colaborativa del Ministerio de Desarrollo Productivo.

Durante la pandemia del COVID-19, la compañía desarrolló dos proyectos en colaboración con otros actores del sistema público de ciencia y tecnología. Por un lado, se abocó al desarrollo de un sistema de detección molecular rápida del SARS-Cov2, financiado por la Agencia I+D+i. El proyecto involucró la rápida adaptación de incubadoras de fluorescencia para la detección molecular del virus en 15 minutos de incubación. Por otro lado, incursionó en la producción de hisopos nasofaríngeos y orofaríngeos que la Argentina no producía localmente antes de la pandemia, y consiguió la aprobación de la ANMAT en pocos meses. Ahora proyectan exportar los hisopos también a mercados externos como Brasil.

Actualmente, la estrategia de Terragene es profundizar la vinculación con el sistema científico-tecnológico, así como generar proyectos de innovación abierta para seguir incorporando segmentos de negocio –a la División de Control de Infecciones, que es la principal, se han sumado también las de Agro, Medio Ambiente y Energía–. En este sentido, además de la reciente inversión en el desarrollo de productos microbiológicos y biotecnológicos bajo la firma Protergium con aplicaciones para el agro, Terragene informó que se

encuentra trabajando en el desarrollo de la incubadora-aceleradora UOVO, una usina de innovación de base científico-tecnológica que tendrá por objetivo establecer puentes entre emprendedores/as y oportunidades de inversión. Para este proyecto, la empresa pretende promover áreas de interés como medicina de precisión, farmacéutica, diagnóstico *in vitro*, *agrosciences*, bionanomateriales, entre otras, y destinará 15 millones de dólares con una contratación prevista de más de 150 personas.

Fuente: Elaboración propia con base en el sitio web de la firma y diversas fuentes secundarias.

Hay indudablemente una parte de esta agenda que pasa también por la proliferación y el surgimiento de nuevas empresas. El cuadro 9 es tan solo una muestra de algunos casos relevados de *start-ups* y firmas que han sido incubadas en la Argentina y que basan su oferta de dispositivos médicos en la utilización de tecnologías 4.0.

Cuadro 9 Algunos ejemplos de *start-ups* y empresas incubadas en la Argentina que impulsan productos o sistemas médicos con tecnologías 4.0

Nombre	Producto
BDIN	Sistema de admisión y derivación de pacientes.
Beats2Beats	Prenda textil inteligente para mujeres embarazadas que permite monitorear embarazos de riesgo y brindar a la o el médico obstetra un diagnóstico de forma remota.
Clover	Válvula cardíaca duradera y hemocompatible.
Entelai	Software basado en inteligencia artificial para el diagnóstico de enfermedades y tumores a partir de imágenes.
Gisens Biotech	Plataforma de diagnóstico basada en nanotecnología, microfluídica y telemedicina.
Givemove	Prótesis para discapacidades motrices con aplicación de telemedicina e internet de las cosas.
Mirai 3D	Combinación de impresión 3D, realidad virtual y realidad aumentada para simulación y planificación quirúrgica.
Momentum	Dispositivos electrónicos que permiten recolectar, procesar y analizar información de atletas en competencia.
MZP Tecnología	Chips para pruebas diagnósticas basados en microfluídica.
Oncoprecision	Plataforma de testeo que evalúa las respuestas de las células de cada paciente a diversas drogas disponibles en el mercado, con el objetivo de proporcionar al oncólogo alternativas para adaptar las terapias al paciente.
Sigmind	Software basado en inteligencia artificial para el diagnóstico de enfermedades neurológicas y psiquiátricas a partir del análisis automático del discurso.
Stämm	Equipos de laboratorio con base en microfluídica.
Sugar Coach	<i>App</i> gamificada para monitoreo de pacientes con diabetes.
uSound	Sistema auditivo conectado a un dispositivo móvil para pacientes con hipoacusia.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de páginas web de las empresas e incubadoras del sector (véase Anexo I).

A diferencia de las firmas maduras, la dinámica de los *start-ups* en torno a esta agenda surge desde su propia concepción. Por la naturaleza de los mercados y nichos donde compiten, donde suelen intentar desplazar firmas maduras con posiciones de mercado estables y ancladas sobre propiedad intelectual y barreras regulatorias, la disrupción tecnológica y la búsqueda de soluciones innovadoras los hace nacer con un ADN digital de entrada en su oferta de productos. La tendencia hacia la digitalización de las áreas de gestión es posterior y siempre en la medida en que el *start-up* vaya desarrollando el crecimiento empresarial que lo obligue a atender esta agenda.

Algunas de las instituciones tanto públicas como privadas que fueron mencionadas anteriormente son una parte fundamental de la formación de recursos humanos calificados y generan instancias de vinculación y transferencia tecnológica que son la base de la creación de nuevas empresas y productos relacionados con la agenda de la transformación digital. Pese a que ha sido documentada la insuficiente articulación del SNI en

la Argentina (Dulcich, 2018; Gutti, Kababe y Pizzarulli, 2019), existen subsistemas alrededor de instituciones como la UBA, la UNC, la UNSAM, la FAN o la UNER en los que se generan polos de incubación y aceleración de *start-ups*, así como de formación de recursos humanos para empresas del sector. En general, existen varias instituciones de incubación y aceleración que brindan servicios de asesoramiento técnico, legal, regulatorio y en propiedad intelectual, así como apoyo financiero para nuevos emprendimientos, ya sea bajo la forma de participación en el capital empresario de la empresa incubada o en un porcentaje sobre los ingresos futuros. En el ámbito específico del sector de dispositivos médicos, se destacan principalmente la Incubadora de CADIME, Incubando Salud, la FAN y GridX.

Además, una de las instituciones que ha sido pionera en la agenda de digitalización en el sector de la salud en la Argentina y que podría tener un rol relevante en la agenda de transformación digital desde el lado de la oferta de productos es el Hospital Italiano de Buenos Aires. En particular, su Departamento de Informática en Salud ha digitalizado procesos internos de la institución para una mejora de las prestaciones, por ejemplo en lo que refiere a la historia clínica electrónica, mientras que apunta a una profundización de la investigación en inteligencia artificial a partir de la creación de programas específicos relacionados, como el Programa de Inteligencia Artificial en Salud del Hospital Italiano de Buenos Aires, que ha participado de iniciativas con potencial aplicación productiva, por ejemplo, el sistema Artemisia.¹⁶ Esta institución es una de las más cercanas al paradigma del Hospital 4.0 y puede configurarse no solo como un potencial ámbito de impulso para emprendedores, sino también como un protagonista del proceso de sofisticación de la demanda del sistema de salud hacia el sector productivo en torno a nuevas tecnologías digitales.

Es posible incluir también entre las instituciones relevantes para la agenda de innovación del sector a la Comisión Nacional de Energía Atómica y a la empresa Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado (INVAP), que son parte de una tradición vinculada a la medicina nuclear en la Argentina. Sin embargo, si bien algunos proyectos en los últimos años orientados a sustituir equipamiento médico importado –por ejemplo, un tomógrafo computado PET–¹⁷ o a avanzar en nuevos tratamientos –un acelerador de protones para tratamientos oncológicos–¹⁸ han emergido de estas instituciones y han llegado a instancias de prototipado o ensayo clínico, no se han constituido específicamente como estandartes de líneas de investigación orientadas a las tecnologías de la transformación digital, sino que se especializan específicamente en el nicho de tecnología nuclear.¹⁹ En particular, este tipo de proyectos han tenido muchas dificultades de inserción en el mercado y para su escalabilidad, dado que competirían en nichos codiciados por los líderes mundiales del sector. Si bien queda ilustrada la capacidad de los recursos humanos en el sistema científico-tecnológico argentino, ha surgido también en las entrevistas realizadas esta problemática no solo en cuanto a recursos financieros necesarios para la investigación sino también en la insuficiente vinculación entre el sistema científico-tecnológico y la órbita productiva. Asimismo, se ha mencionado en las entrevistas cierta reticencia o desinterés de muchas empresas a involucrarse en una producción competitiva de dispositivos médicos en el plano interprovincial o na-

¹⁶ Artemisia es una herramienta que asiste en la detección y evaluación de imágenes de la densidad mamaria (un factor de riesgo para el cáncer de mama), obtenidas de estudios de mamografías. Véase https://www.hospitalitaliano.org.ar/?utm_source=email_marketing&utm_admin=110784&utm_medium=email&utm_campaign=Departamento_de_Informtica_en_Salud_Newsletter#!/home/infomed/noticia/105906.

¹⁷ Véase <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-tomografo-ar-pet-hecho-por-cnea-ya-esta-en-el-hospital-de-clinicas>.

¹⁸ Véase <https://www.telam.com.ar/notas/202111/574215-cientificos-argentinos-corea-sur-protones-cancer.html>.

¹⁹ Si bien INVAP tiene una división de sistemas médicos al interior de la empresa, es un área de negocios relativamente pequeña que se dedica a la provisión de proyectos llave en mano con instalación de equipos de firmas representadas.

cional, debido a las exigencias regulatorias que implica la producción bajo estándares ANMAT, así como los costos asociados a las certificaciones necesarias.

Por lo tanto, la dinámica de *start-ups* en el sector y, más ampliamente, las experiencias virtuosas de vinculación entre la academia y la estructura productiva –como ilustra el caso de Adox– continúan siendo episodios relativamente marginales para potenciar una agenda de transformación digital en el sector, y a nivel general se requiere una mayor profundización de los esquemas de transferencia tecnológica.

La gestión de la transformación digital

Consultados sobre quiénes seleccionan las tecnologías de transformación digital e industria 4.0 a implementar, la mayoría de las personas entrevistadas (60%) manifestó que lo hacía el CEO o gerente general –lo que da cuenta de la importancia estratégica y transversal de esta agenda–, mientras que el 20% indicó que lo realizaba un gerente de tecnología. Por el tamaño de las firmas es probable que haya un sesgo hacia la jerarquización de esta agenda producto de la limitada escala de las organizaciones que concentra sus decisiones en los niveles más altos de la dirección.

Respecto de la selección de los proveedores para desarrollar los proyectos 4.0, solo el 18% señaló que le fue sencillo o muy sencillo identificarlos y seleccionarlos. La asimetría de información en estas vinculaciones es elevada y las y los informantes se mostraron con interés en acceder a espacios y plataformas de vinculación que puedan reducir las brechas de conocimiento. Esto también se convalida al corroborar que menos del 20% seleccionó a un proveedor del que no tenía ninguna referencia directa previa.

La implementación de los proyectos baja a niveles operativos, pero no en todos los casos. Casi el 40% de las empresas afirmó que la o el responsable de la implementación de los proyectos de transformación digital continuaba siendo la o el CEO o gerente/a general de la firma y el 10% que eso implicaba a las y los socios.

También participan áreas de desarrollo propias, tecnólogos/as externos de origen nacional –escasa participación internacional en los casos consultados– y eventualmente desarrollos con universidades en menor medida. La presencia de centros tecnológicos es marginal, lo cual muestra que, pese a la diversidad institucional evidenciada en secciones previas, su incidencia en la demanda efectiva de servicios tecnológicos prácticamente es nula.

Consultados/as respecto de la utilización de servicios de consultoría para la formulación o implementación del proyecto, el 45% manifestó no haber utilizado estos servicios y el 50% tampoco había hecho una evaluación económico-financiera de dicha formulación. Estos números no parecen muy distintos de las tendencias generales halladas en otros sectores de la industria (Drucaroff, 2020b) y revelan la naturaleza intuitiva y arriesgada de estas firmas, pero también la expectativa de grandes impactos que las animan a correr riesgos sin hacer cálculos precisos de costos. Habitualmente los errores de cálculo más complejos no tienen que ver con los costos económicos sino con los tiempos de implementación de las soluciones buscadas y de la adecuación de otras áreas de la firma a las necesidades para la implementación del proyecto. Posiblemente este es el costo más alto que tienen las empresas que no cuentan con un consultor/a o experto/a al momento de la implementación, según pudo relevarse.

El 80% de las firmas no tuvo apoyo de ninguna institución pública ni privada para desarrollar el proyecto de transformación digital, solo se verifican apoyos exiguos desde cámaras empresariales, el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, el INTI y el Ministerio de Desarrollo Productivo.

En general, quienes atraviesan el proceso de transformación digital alcanzan resultados satisfactorios, aun cuando sus tiempos son más largos de los previstos y surgen otras dificultades fuera del control de las firmas.

Los proyectos relevados tienen montos variados, algunos por debajo de los 50 mil dólares, los cuales han sido financiados en su totalidad con fondos propios. Por encima de esos montos los proyectos identificados han tenido como fuente de financiamiento los aportes no reembolsables, con lo cual se pone de relieve la importancia de estos instrumentos para proyectos más complejos y onerosos. El crédito bancario y el financiamiento por parte de tecnólogos/as no han sido utilizados en la muestra relevada, por lo que no parecen estar disponibles o ser atractivos en sus condiciones respecto de otras alternativas.

OBSTÁCULOS PARA ACELERAR LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN EL SECTOR DE DISPOSITIVOS MÉDICOS

El sector público puede ejercer un rol fundamental en el proceso de transformación digital en distintos niveles (Navarro, 2018; UIA y OIT, 2019). Primero, a partir de completar los casilleros aún vacíos respecto del ingreso al mundo digital tanto para las personas como para las organizaciones. Esto incluye no solo la provisión de bienes públicos y bienes comunes vinculados con la infraestructura de digitalización y al acceso a internet, sino también a la generación de capacidades básicas en programación y el diseño de programas de apoyo y ayuda financiera para la mejora de las competencias asociadas a los requerimientos de la sociedad digital. Segundo, articulando y fomentando las interacciones entre los distintos actores que puedan aportar conocimientos clave para la innovación de productos y procesos. Es decir, promover la difusión del conocimiento y el diseño de ámbitos colaborativos—como los denominados *hubs* de innovación digital—y acercar sobre todo a las firmas pequeñas y medianas. Tercero, favoreciendo la digitalización desde el entramado institucional, a los fines de que sean las propias instituciones las que protagonicen el proceso de transformación digital.

El relevamiento permitió identificar limitaciones y obstáculos para la transformación digital que dan lugar a este conjunto de áreas de intervención.

La ausencia de una demanda sofisticada promotora de la transformación digital y de un mercado interno con dificultades para los fabricantes nacionales

Un primer aspecto señalado por las firmas entrevistadas es que la demanda no está activamente solicitando innovaciones basadas en la transformación digital. Según las y los informantes, el avance de la telemedicina en el sistema de salud nacional—historias clínicas digitales, centralización de información en bases de datos en la nube—es aún muy incipiente y podría estar limitando la demanda de dispositivos que incorporen personalización, generación de datos, uso de *analytics* para la mejora de tratamientos, entre otras soluciones.

Consultados frente al funcionamiento del mercado de dispositivos médicos en general, las y los informantes describen que en el país prima la demanda de dispositivos médicos guiada por el precio y la financiación otorgada por los oferentes, sin demasiadas consideraciones con relación a la durabilidad, garantía, posventa o innovación de los productos. La inversión en este segmento está fuertemente influenciada por un atraso relativo de los aranceles de la medicina prepaga—regulados por el Estado—que tiende a generar efectos bandoneón en la inversión y reposición de equipos, elementos que conspiran contra la inversión sustentable en las firmas fabricantes.

Por una parte, en el mercado público, la inversión en dispositivos médicos tiene características más complejas. Las y los empresarios consultados destacaron una fuerte propensión a la importación de equipos basados en especificaciones técnicas que dejan fuera de competencia a la industria local por sobreespecificación. Esto es llamativo en una inversión pública con recursos limitados que no alcanza a cubrir la reposición de dispositivos médicos ya amortizados que requieren reposición. Lo curioso, además, según manifiestan, es que quienes dan posterior soporte a este perfil de equipos terminan siendo los fabricantes nacionales, porque las compras a proveedores del exterior suelen no garantizar la provisión de servicios de posventa y mantenimiento. La situación se agrava por la elevada descentralización de las compras, lo que reduce los efectos de escala en el sector al dividir las licitaciones y multiplicar diferentes requerimientos técnicos. Además, suelen hacerse compras con financiamiento internacional que condicionan el origen de los proveedores y pueden impedir la aplicación de reglas de preferencia de la Ley N° 27.437 de Compra Argentina y Desarrollo de Proveedores o directamente la participación en la licitación. El escenario de mercado descrito funciona como una amenaza muy fuerte al sector de dispositivos médicos más desarrollado en la Argentina y con mayor potencial exportador: el de gama tecnológica media y media-alta.

En paralelo, en el mercado privado la demanda se inclina por equipos de bajo costo, lo cual limita la rentabilidad por la competencia con fabricantes de países del Sudeste Asiático, que imitan y copian desarrollos con menor calidad pero de difícil distinción *a priori* por parte de la demanda al momento de comprar.

Esta dinámica los pone en condiciones competitivas desfavorables en ambos mercados por la orientación de la demanda y por el perfil competitivo de la oferta en el segmento de tecnologías medias.

Ausencia de una estrategia para compatibilizar la innovación nacional con los procedimientos de aprobación de dispositivos médicos basados en transformación digital

De las entrevistas con expertos/as del sector surge que no se cuenta con una estrategia en las instituciones regulatorias para atender las demoras en la aprobación de nuevos productos, originadas por la falta de capacidades institucionales para evaluarlos. Esta situación pone en ventaja relativa a los fabricantes internacionales que homologan sus productos en autoridades regulatorias del exterior y no están sometidos a la evaluación de la autoridad regulatoria nacional bajo protocolos y procedimientos.

Por su parte, se detectaron casos de *start-ups* que operan en el ámbito de la medicina sobre la base de plataformas de software y aplicaciones para celulares que han sido encuadradas por la ANMAT como “productos médicos” y generan demoras para su aprobación por no tener un tratamiento específico.

Infraestructura tecnológica de soporte inadecuada para la transformación digital en el ámbito de la salud

Los fabricantes señalaron que una porción importante del sistema de salud adolece de la infraestructura tecnológica para adoptar estas tecnologías en forma eficiente, tales como conexiones de internet confiables o el uso de almacenamiento en la nube, limitado en este último caso por problemas en la definición de protocolos para la protección de los datos de las y los pacientes que se alojan en servidores de terceros de grandes proveedores internacionales (por ejemplo, Microsoft Azure, Digital Ocean, Amazon Web Services, entre otros). Ello también da lugar a la falta de elementos de ciberseguridad que garanticen la protección y el adecuado uso de los datos.

No puede dejar de subrayarse que una falla o ausencia de infraestructura tecnológica adecuada para el uso de dispositivos médicos puede tener consecuencias fatales en su funcionamiento y en la eventual salud de las y los pacientes atendidos, por lo que no se trata de cuestiones menores.

Indefinición de protocolos de comunicación, estándares tecnológicos y protección de datos

Le cabe al sector público el ordenamiento y la regulación de los protocolos de comunicación entre dispositivos médicos en el ámbito hospitalario tanto público como privado. La ausencia de definiciones en la materia vuelve más dificultoso para los fabricantes tomar decisiones tecnológicas respecto de qué tipo de plataformas, hardware y tecnologías utilizar en la comunicación de sus dispositivos con otros, lo cual inhibe desarrollos en estas áreas o posterga su instalación en el mercado local.

Además, los fabricantes podrían estar sujetos a ser demandados por pacientes por la filtración de sus datos al no haber acuerdos ni convenios que limiten o establezcan las responsabilidades de los prestadores y los fabricantes en torno al alojamiento de los datos en la nube.

Reticencia a los cambios en la operación de los prestadores de salud derivados del cambio tecnológico

Algunos fabricantes consultados señalaron que los cambios tecnológicos en los dispositivos médicos no siempre son bienvenidos por parte de los prestadores de servicios de salud, toda vez que pueden requerir formar o capacitar al personal; eventualmente también generan tensiones en la disminución de requerimientos de trabajadores/as en los centros de atención. La adopción de estas tecnologías en los prestadores de salud puede traer aparejada la necesidad de contar con técnicos/as y enfermeros/as especializados y a la vez con menores dotaciones de personal que las existentes: en otras palabras, menos profesionales, más calificados. Esto podría también explicar las demoras en la activación de la demanda por nuevas tecnologías en el sector.

Adicionalmente, otras personas consultadas detectan que es posible que los modelos de contratación de los dispositivos tiendan a cambiar y que puedan configurarse en algunos nichos la “servitización” de los equipos, algo que modificaría sustancialmente el abordaje de contrataciones y licitaciones con efectos inciertos en la especialización y modelos de negocios de los fabricantes nacionales y de sus pares internacionales en el mercado argentino.

Brechas tecnológicas y funcionamiento del entramado institucional de asistencia a las pymes

Otro elemento destacado por las y los empresarios entrevistados fue la ausencia de alternativas de asistencia tecnológica para el acceso a ciertos servicios estratégicos por falta de equipamiento o personal técnico capacitado en brindarlos. El INTI ha sido reconocido como el principal oferente de este tipo de asistencias, y si bien su calificación técnica ha sido buena por parte de las empresas consultadas se lo considera poco ágil y bastante limitado en su oferta tecnológica. Debe tenerse en cuenta que para muchas firmas se trata de la única alternativa para acceder a ensayos a nivel local. A esta limitación se agrega el marginal uso del entramado institucional, relevado como complementario en tanto oferta tecnológica privada y público-privada, ya que es mayoritariamente desconocido en cuanto a los servicios que brinda.

Debilidades en las capacidades internas de las empresas para desarrollar proyectos de transformación digital

Son pocas las firmas que se ven confiadas en sus propias capacidades para avanzar en la trama más compleja de la transformación digital y la industria 4.0, pese a mostrarse muy interesadas en impulsar esta agenda. Las empresas suelen no contar con responsables de transformación digital formados y esta agenda suele recaer –aun en firmas medianas– sobre los socios/as o directivos/as de la firma. El apoyo en consultores/as especializados es bajo y obedece a la ausencia de un “mercado de expertos/as”. Pudieron detectarse casos en los que, conversando con responsables de proyectos de transformación digital, sus perfiles se asemejan mucho más al de emprendedor/a corporativo –que asume riesgos, convence a otros, opera bajo condiciones de incertidumbre– que a un técnico/a especializado en tecnologías. Se torna clave generar espacios formativos de expertas y expertos internos y externos a la firma.

Uso de instrumentos de apoyo no extendido

Si bien el sector de dispositivos médicos tiende a ser un usuario habitual de instrumentos de apoyo productivos y tecnológicos, para esta agenda de transformación digital su uso aún no es tan extendido como para la compra de equipamiento o inversiones más tradicionales. Esto obedece a la falta de conocimiento de las herramientas –al mencionarles la existencia de varias vigentes, las y los empresarios solían sorprenderse por la variedad y diversidad de áreas que ofrecen este tipo de instrumentos– y también a ciertos temores de que sus innovaciones no encuadren en la evaluación de estos instrumentos –“no sé si lo que quiero desarrollar está a la altura de esos instrumentos, quizás sea muy básico para lo que realmente buscan promover”–. Es conveniente una reorientación y mejor explicación de esta herramienta hacia el sector para mejorar el *delivery* de estos instrumentos.

Conocimiento de las tecnologías y comprensión de sus usos posibles

El conocimiento de las tecnologías en abstracto y de sus implicancias es elevado entre las personas entrevistadas. Sin embargo, muchas no han podido imaginar los usos de esas tecnologías en sus propios ámbitos empresariales.

Todos estos obstáculos relevados traen como consecuencia que las tecnologías con mayor potencial de cambio en la trayectoria innovadora de las firmas son las que menos se están instrumentando, ya sea por limitaciones del entorno regulatorio, de la demanda, del sistema de apoyo o de las propias capacidades de la empresa. La agenda de políticas precisamente va dirigida a atender estos obstáculos.

ÁREAS DE INTERVENCIÓN PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS FAVORABLES A LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR DE DISPOSITIVOS MÉDICOS

La dimensión institucional

El desarrollo del sector requiere una elevada coordinación de la política sanitaria con la política industrial y tecnológica. La definición de áreas estratégicas para el desarrollo de proveedores locales, de misiones productivas y tecnológicas (Mazzucato, 2018) que den marco a los esfuerzos públicos por generar mayores capa-

tidades en el sector privado debería provenir de acciones deliberadas de coordinación de los ministerios de Salud, de Desarrollo Productivo y de Ciencia, Tecnología e Innovación. Las compras públicas, la alineación de las políticas regulatorias con la fabricación nacional y la ampliación de mercados para exportación son elementos esenciales para el desarrollo de los proveedores nacionales. Sin esta dimensión institucional que dé marco a las áreas de intervención de las distintas políticas y que tienda a favorecer el crecimiento de los proveedores, la agenda de transformación digital quedará ciertamente en un plano marginal. Se trata de una precondition esencial para el sector.

Asimismo, los organismos regulatorios y de extensionismo tecnológico (ANMAT, INTI) constituyen un eje de intervención especialmente importante para considerar en cualquier estrategia de mejora de la capacidad competitiva y del nivel de innovación de los proveedores pymes nacionales. Se pudo verificar que las funciones y los objetivos de los organismos regulatorios y de extensionismo tecnológico tienden a ser amplios, profundos y complejos, e intentan dotar al ámbito de la salud de normas y protocolos con el mayor estándar internacional, pero no parecen reflejarse adecuadamente en sus organigramas, recursos disponibles y estrategias de formación y retención de talento interno. Es decir que se tiende a sobreestimar la capacidad de respuesta de estas instituciones frente a nuevos desafíos regulatorios, y se les asignan nuevas funciones o procedimientos, sin contrapartida en materia de recursos presupuestarios y de talento profesionales, algo que se puso muy de manifiesto en tiempos de pandemia.

Por ejemplo, en el plano regulatorio, la ausencia de una estrategia para atender la innovación y la transformación digital en los fabricantes nacionales—¿cómo desarrollar áreas y profesionales que estén actualizados tecnológicamente para evaluar estas tecnologías y su impacto?— complejiza la aprobación de innovaciones y nuevos dispositivos. Estos, a diferencia de los productos extranjeros, no cuentan con el amparo inicial de tener aprobaciones previas por entes internacionales homologables por la ANMAT—como la FDA u otras agencias de primer nivel mundial—. En otras palabras, solo aquellos proveedores nacionales que primero logren certificar sus productos innovadores en mercados internacionales podrían ser rápidamente aprobados en la Argentina.

En el caso del INTI, el gran espectro de centros, funciones y programas que deben abarcar las diferentes áreas, junto a las dificultades relevadas en materia de retención de talento y recursos presupuestarios para incorporar tecnología de punta, lo tornan un espacio más reducido a servicios de nivel “2.0 y 3.0” (información, asistencia técnica para cumplir requisitos regulatorios) que a un lugar de testeo y aceleración de procesos de innovación.

La coordinación de la política sanitaria, productiva y tecnológica, que abarca también el fortalecimiento de las instituciones clave en materia de compras públicas, marco regulatorio y asistencia tecnológica, se torna esencial para el desarrollo de cualquier estrategia de estímulo al sector de dispositivos médicos. La figura 4 ilustra las áreas de intervención identificadas en el relevamiento hacia donde orientar estos esfuerzos de coordinación y fortalecimiento institucional.

A continuación, y luego de un análisis exhaustivo realizado en el sector, se sugieren sintéticamente algunas acciones que guiarán la incorporación de posibles políticas públicas para promover y potenciar la agenda de la transformación digital:

Desarrollar un mercado dinámico e innovador que traccione la transformación digital en los proveedores nacionales. El fortalecimiento de la demanda de dispositivos médicos con base en la transformación digital es un eje clave. Si bien se detectaron casos de fabricantes que desarrollan proyectos de transformación di-

Figura 4 Áreas de intervención identificadas de políticas para la transformación digital del sector de dispositivos médicos



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento.

gital impulsados por la demanda, son raras excepciones. La demanda pública particularmente debería ser un factor a tomar en cuenta para definir nuevos estándares que promuevan la transformación digital. Sin embargo, debe prestarse especial atención a los mecanismos institucionales (licitaciones, procedimientos de compra y demás) que la promuevan, porque podrían tener efectos contraproducentes en el caso de fijar reglas y estándares incumplibles para los proveedores nacionales. Por eso es fundamental que el estímulo a la demanda por vía de la innovación surja del diálogo tripartito entre las autoridades regulatorias; las de las áreas estatales de salud, producción y ciencia y tecnología; y el sector privado. Se pudo detectar también que la demanda de transformación digital de los prestadores de la salud puede ser solicitada en forma de “transformación digital llave en mano”. Este tipo de aproximación puede ser particularmente atractiva para empresas internacionales de gran porte que cuentan con financiamiento propio, dominio de múltiples cadenas de proveedores de diversos dispositivos médicos y certificaciones de organismos regulatorios internacionales. Para el sistema de salud suelen resultar mecanismos muy convenientes en la forma de contratación y la agilidad administrativa que suponen al reducir al mínimo la cantidad de contratos y licitaciones a efectuar en esta modalidad. No obstante, el resultado para la Argentina de utilizar este tipo de mecanismos puede ser el de ignorar por completo capacidades locales. Sin perder de vista el diseño de proyectos integrales de transformación digital, la forma de aprovisionamiento debe tener en cuenta estas tensiones para que los fabricantes nacionales tengan posibilidad de participar de la nueva oferta tecnológica. Resulta imprescindible un adecuado uso de la Ley de Compre Argentino y Desarrollo de Proveedores –compre nacional con prioridad para las pymes con márgenes de preferencia del 15% versus la oferta importada y acuerdos de cooperación productiva de su artículo 15 frente a grandes compras– junto a esquemas *ad hoc* de compras públicas para la innovación y una articulación de las compras provinciales y locales, en el marco de un plan plurianual de inversión pública y selección estratégica de dispositivos en los que se priorizará a los fabricantes nacionales. Asimismo, la demanda debería ir acompañada de un plan estratégico de infraestructura que le dé soporte, además de la definición de protocolos de uso y acceso a la información en bases de datos y sistemas en la nube y de protocolos de comunicación entre diferentes dispositivos médicos para animar la inversión de los fabricantes sobre estos protocolos.

Desarrollar un plan de infraestructura de soporte a la transformación digital en los prestadores de salud.

La conectividad a internet y el desarrollo de estrategias de almacenamiento de datos en la nube junto a la ciberseguridad y el protocolo de responsabilidad de uso de los datos de pacientes se torna esencial.

Promover la adecuación regulatoria a la innovación con agilidad en la aprobación de nuevos dispositivos médicos.

La cuestión regulatoria, una vez fomentada la demanda de transformación digital, tampoco puede ser dejada al azar. Resulta imperativo ocuparse de cómo las instituciones regulatorias pueden compatibilizar seguridad en el uso con el desarrollo de capacidades institucionales que promuevan la innovación en el sector, para salir de enfoques defensivos hacia una regulación “orientada a la misión”. También de qué manera es posible evitar el sesgo regulatorio hacia la oferta importada con aprobaciones de organismos homologados automáticamente por ANMAT. Si bien estos temas pueden parecer alejados de la agenda productiva, tienen una incidencia significativa en el desarrollo de proyectos de transformación digital en este sector y deben ser considerados como parte de la agenda de vinculación y articulación institucional. De hecho, un aspecto muy relevante en las conversaciones con el empresariado es la ausencia de un liderazgo institucional de un área del sector público capaz de dirigir esta agenda, lo cual remarca la importancia de que el Ministerio de Desarrollo Productivo pueda ocupar ese espacio.

Fortalecer y coordinar una red de centros tecnológicos e instituciones que permitan el acceso a servicios tecnológicos innovadores.

Con relación a la oferta de servicios tecnológicos, tanto el INTI como otras instituciones relevadas con capacidad de desarrollar servicios especializados (ensayos disponibles, equipamiento, agilidad en la atención a través de dotaciones de técnicos más amplias, mayor visibilidad de sus servicios como los de prospectiva tecnológica) deben estar a disposición de las firmas innovadoras del sector. Sin embargo, también es importante acercar los servicios de menor nivel tecnológico a más firmas que aún no los utilizan. La posibilidad de que la Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y los Emprendedores (SEPYME) pueda apalancar inversiones críticas en instituciones clave del sector no debe descartarse, aunque deberán ser revisadas las escalas de uso de esas inversiones para evaluar su eventual sostenibilidad económica.

Ordenar y reperfilear los instrumentos disponibles hacia el sector con una estrategia de apoyo en cámaras empresariales y liderar la agenda de transformación digital.

La diversidad de instrumentos para la transformación digital vigente parece tener un efecto contrario al deseado. Se perciben como instrumentos de alto grado de especificidad, para firmas con altas capacidades tecnológicas y de requerimientos de evaluación muy estricto para su acceso, lo que conspira contra su uso. Debiera considerarse la posibilidad de enmarcar, por ejemplo, varios instrumentos en una ventanilla específica solo para empresas del sector que los abarque a todos en un solo lugar. Además, el *delivery* de estos instrumentos debe ser mucho más artesanal y apoyarse en instituciones intermedias –como ADIMRA o la UIA y sus centros especializados– para la llegada masiva a más beneficiarios/as.

Promover la agenda de la innovación abierta y la complementación tecnológica entre empresas maduras y *start-ups*.

Sin perder de vista que la agenda 4.0 y de transformación digital más profunda se ha percibido como limitada, los esfuerzos de la política también deberían estar puestos en generar capacidades internas en las firmas y en la vinculación entre empresas con capacidades complementarias. Tanto en la SEPYME como en la Secretaría de Industria se detectan programas que promueven la vinculación entre empresas maduras y *start-ups* tecnológicas para el desarrollo de innovación abierta que aún no han sido aprovechados

en forma vertical hacia determinados sectores, por lo que se sugiere potenciar. Atender a los *start-ups* desde la vinculación con firmas maduras es fundamental, pero también con las autoridades regulatorias y con el INTI.

Garantizar el acceso a instrumentos de apoyo esenciales para el sector y articularlo con el régimen de la Ley de Economía del Conocimiento. Las firmas relevadas destacaron el interés por acceder a instrumentos de apoyo diverso para mejorar sus capacidades internas y valoraron los aportes no reembolsables, la visibilidad de la oferta de tecnólogos/as para la transformación digital, la capacitación de sus cuadros técnicos y mandos medios, y los instrumentos de vinculación tecnológica con centros especializados y otras empresas. La SEPyme debería aprovechar esta avidez por el apoyo para potenciar la agenda de transformación digital del sector. También algunas empresas se mostraron imposibilitadas de acceder a la Ley de Promoción de la Economía del Conocimiento (LEC) por los altos requisitos burocráticos y la evaluación *ad hoc* de sus casos, elemento que debería contemplarse por el impacto significativo en el empleo de calidad de un crecimiento de este sector.²⁰ Además, la dinámica de las firmas más innovadoras tiende a su rápida internacionalización y amenaza incluso con la continuidad de su centro de operaciones en la Argentina. Este punto torna más importante el acceso a la LEC como otro elemento inhibidor de la extranjerización de estas firmas y de sus actividades de I+D.

Sensibilizar a los prestadores de salud como actores esenciales de la transformación digital del sector e incluirlos en las políticas productivas y tecnológicas y sus instrumentos e incentivos. La inclusión de los prestadores como eventuales tomadores de créditos, instrumentos de apoyo y de formación y capacitación profesional podrían contribuir a acelerar la agenda de transformación digital y potenciar su demanda hacia los fabricantes nacionales.

Desarrollar una oferta de servicios de innovación por especialización tecnológica en forma transversal a los sectores. Las tecnologías tienden a ser utilizadas por múltiples firmas de diversos sectores, pero el conocimiento necesario para su uso podría estar focalizado con una fuerte especialización en centros de apoyo. Esto es particularmente interesante de testear para tecnologías que son de difícil instrumentación y altamente transversales a los sectores –como nanotecnología, inteligencia artificial o robótica–. El involucramiento del sector privado en la configuración de estos centros sería deseable para validar la demanda, generar sustentabilidad económica autónoma y promover una gobernanza público-privada.

²⁰ Si bien no se encuentra en la órbita de la SEPyme, parece relevante atender si hay efectivamente restricciones de acceso a los beneficios de la ley por parte de los fabricantes. Aquí se las enuncia pero no se ha podido validar ni profundizar el alcance de estas limitaciones más allá de lo comentado.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBUKHITAN, S. (2020). "Developing digital transformation strategy for manufacturing", *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 664-671.
- ANDREONI, A., CHANG, H. J. Y LABRUNIE, M. (2021). "Natura non facit saltus: challenges and opportunities for digital industrialisation across developing countries", *The European Journal of Development Research*, vol. 33, N° 2, pp. 330-370.
- BALDWIN, R. E. (2012). "Global supply chains: Why they emerged, why they matter, and where they are going", CEPR Discussion Papers 9103, CEPR Discussion Papers.
- BAMBER, P. Y GEREFFI, G. (2013). "Costa Rica in the medical devices global value chain", Durham, Duke University, Center on Globalization, Governance and Competitiveness, pp. 1-63.
- BARUJ, G. Y PORTA, F. (2012). "Núcleo Socio-Productivo Estratégico: equipamiento médico", Plan Operativo 2012-2015, Argentina Innovadora 2020, Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Buenos Aires, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- BCC (THE BOSTON CONSULTING GROUP) (2015), "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", The Boston Consulting Group.
- BELLOSO, W. H., POPP, A. G., RIZZO, M. Y CHIALE, C. A. (2019). "El apoyo a la innovación desde las agencias regulatorias. Experiencia internacional y nacional: el equipo multidisciplinario de apoyo a la innovación de la ANMAT", *Revista Ciencia Reguladora de la ANMAT*, año 3, N° 5, octubre, pp. 14-18.
- BID (BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO) Y TECNALIA (2021). "Metodología de *digital innovation hubs* (DIHS) en América Latina y el Caribe", julio, mimeo.
- BRIXNER, C., ISAAK, P., MOCHI, S., OZONO, M., SUAREZ, D. Y YOGUEL, G. (2020). "Back to the future. Is industry 4.0 a new techno-organizational paradigm? Implications for Latin American countries", *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, N° 7, pp. 705-719.
- CASALET, M. (2018). "La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa", Estudios de Casos, Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95), Santiago de Chile, CEPAL.
- CEPAL (COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE) (2021). "El desafío de la autonomía productiva regional en la industria de la salud", *Perspectivas del Comercio Internacional de América Latina y el Caribe. En busca de una recuperación resiliente y sostenible* (LC/PUB.2021/14-P/Rev.1), Santiago de Chile, CEPAL.
- CHEN, B., BAUR, A., STEPNIAK, M. Y WANG, J. (2019). "Finding the future of care provision: The role of smart hospitals", McKinsey & Company, 31 de mayo.
- CIECTI (CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS EN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN) (2013). "Análisis tecnológico prospectivo sectorial: sector de bienes de capital", Buenos Aires, CIECTI.
- CORIAT, B. (1992). *El taller y el robot: ensayos sobre el fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica*, México, Siglo XXI Editores.
- DOSI, G. Y NELSON, R. R. (1994). "An introduction to evolutionary theories in economics", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 4, Berlín, Springer, pp. 153-172.
- DRUCAROFF, S. (2020a). "Políticas para promover la autonomía sanitaria basada en el desarrollo de proveedores locales de dispositivos médicos y kits de diagnóstico", Buenos Aires, CEPAL.
- DRUCAROFF, S. (2020b). "Diseño de un nuevo servicio de desarrollo empresarial para la transformación digital de PYMES industriales argentinas ante el nuevo escenario económico de la pandemia por COVID-19", UIA y OIT, inédito.
- DULCICH, F. (2018). "Especialización internacional y el escaso desarrollo endógeno de tecnología en la Argentina", *Ciencia, Docencia y Tecnología*, vol. 29, N° 56, mayo-octubre, UNER, pp. 74-108.
- EUROPEAN PARLIAMENT (2016). "Industry 4.0", Bruselas, European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy (ITRE). Policy Department A: Economic and Scientific Policy.
- FROST & SULLIVAN (2016). "Transforming healthcare through artificial intelligence systems", AI Health and Life Sciences, 4 de octubre, Londres. Disponible en <https://docplayer.net/36848717-Transforming-healthcare-through-artificial-intelligence-systems.html>.

- GONZÁLEZ MARTÍNEZ, J. (2003). *La producción en serie y la producción flexible: principios, técnicas organizacionales y fundamentos del cambio*, México, Universidad Autónoma Metropolitana.
- GUTIÉRREZ, J. A. Y FEBLES ESTRADA, A. (2020). "Las tecnologías disruptivas y su aplicación en la medicina con vistas al 2030", *Revista Cubana de Salud Pública*, vol. 45, N° 4, 26 de junio.
- GUTTI, P., KABABE, Y. Y PIZZARULLI, F. (2019). "La infraestructura científica y tecnológica en el sistema nacional de innovación", en Gutti, P. y Fernández Bugna, C. (comps.), *En busca del desarrollo: planificación, financiamiento e infraestructuras en la Argentina*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes.
- HERMAN, W. Y DEVEY, G. (2007). "Future trends in medical device technologies: a ten-year forecast", FDA.
- JAVOID, M. Y HALEEM, A. (2019). "Industry 4.0 applications in medical field: a brief review", *Current Medicine Research and Practice*, vol. 9, N° 3, pp. 102-109.
- KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A. Y WAHLSTER, W. (2013). "Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0, Securing the future of German manufacturing industry", final report of the Industrie 4.0, Berlín, Forschungsunion.
- LASI, H., FETKE, P., KEMPER, H. G., FELD, T. Y HOFFMANN, M. (2014). "Industry 4.0", *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, N° 4, pp. 239-242.
- LEE, K., WONG, C. Y., INTARAKUMNERD, P. Y LIMAPORNVANICH, C. (2020). "Is the Fourth Industrial Revolution a window of opportunity for upgrading or reinforcing the middle-income trap? Asian model of development in Southeast Asia", *Journal of Economic Policy Reform*, vol. 23, N° 4, pp. 408-425.
- LUNDVALL, B.-Å. (1985). "Product innovation and user-producer interaction", *The Learning Economy and the Economics of Hope*, vol. 19, N° 2, pp. 19-60.
- MAZZUCATO, M. (2018). *Mission-oriented research and innovation in the European Union: A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*, Bruselas, Comisión Europea.
- MOTTA, J., MORERO, H. Y ASCÚA, R. (2019). "Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina", Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/93), Santiago de Chile, CEPAL.
- NAVARRO, J. C. (2018). "El imperativo de la transformación digital. Una agenda del BID para la ciencia y la innovación empresarial en la nueva revolución industrial", BID.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2017). "Global atlas of medical devices", Ginebra, OMS.
- PAZOS, L. (2012). "Ferramentas para o relevamento da capacidade inovadora do sector de implantes cirúrgicos na Argentina", trabajo final de curso, MBA em Gestão da Inovação em Ciência e Tecnologia de Pós-Graduação, Río de Janeiro.
- PEIRANO, F. (2017). "El complejo productivo de bienes de capital: entre el carácter estratégico, la expansión y los límites estructurales", Buenos Aires, CEPAL.
- PEIRANO, F. (2019). "Desafíos y oportunidades de la industria 4.0 en Argentina. Bases para la discusión de una propuesta", inédito, documento preparado para la Secretaría de Industria de la Nación.
- 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*, N° 409, pp. 37-45.
- PWC (2017). "What doctor? Why AI and Robotics will define New Health". Disponible en <https://www.pwc.com/gx/en/newsroom/docs/what-doctor-why-ai-and-robotics-will-define-new-health.pdf>.
- RED ISPA (2020). "La Argentina frente al COVID-19: desde las respuestas inmediatas hacia una estrategia de desarrollo de capacidades", Buenos Aires, Red ISPA.
- REISCHAUER, G. (2018). "Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize systemic innovation in manufacturing", *Academy of Management Proceedings*, vol. 2018, N° 1, agosto.
- RUIZ, F. J. A., CARO, E. M. Y NAVARRO, J. G. C. (2018). "La transformación digital de los sistemas lean a través de la industria 4.0: un caso práctico", *Economía Industrial*, N° 409, pp. 25-35.
- SCHATAN, C. (2021). "México: política industrial y tecnologías disruptivas", Ciudad de México, CEPAL.
- SCHWAB, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*, México, Debate.
- SECRETARÍA DE POLÍTICA ECONÓMICA (2019). "Informes de cadena de valor: dispositivos médicos", Buenos Aires, Ministerio de Hacienda de la Nación.

- SIMON, H.** (2009). *Hidden Champions of the 21st Century: The Success Strategies of Unknown World Market Leaders*, Nueva York, Springer.
- SKILTON, M. Y HOVSEPIAN, F.** (2018). *The 4th Industrial Revolution: Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*, Cham, Palgrave Macmillan.
- SUAZNÁBAR, C. Y HENRÍQUEZ, P.** (2020). "Transformación digital empresarial. ¿Cómo nivelar la cancha?", Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en <https://publications.iadb.org/es/transformacion-digital-empresarial-como-nivelar-la-cancha>.
- UIA, BID-INTAL Y CIPPEC** (2019). "Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina", mayo, Buenos Aires. Disponible en <https://www.cippec.org/publicacion/travesia-4-0-hacia-la-transformacion-industrial-argentina/>.
- UIA Y OIT** (2019). "Diseño de un nuevo servicio de desarrollo empresarial para la transformación digital de pymes industriales argentinas ante el nuevo escenario económico de la pandemia por COVID-19", mimeo.
- UNIDO** (2020). "Industrial Development Report 2020. Industrializing in the digital age", Viena, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
- VON HIPPEL, E.** (2009). "Democratizing Innovation: The Evolving Phenomenon of User Innovation", *International Journal of Innovation Science*, vol. 1, N° 1, pp. 29-40. Disponible en <https://doi.org/10.1260/175722209787951224>.
- WESTERMAN, G., BONNET, D. Y MCAFEE, A.** (2014). "The Nine Elements of Digital Transformation", *MIT Sloan Management Review*, 7 de junio. Disponible en <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>.
- WINTER, S. G. Y NELSON, R. R.** (1982). "An evolutionary theory of economic change", University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship.
- ZBROG, M.** (2021). "The hottest medical technologies in 2021", Medical Technology Schools. Disponible en <https://www.medicaltechnologyschools.com/medical-lab-technician/top-new-health-technologies>.

////////////////////

Capítulo 3

La transformación digital en el sector de maquinaria agrícola

Tomás Canosa y Francisco Arno

INTRODUCCIÓN

La Argentina cuenta con un denso entramado industrial que fabrica tanto maquinaria agrícola como agropartes para abastecer el último eslabón de la cadena. En este sector conviven grandes empresas multinacionales con firmas de capitales nacionales que fabrican bienes con valor agregado para abastecer las demandas del entramado agropecuario. Las permanentes demandas de las y los productores agropecuarios y contratistas, así como la necesidad de mejorar la productividad, reducir los costos y contar con más y mejores herramientas para la toma de decisiones, hacen que cada vez más empresas estén dando pasos hacia una transformación digital, no solo en cuanto a los bienes que fabrican, sino también a los procesos productivos que llevan adelante. Esta agenda no está exenta de obstáculos, que requieren una multiplicidad de abordajes e intervenciones de numerosos actores del mundo público y privado. Encontrar las soluciones permitirá, además de impulsar la producción de bienes con mayor valor agregado y de mejorar la productividad, fomentar la creación de empleo en localidades de diferentes provincias—donde un universo importante de los puestos de trabajo registrados es creado por firmas fabricantes de maquinaria agrícola—, dado que el sector cuenta con un marcado perfil federal.

Para este diagnóstico, el trabajo se ha estructurado de la siguiente manera. En el primer apartado se presenta la caracterización del complejo de maquinaria agrícola en la Argentina, con sus actores primordiales, la localización de la producción y los principales bienes fabricados en el país. En el segundo apartado se hace un recorrido por la producción del sector en el pasado reciente, al contemplar cómo fue evolucionando la fabricación de diversos bienes dentro de este entramado. En tercer lugar, se describe la inserción internacional del sector, tanto la penetración que tienen los bienes fabricados localmente en la exportación a otros mercados, como los bienes de este segmento que se importan desde la Argentina. En la cuarta sección se exponen los principales avances en la transformación digital del sector. Para ello se realizaron en total 36 entrevistas:¹ 22 fueron a empresas tanto de maquinaria agrícola como agropartistas, que se localizan en diversas regiones del país, de diversos tamaños y que fabrican distintos tipos de productos; y las 14 restantes fueron a expertas y expertos de la academia, del ámbito público y del privado que trabajan permanentemente con firmas del sector. La metodología también consistió en realizar una revisión de la literatura bibliográfica actualizada y se trabajó con fuentes primarias y secundarias. Posteriormente, se describen cuáles son las principales instituciones que intervienen para promover esta agenda y los principales obstáculos que impiden materializar la transformación digital en el sector. Por último, se presentan los lineamientos de políticas para pensar en estrategias que permitan avanzar en la profundización de la transformación digital en el complejo de maquinaria agrícola en la Argentina.

CARACTERIZACIÓN DEL COMPLEJO

El sector de maquinaria agrícola forma parte de la cadena de valor de la industria metalmecánica, industria manufacturera que transforma el metal para la fabricación de estructuras, maquinarias y equipos de diversas características y funcionalidades; la fabricación de este tipo de bienes la convierte en una de las más tradicionales de la metalmecánica argentina (Hybel, 2006).

¹ Para más detalles, véase el Anexo II al final del libro.

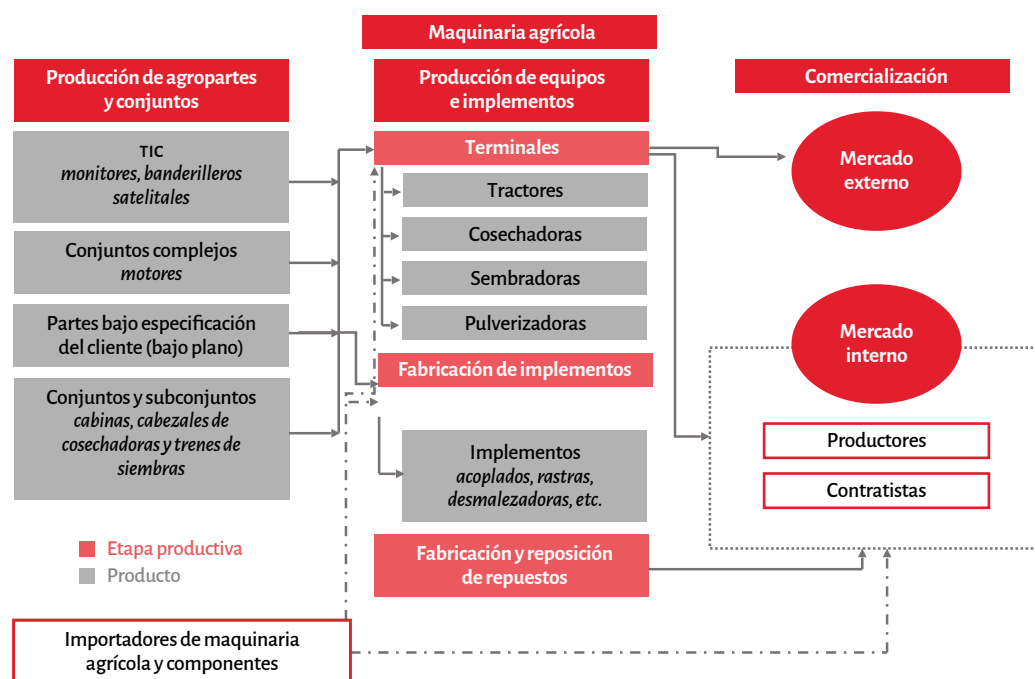
El proceso productivo de la fabricación de maquinaria agrícola, según la literatura especializada, está conformada por dos grandes etapas. En cada una intervienen diversos actores que llevan adelante tareas indispensables del proceso (figura 1). La primera etapa es el mecanizado de partes que surge del procesamiento y la transformación de insumos siderúrgicos –actividad intensiva en el uso de máquinas-herramienta–, y la segunda consiste en el ensamble de aquellas partes en combinación con otros componentes más complejos (eléctricos, electrónicos, de medición, motores, rodados, etc.), abastecidos por otras industrias (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, 2016).

En los primeros eslabones de la cadena intervienen conjuntos variados de proveedores que se encuentran interrelacionados con diferentes sectores productivos, no necesariamente exclusivos del sector. Es el caso de la industria siderúrgica, que proporciona las estructuras de la maquinaria a partir de la transformación de laminados, perfiles y diversas estructuras metálicas. Luego existen industrias que proveen insumos a la cadena de mayor peso en el valor agregado del producto final, como la autopartista, que aporta insumos de consumo estandarizado: motores, neumáticos, llantas, correas, bombas, válvulas, baterías. A su vez, dentro del grupo con mayor incidencia en el valor bruto de producción se hallan los productores de agropartes –exclusivos del sector–, que fabrican implementos específicos para ser incorporados a la estructura principal de la maquinaria (cabinas, cabezales de cosechadoras, trenes de siembra, etc.). En términos generales, una proporción mayoritaria de los insumos –cercana al 70%– son elaborados en el país, a excepción de los trenes de engranajes, cojinetes, sistemas de transmisión y las compras de otras máquinas importadas (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, 2016).

Aguas abajo en la cadena y con mayor aporte tecnológico que las etapas previas de producción, están los proveedores de equipamiento destinado a la agricultura de precisión (TIC, banderilleros satelitales, monitores, sensores, etc.). Por último, en la etapa de transformación se encuentran las terminales que realizan el proceso de integración de todas las etapas mencionadas anteriormente. El ensamble de esas partes y piezas mecánicas, junto con otros componentes no mecánicos y usualmente de complejidad mayor para la construcción final de la maquinaria –motores, transmisiones, dispositivos electrónicos, rodamientos, sistemas hidráulicos, etc.– supone, además, otros procesos ya conocidos, desde la preparación hasta el montaje final (corte, plegado, armado, soldadura, pintura, inyección de materiales, etcétera) (Lódola, 2008).

En el tramo final de la cadena –etapa de comercialización, logística y distribución– cobran relevancia actores como las redes de concesionarios y los talleres de reparación y reposición de piezas. Rapp (2007) asegura que esta es otra de las instancias clave, por lo que implican la llegada al cliente/a y su fidelización y por las particularidades de este mercado, lo que incluye a los servicios de posventa, de gran relevancia dada la operatoria propia del sector. De las entrevistas con empresas y especialistas, se desprende que el servicio de posventa es un diferencial que tienen las empresas de capitales nacionales respecto de sus pares multinacionales, por contar con una mayor cercanía con las y los productores o contratistas y porque la reposición de sus equipos es más económica. En esta misma línea, Bragachini (2014) destaca el papel que cumplen tanto de asesoramiento como de posventa ya que, debido a los costos de estos equipamientos, las posibilidades de corregir desvíos cuando se ha adquirido una máquina inadecuada son muy bajas. En este sentido, se debe distinguir la función que cumple la capacitación a las y los potenciales clientes para que la maquinaria se adapte a los diversos cultivos, suelos y climas que existen en el país.

Figura 1 Estructura de la cadena de maquinaria agrícola



Fuente: Subsecretaría de Programación Macroeconómica, ex Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, con base en Lavarello (2009).

La demanda doméstica de maquinaria agrícola se caracteriza, siguiendo a Anlló, Bisang y Salvatierra (2010), principalmente por la presencia de dos actores. Por un lado, las y los contratistas –no necesariamente son productores/as agropecuarios– que operan en un esquema en red y arriendan a terceros sus servicios con maquinaria de su propiedad. Este esquema permite contar con una mayor amortización de la maquinaria que si el equipamiento fuera adquirido para ser utilizado por cada uno de las y los productores. Por el otro, productores/as agropecuarios que invierten en su propia maquinaria. En las entrevistas tanto a especialistas como a empresas, se destacó el rol que tienen las y los contratistas y la vinculación existente entre las compañías y estos actores que son sus principales clientes. Este punto había sido planteado por Anlló, Bisang y Salvatierra (2010), al sostener que la mayor parte de la demanda se encuentra focalizada en los del primer tipo y por eso la red de proveedores cumple un papel central en la rápida adopción de las diversas tecnologías y técnicas disponibles.

Los productos finales que se comercializan se diferencian en cinco segmentos que se distinguen por su finalidad y complejidad tecnológica: tractores, cosechadoras, sembradoras, pulverizadoras e implementos agrícolas. Estos cinco bienes no son necesariamente homogéneos entre sí, sino que dependen de sus capacidades para adaptarse a distintos suelos, climas, potencias, etc. En este sentido, a partir de las entrevistas se confirmó lo que había planteado Erbes *et al.* (2019), al sostener que una de las particularidades de la fabricación de maquinaria agrícola dentro del segmento de bienes de capital es que conviven empresas que fabrican productos seriados y estandarizados –incluso con importantes grados de automatización como pasa en los autopropulsados–, y otras firmas con series de producción que son más cortas y con un grado de adaptación significativamente mayor a las condiciones de cada lugar. De esta manera, y siguiendo a Erbes *et al.* (2019), el sector de maquinaria agrícola cuenta con una marcada heterogeneidad entre los diversos bienes que se fabrican y entre las firmas fabricantes de los mismos productos, porque las empresas también llevan adelante estrategias de innovación para diferenciarse de los otros proveedores de maquinaria agrícola e im-

plementos. Este punto fue validado tanto en las entrevistas a las y los representantes de las empresas como a las y los expertos del sector público, privado y académico que trabajan permanentemente con empresas del sector.

En el caso de los tractores y las cosechadoras, la fabricación se realiza bajo un proceso seriado de montaje, con fuertes economías de escala derivadas de altos costos fijos. En la fabricación de sembradoras, las economías de escala son menos significativas y la producción se realiza en lotes de menor tamaño y muchas veces a pedido. Esto se debe al menor volumen de demanda por cada modelo (Lavarello, 2009).

En las entrevistas se corroboró lo planteado por Albornoz, Bisang y Anlló (2010), que en el rubro de cosechadoras y de tractores las empresas multinacionales son las de mayor relevancia, por la gran escala que requiere su producción, por sus especificidades tecnológicas y por la lógica de producción análoga al sector automotriz. Asimismo, en estos segmentos se suelen importar insumos clave, como los motores.

A continuación se desarrolla brevemente una caracterización inicial de cada segmento, tanto a partir de las entrevistas a las y los protagonistas del sector, como del artículo de Erbes *et al.* (2019):

Tractores. Son vehículos propulsados a motor que permiten la puesta en marcha de otro tipo de herramientas y equipos (arados, sembradoras, rastras, etc.). La diferencia principal dentro del segmento de los tractores reside en la potencia de sus motores. Mientras que los equipos más pequeños se utilizan para la horticultura y vitivinicultura, en las explotaciones agrícolas extensivas predominan los de mayor potencia y doble tracción. Este segmento presenta un alto grado de concentración y transnacionalización. El alto grado de modularización es un aspecto central en la obtención de economías de escala en la producción. La fabricación que existe en el país está destinada casi exclusivamente al mercado interno.

Cosechadoras. Son equipos autopropulsados, específicos para la recolección de granos. Según el tipo de grano o cultivo por cosechar, se aplican cabezales especialmente diseñados para tal finalidad. La diferenciación de los equipos se advierte a partir de su capacidad y eficiencia en la tarea, evaluados por el volumen de grano cosechado por hora y por hectárea. Este segmento también es liderado por empresas multinacionales.

Sembradoras. Estos equipos pueden ser de siembra directa o convencional, de grano fino (trigo) o grueso (soja y maíz). Pueden acoplarse sistemas de fertilización, simple y doble localizada. Con la difusión de la siembra directa, las labores destinadas a la roturación primaria vieron mermada su participación. Las adecuaciones particulares de los equipos —esencialmente de acuerdo con condiciones específicas de los suelos— permiten el acceso a fabricantes de maquinarias que poseen una menor escala de producción. Erbes *et al.* (2019) destaca que este mercado es sumamente competitivo, con diferenciación de producto, y con una mayor importancia al servicio de posventa. En este segmento hay una baja participación de máquinas importadas.

Pulverizadoras. Pueden ser máquinas de arrastre —por tractor— o autopropulsadas que, mediante la pulverización de agroquímicos, permiten el control de plagas de los cultivos. Estos equipos también hacen posible la incorporación de fertilizantes líquidos y sólidos. El mercado de pulverizadoras es menos competitivo que el de sembradoras; dos empresas nacionales concentran la mayor parte de la producción (cuadro 1) y hay una baja participación de máquinas importadas.

Implementos. En este segmento se incluye un conjunto heterogéneo de equipos de arrastre y componentes adicionales a los equipos autopropulsados. Por ejemplo, cabezales específicos para cosecha; maquinarias

para corte, almacenaje y confección de forraje; implementos de arrastre para la labranza; equipos de riego y otros de almacenaje y conserva de grano; e incluso equipamiento para el traslado de animales. Los implementos se caracterizan por un bajo grado de complejidad tecnológica —a excepción de los cabezales de las cosechadoras—. En este caso hay participación de bienes importados provenientes principalmente de Brasil y los Estados Unidos.

Las empresas más importantes del sector a nivel mundial se diferencian en tamaño, origen del capital, grado de internacionalización, diversidad y gama de productos, y adoptan diferentes estrategias de producción y comercialización. A partir de estas características, es posible distinguir tres categorías de empresas dentro de la estructura mundial de la industria de maquinaria agrícola.

En la primera categoría se encuentran las empresas John Deere y Case New Holland, multinacionales diversificadas con una amplia gama de producción. La primera es líder mundial en la fabricación y comercialización de maquinaria agrícola, y es también una de las principales productoras de maquinaria para la construcción y las explotaciones forestales. Posee más de 60 plantas en los cinco continentes —mayormente alojadas en Francia y Alemania— junto con una amplia red de concesionarios que distribuyen sus productos y prestan servicios financieros para adquirirlos. En el caso de la Argentina, John Deere tiene una planta en Granadero Baigorria (Santa Fe) donde produce dos series de motores, tractores y cosechadoras. Por su parte, Case New Holland —constituída en los Países Bajos— es la segunda fabricante global de maquinaria agrícola. A diferencia de John Deere, no posee líneas de productos tan diversificadas, sino que amplía su oferta de equipos y marcas a partir de la fusión y las alianzas con otras empresas. John Deere concentra su facturación en el área de influencia de la casa matriz, mientras que Case New Holland tiene la mayor cantidad de plantas productivas en el extranjero —Norteamérica, Europa, Asia-Pacífico y Sudamérica; en la Argentina, posee una planta en Ferreyra (Córdoba).

La segunda categoría la componen empresas que, habiendo partido de una plataforma regional, lograron ser competitivas a nivel global, como Kubota y Yanmar. En tercer lugar, se presentan firmas globales pero especializadas en alguna rama de producto particular: Agco Allis —de capitales estadounidenses, tiene dos plantas en Haedo, Rosario y Santa Fe y produce principalmente tractores—, CLAAS —de capitales alemanes, posee tres plantas en la Argentina en Sunchales, Oncativo y Ameghino (provincia de Santa Fe)—, Caterpillar, Iseki, Bucher Industries y Kverneland.

En el plano de las empresas de capitales nacionales, existen algunas que se destacan del resto: Metalfor —creadora de la primera cosechadora axial argentina en 2006, posee su planta en Marcos Juárez (Córdoba)—; Vassalli Fabril —con tres plantas en Firmat, Santa Fe, ha sido una histórica fabricante de cosechadoras y recientemente ha retomado la producción—; Agrometal —con su planta en Monte Maíz (Córdoba), es la única firma nacional del segmento de maquinaria agrícola que cotiza en el mercado de valores— y Pauny —con dos plantas de producción, una en Las Varillas (Córdoba) y otra en Santiago de Estero (cuadro 1)—. Albornoz, Bisang y Anlló (2010) plantean que los temas centrales de debate en el entramado productivo están asociados a los niveles de integración que tienen dentro de las empresas y al *mix* de producción con el que cuentan. Históricamente las empresas del sector tendieron a estar integradas verticalmente y absorbieron partes del proceso productivo, algo que no suele suceder en otros segmentos. Sin embargo, a partir de las entrevistas se ha registrado que en múltiples casos las grandes empresas tercerizan una parte significativa del proceso productivo para promover la creciente especialización de sus proveedores, para que puedan ganar mayor escala y satisfacer así las exigentes demandas del mercado.

En el caso de las industrias de tractores y cosechadoras en la Argentina, la mayoría de las firmas que dominan el mercado son filiales de Agco Allis, John Deere y Case New Holland, que concentran alrededor del 80% de las ventas de esta industria. El alto grado de modularización es un factor clave en los determinantes de competitividad sectorial, al permitir la obtención de economías de escala. El mercado de sembradoras es el más atomizado; casi todas las empresas que configuran este sector son pequeñas y medianas empresas (pymes) nacionales. El subsector de pulverizadoras es otro segmento en el que nuestro país presenta cierto grado de especialización. Entre las industrias fabricantes de pulverizadoras y otros implementos también predominan las pymes de capitales nacionales. La difusión de la siembra directa demanda un uso más intensivo de fertilizantes y biocidas (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, 2019).

En el cuadro 1 se resumen los principales productos, sus fabricantes, la participación de las compañías locales en ese mercado y la evolución de la producción durante la última década.

Cuadro 1 Productos, principales fabricantes y participación de empresas locales

Producto	Principales fabricantes	Participación de empresas locales	Desempeño 2009-2019
Sembradoras	Nacional: Cruccianelli y Agrometal Internacional: Pla (John Deere)	Elevada	Estancamiento
Cosechadoras	Nacional: Vassalli y Metalfor (recuadro 1) Internacional: John Deere, Agco, Case New Holland y Class	Bajo	Contracción
Tractores	Nacional: Pauny Internacional: Agco, Case New Holland y John Deere	Bajo	Estancamiento
Pulverizadoras autopropulsadas	Nacional: Metalfor, Apache y Caimán Internacional: Pla (John Deere)	Elevada	Estancamiento
Cabezales para cosechadoras (maiceros y girasoleros)	Nacional: Mainero, Allochis y Maquinarias Ombú	Elevada	Heterogéneo: maiceros en aumento y girasoleros en contracción
Tolvas autodescargables	Nacional: Cestari y Akron	Elevada	Contracción
Silos y secadoras	Nacional: Ingeniería Mega, Cedar, Isilar y Sansoni	Elevada	Estancamiento

Fuente: Elaboración propia con base en CAFMA (2020), estadísticas oficiales y entrevistas.

Recuadro 1 La cosechadora totalmente argentina fabricada por Metalfor

La empresa Metalfor S.A. anunció en 2021 la fabricación y comercialización de su cosechadora Metalfor 2635. Junto a Vassalli, son las dos empresas nacionales que fabrican este tipo de equipamiento. El nivel tecnológico y de *performance* de la Metalfor 2635 está a la altura de los estándares internacionales, según se desprende de la entrevista tanto a la empresa como a especialistas del sector. El desempeño en el negocio de cosecha demostró mejorar la rentabilidad de las y los usuarios, basado principalmente en la reducción de costos de mantenimiento gracias al desarrollo de piezas de alta duración y la disponibilidad de repuestos a precios accesibles para conservar la vida útil de la cosechadora. El equipo, además de tener un sistema de agricultura de precisión con monitoreo de rendimiento y piloto automático, también cuenta con un diseño pensado para el operario. El sistema cuenta, por ejemplo, con un *kit* de visión de 360° con cámaras que permiten ver el entorno completo de la cosechadora y cámaras en lugares sensibles de la máquina para monitorear y elevar las prestaciones y la seguridad. Para llevar adelante el proyecto, la empresa contrató a José Luis Denari, diseñador de transporte.

Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento del caso.

El sector de maquinaria agrícola en la Argentina, además de contar con una amplia gama de productos terminados, tiene una extensa red de bienes que son fabricados para abastecer a estas empresas. A partir de la información aportada por la Cámara Argentina Fabricantes de Maquinaria Agrícola (CAFMA) y por las firmas del sector, en el cuadro 2 se presentan tanto los principales productos que se fabrican para el sector como algunas de las principales empresas fabricantes. Las empresas agropartistas suelen ser pequeñas o firmas medianas de tramo 1, mientras que las fabricantes de maquinaria agrícola suelen tener mayores niveles de facturación. Incluso en contextos de activa producción, estas últimas pueden superar los toques de mipymes y ser consideradas grandes empresas según los parámetros de facturación establecidos por la Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y los Emprendedores del Ministerio de Desarrollo Productivo. Al igual que las firmas de maquinaria agrícola, las agropartistas también se concentran mayoritariamente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, donde se encuentran sus principales clientes.

Cuadro 2 Agropartes nacionales y empresas fabricantes

Producto	Principales fabricantes
Balanzas y básculas	Balanzas Hook, Básculas Donher S.R.L., Básculas Magnino S.R.L., Nieves Argentina, Básculas Magris, Pampero Implementos Agrícolas
Discos	Catalano, Ingersoll Argentina, Oncativo S.A.
Cilindros y equipos hidráulicos	Cañiflex, Básculas Magnino S.R.L., Básculas Donher S.R.L., Verion
Cajas reductoras	Garro Fabril, Verion
Equipos para agricultura de precisión	Abelardo Cuffia-Agrotax, Acoplados Conese, Allochis División Cabezales, Balanzas Hook, DeLaval S.A., Altina, Dolbi, El Pato Máquinas Agrícolas S.R.L., Doble TT Global, Metafor, Plantium, Nieves Argentina, Vassalli Fabril, Siembra Neumática S.R.L., Verion, Yomel, Villa

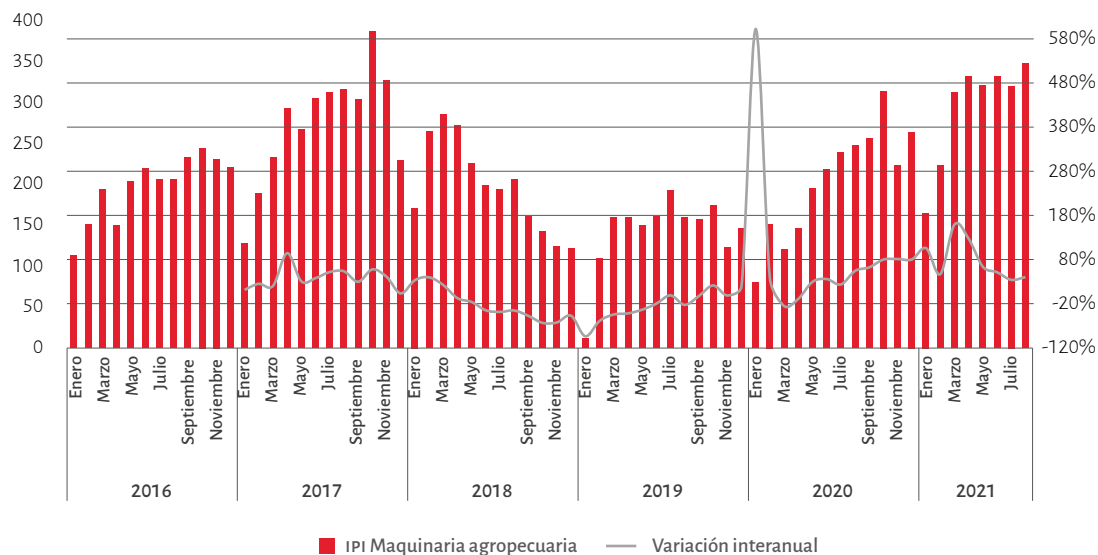
Fuente: Elaboración propia con base en CAFMA.

El gráfico 1 resume la evolución de la producción del sector de maquinaria agrícola, a partir del procesamiento de las estadísticas oficiales. Según se desprende de las entrevistas, la evolución de la actividad está determinada por una multiplicidad de factores, como los precios internacionales de los *commodities*, las perspectivas de cosecha vs. el volumen cosechado, los instrumentos de financiamiento disponibles para la adquisición de estos equipos, así como los aspectos macroeconómicos y la estabilidad cambiaria. En este esquema, el sector experimentó desde mediados de 2017 una contracción en el nivel de producción que se mantuvo hasta mediados de 2020. Desde entonces, el sector de maquinaria agrícola comenzó un paulatino proceso de crecimiento en la actividad, que impulsó tanto el sector metalúrgico en particular como la industria manufacturera en general. Este aumento en el nivel de actividad se experimentó en toda la gama de productos que conforman la maquinaria agrícola y se explica por una combinación de elementos: buena cosecha, elevados precios internacionales en términos históricos, atractivas tasas de interés y dificultades para dolarizar cartera que impulsan la adquisición de bienes durables. Esta situación permitió que el sector de maquinaria agrícola fuera el único segmento del entramado metalúrgico que en 2021 tuviera un mayor nivel de producción que en 2015, según se desprende de las estadísticas de la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA).

El sector de maquinaria agrícola en la Argentina está concentrado principalmente en la producción de equipamiento para la producción granaria. Sin embargo, existen empresas que se dedican a la fabricación de equipamiento para otros segmentos agroindustriales, como el zapallo, el algodón, el maní, la yerba, el tabaco, las aceitunas, las uvas, entre otros. En la edición 2021 del Premio del Centro Internacional de Innovación en Tecnología Agropecuaria (CITA), en la categoría de equipos y accesorios de siembra ganó el proyecto de la firma Domingo Abbadie de la provincia de Córdoba. Esta empresa fabricó la primera sembradora de labran-

za cero para zapallo que permite que se dupliquen los rindes, se reduzcan las tareas de laboreo y se ahorre tanto combustible como agua de riego.

Gráfico 1 Índice de producción industrial manufacturero: maquinaria agropecuaria
Serie original, base 2004 = 100, en números índice



Fuente: Elaboración propia con base en INDEC.

A partir de las entrevistas a empresas y especialistas, se reconoce que en la Argentina no hay un amplio desarrollo de maquinaria para frutas, verduras y otros cultivos, mientras que en otros países más desarrollados existe equipamiento de última tecnología para trabajar estos segmentos. Para 2023 se planea organizar una feria para promover la maquinaria vinculada a este segmento. El principal desafío para avanzar en la fabricación de este tipo de equipamiento está asociada a la baja escala y a sus costos. Una de las empresas entrevistadas que también fabrica maquinaria para otros cultivos no granarios reconoce que en este nicho existe una oportunidad, ya que al ser segmentos más pequeños las empresas multinacionales no suelen participar activamente. No obstante, reconoció que si se cuenta con un producto sumamente tecnificado para una producción y un mercado pequeños, el equipamiento le resulta sumamente costoso al productor, por lo que termina utilizando la misma maquinaria. En el país existen excepciones de empresas que trabajan activamente esta agenda y cuentan con una marcada inserción internacional (recuadro 2).

Recuadro 2 Maquinaria agrícola y el caso de MaqTec

Uno de los casos más exitosos de la maquinaria para alimentación es el de la empresa santafesina MaqTec, cuya éxito se debe principalmente gracias a una cosechadora de aceitunas que es utilizada hoy en provincias como Catamarca, La Rioja y Salta, y también en mercados de otros países como Australia y España. La empresa viene llevando una activa agenda vinculada con la incorporación de tecnología. En 2003 comenzó a trabajar con PLC (control lógico programable) para controlar la integralidad del producto en forma electrónica mediante sensores para el manejo de las unidades (copiadores de tronco) y la altura de los equipos (copiadores de piso), y han ido desarrollando niveles de soporte y control para optimizar el trabajo de cosecha. Los avances permitieron que las rutinas estén automatizadas, y mediante *encoders* y *acelerómetros* controlan la eficiencia del cabezal de cosecha.

La agenda a corto plazo de la empresa pasa por poder identificar cuántos frutos había antes y cuántos después del paso de la cosechadora para trabajar en el derribo, y que al mismo tiempo el algoritmo pueda ir aprendiendo para mejorar las tareas. Pese a avances importantes en cítricos—en particular, limones—, el caso de las aceitunas, por ejemplo, la yuxtaposición de color del fruto y de la copa del árbol exige mayor nivel de desarrollo.

A diferencia de la maquinaria agrícola granaria, MaqTec trabaja con una escala significativamente más pequeña. Sin embargo, la empresa es un exitoso caso de una compañía que aplica activamente la agenda de la innovación articulando con otras entidades. Por ejemplo, ha desarrollado proyectos con la Universidad de Córdoba (España) sobre temas de innovación (Programa Innolivar) para tener la trazabilidad integral de aceituna de mesa y su clasificación en campo mediante imágenes procesadas por algoritmos de inteligencia artificial.

Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento del caso.

El sector en clave regional

La contribución del sector de maquinaria agrícola no está vinculada únicamente a la agregación de valor, creación de tecnología y generación de empleo, sino también al carácter regional que aporta. Hybel (2011) destaca que el sector de maquinaria agrícola es intensivo en empleo y tiene un multiplicador de 1,954, con lo cual a partir de cada empleo generado de manera directa casi se genera otro en la economía. Bragachini y Ustarroz (2017) afirman que el 85% de la fabricación de maquinaria agrícola se da en pequeñas ciudades del interior del país (recuadro 3).

Recuadro 3 Los casos de Agrometal e Ingeniería Mega

La firma Agrometal, fundada en 1971 en Monte Maíz (provincia de Córdoba), es una de las principales fabricantes de sembradoras de la Argentina. Esta localidad cordobesa cuenta—según el último censo de 2022—con menos de 9 mil habitantes y es el municipio con mayor cantidad de trabajadores/as metalúrgicos en relación con la población total de la provincia. La empresa cuenta con 425 trabajadores/as y el personal proviene tanto de Monte Maíz como de localidades vecinas.

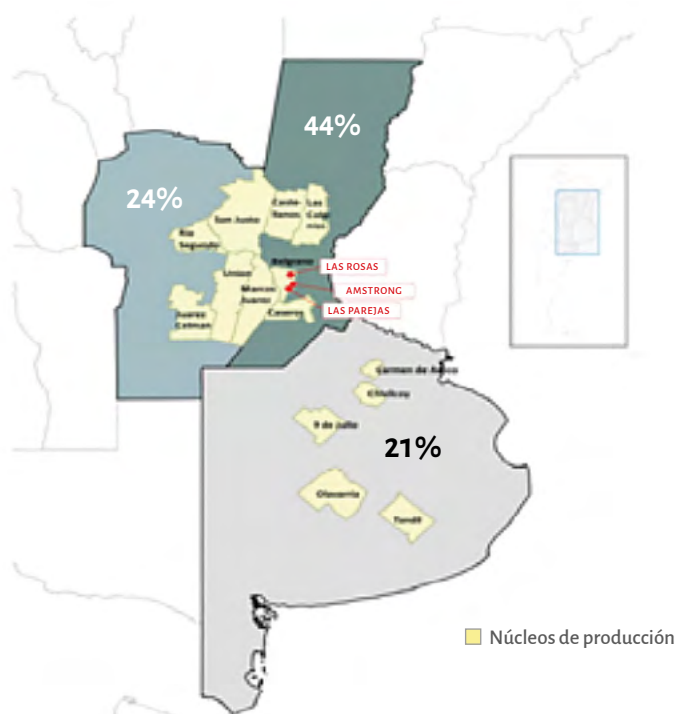
La empresa fabricante de silos y secadoras de granos Ingeniería Mega S.A., que realizó su primera producción en el año 2000, está localizada en la ciudad bonaerense de Lincoln. La firma emplea directamente a 130 trabajadores/as metalúrgicos en una ciudad que tiene 28 mil habitantes. La localización de la empresa en esta ciudad se explica porque los mismos socios son originarios de allí.

Fuente: Elaboración propia con base en casos relevados en las historias de vida de empresas metalúrgicas de ADIMRA (2021), disponible en <https://www.adimra.org.ar/historias-de-vida>.

Respecto de la configuración territorial del sector, el 90% de los núcleos productivos de fabricantes de maquinaria agrícola se encuentran concentrados en tres provincias: Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires, que constituyen las zonas más productivas del país en cultivos de soja, trigo y maíz, entre otros cereales y oleaginosas. Allí, la fabricación de maquinaria agrícola también está presente y es necesaria para una multiplicidad de actividades de economías regionales, como la producción vitivinícola, olivícola o algodónera, donde se utilizan dispositivos y maquinaria para la siembra, la cosecha, etc. En este sentido, Bragachini y Ustarroz (2017) aclaran que también existen enclaves productivos en pequeñas ciudades y pueblos de La Rioja, Entre Ríos, Tucumán y San Luis.

Santa Fe es la provincia con mayor cantidad de fabricantes (40%), y allí se encuentra el denominado “triángulo productivo de la maquinaria agrícola”, conformado por las localidades de Las Parejas, Las Rosas y Armstrong, ubicadas en el departamento de Belgrano (mapa 1). En Córdoba los departamentos que más fábricas reúnen son: Marcos Juárez, San Justo, Unión, Río Segundo y Juárez Celman. Mientras que en Buenos Aires las principales plantas se localizan en Chivilcoy, Carmen de Areco, 9 de Julio, Tandil y Olavarría. De esta manera, y siguiendo a Albornoz, Bisang y Anlló (2010), la industria de maquinaria agrícola cuenta con una destacada arista en materia de desarrollo regional, ya que se encuentra instalada principalmente en el interior del país, y eso se traduce en que el crecimiento del sector fomenta el desarrollo regional. Asimismo, a partir de las entrevistas tanto a las empresas como a las y los expertos, se confirmó que la aglomeración de empresas en determinadas ciudades o zonas del país promueve la creación de sinergias, porque se crean una red de proveedores y mano de obra calificada que impulsan el desarrollo regional en su conjunto.²

Mapa 1 Localización de la producción de maquinaria agrícola



Datos fundamentales para entender el aporte del sector

La contribución del sector de maquinaria agrícola puede analizarse mediante el estudio de la evolución de diversas variables clave, como la cantidad de empresas, la evolución del empleo y el comercio exterior.

A partir de la información suministrada por el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, CAFMA (2020) y la Fundación Mediterránea-IERAL (2019 y 2021), se estima que el sector está constituido por unas 1.200 empresas en total. Sin embargo, según datos extraídos del observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial (OEDE), el sector cuenta con 523 empresas formales registradas en 2019.³ Santa Fe se destaca como

² Este punto había sido planteado hace una década por Hybel (2011).

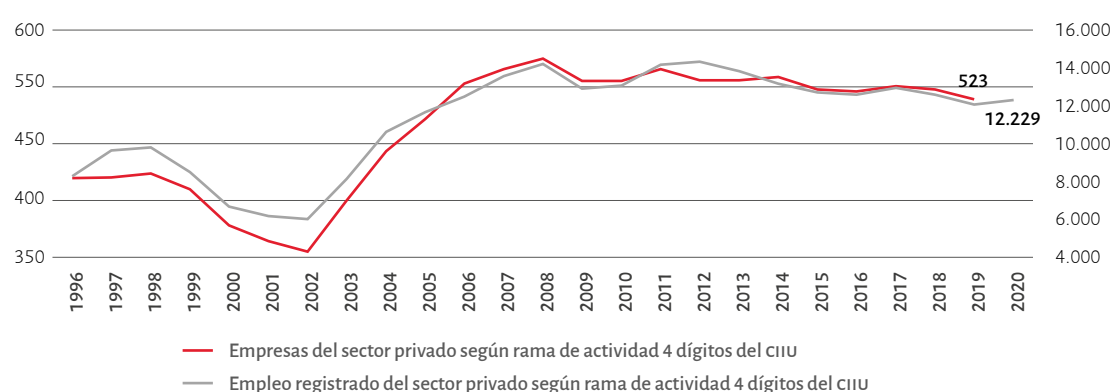
³ Último dato disponible al momento del estudio.

la provincia con mayor cantidad de empresas –39% del total en 2019–, le siguen Córdoba –22% del total en el mismo año– y Buenos Aires –21% del total también en 2019, sin contar la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA).

Como puede observarse en el gráfico 2, del mismo modo que entre 1996 y 2019 aumentó la cantidad de empresas fabricantes de maquinaria agrícola, también se incrementó la cantidad de puestos de trabajo registrados generados por este segmento. El sector pasó de emplear a 8.302 trabajadores/as registrados en 1996 a 12.229 en 2020, lo que representa un aumento del 47% (+3.927 empleos). En la última década (2010-2020) el sector promedió un nivel de empleo de 12.938 trabajadores/as –5,8% más que en la actualidad–. La evolución del empleo mantuvo ciclos similares a los observados en el análisis de empresas.⁴

- > El ciclo que va de 1996 a 1998 registró un crecimiento del empleo de mayor magnitud que la creación de empresas. En dos años el empleo del sector creció un 17,8% y pasó de 8.302 empleos en 1996 a 9.781 en 1998.
- > Un ciclo de caída abrupta del empleo entre 1998 y 2002, con caídas interanuales de hasta -20,1% (2002). En este período se perdieron 3.558 puestos de trabajo.
- > Un ciclo de crecimiento sostenido, desde 2002 hasta 2008, en el cual el empleo creció en promedio un 15% interanual cada año. De 2005 a 2008 el crecimiento fue moderándose.
- > Durante el último ciclo (2008-2020) surge una tendencia hacia la baja del empleo, pero con comportamientos oscilantes. El año 2009 fue el de peor *performance* del ciclo, en el que el empleo del sector cayó un 9%. En 2011 se produce un repunte del 8,2%. A diferencia de las empresas del sector, que alcanzaron su máximo en 2008, el empleo en el sector de maquinaria agrícola alcanzó su cúspide en 2012, con 14.127 puestos de trabajo. Desde allí comienza un progresivo descenso hasta 2019, cuando se quiebra la tendencia en 2020 y se llega a 12.229 empleos.

Gráfico 2 Dinámica empresarial y evolución del empleo en el sector (1996-2020)



Nota: El último dato disponible sobre las empresas es de 2019.

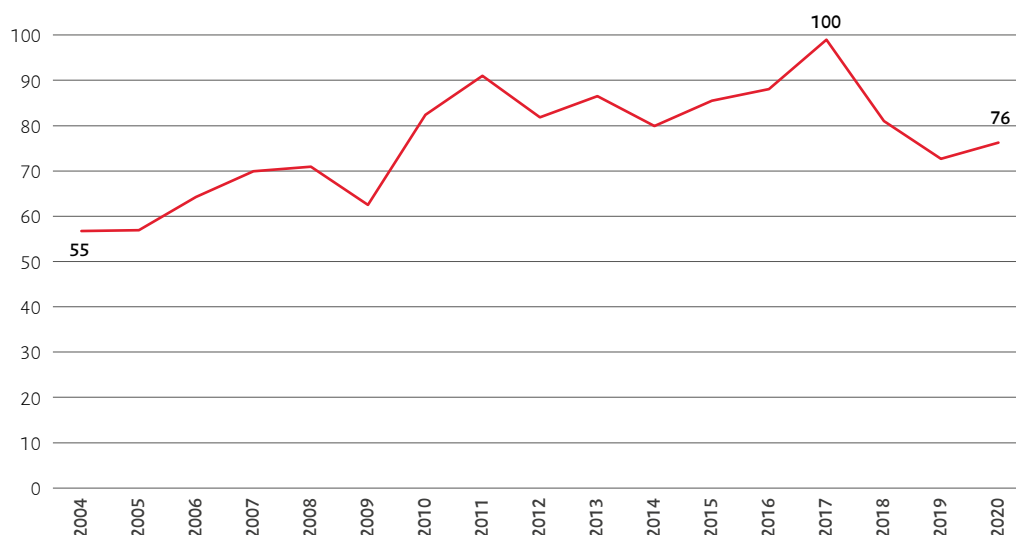
Fuente: Elaboración propia con base en OEDE.

⁴ Estas cifras de empleo surgen de las estadísticas publicadas por el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social a partir del código de actividades industriales 2921 de fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal. El Instituto de Estudios sobre la Realidad Argentina y Latinoamericana (IERAL) de la Fundación Mediterránea (2021) estima que junto a las empresas agropartistas el empleo en el sector es de 23.740 puestos de trabajo.

En lo que respecta a la distribución geográfica de los empleos del sector, se observa que de manera similar a lo que ocurre con la ubicación de las empresas, la provincia de Santa Fe es la que tiene mayor relevancia al agrupar al 40% del empleo del sector. Por su parte Córdoba, si bien alberga al 22% o el 25% de las empresas –según el año analizado–, agrupa entre el 35% y el 38% del empleo. El caso opuesto se ve en el conglomerado de Buenos Aires y CABA, donde se ubica el 23% de las empresas en promedio, pero se emplea al 17% del total de las y los trabajadores del sector.

En relación con la cantidad promedio de trabajadores/as por empresa, con el paso del tiempo ha ido creciendo la cantidad de empleados/as por unidad productiva: mientras que en 1996 el promedio de trabajadores/as por empresa era de 19 –en la crisis 2001-2002 bajó a 14 y 15 en promedio–, en 2020 el promedio de trabajadores/as por empresa subió a 28 –2012 fue el año con mayor promedio de trabajadores/as por unidad productiva, con 33 empleados/as por empresa–. El gráfico 3 muestra cómo evolucionó la productividad de las y los trabajadores desde comienzos del milenio y refleja de qué manera, a pesar de haber empleado a más personal, el sector no resintió su productividad, en parte gracias a la creciente incorporación de tecnología.

Gráfico 3 Evolución de la productividad en fabricación de maquinaria agropecuaria
Índice 2017 = 100



Nota: El índice contempla la facturación por trabajador/a registrado en pesos constantes de 2004.
Fuente: Elaboración propia con base en INDEC.

Las remuneraciones del sector en términos reales han ido fluctuando a lo largo de las últimas décadas. A nivel nacional, desde 1996 hasta fines de 2003 resultaron en promedio un 20% inferior a las remuneraciones promedio del sector privado. Durante el período 2004-2008 los salarios del sector superaron en 3% al promedio del sector privado. En 2009 los salarios del sector sufrieron una caída y volvieron a ubicarse debajo del promedio (-6%). Entre 2010 y 2014, las remuneraciones del sector promediaron un 2% por encima de las remuneraciones del sector privado. Y a partir de 2014 hasta 2021 las remuneraciones del sector cayeron en términos relativos, y fueron un 10% menores que las remuneraciones del sector privado. Asimismo, la evolución de las remuneraciones para las y los trabajadores ha sido heterogénea en las diversas zonas del país. Al hacer foco en Santa Fe, Córdoba y el conglomerado de Buenos Aires y CABA –que juntas emplean al 90% de las y los trabajadores del sector–, se observa que la provincia de Santa Fe ha tenido remuneraciones promedio más bajas que el promedio nacional (-5%). Por otro lado, las remuneraciones del sector en la provincia de Córdoba han sido en promedio 10% superiores al promedio nacional, con períodos de mayor diferencia

entre 2009 y 2014. El caso del conglomerado Buenos Aires-CABA es heterogéneo hacia adentro del conjunto. Mientras que para todo el período analizado en CABA los salarios del sector resultaron 17% superiores al promedio nacional, en CBA fueron 6% inferiores a dicho promedio. Las remuneraciones del resto de Buenos Aires—fuera del Área Metropolitana de Buenos Aires—superaron por 1% al promedio de remuneraciones del sector a nivel nacional.

El sector como creador de tecnología

El sector de maquinaria agrícola es uno de aquellos segmentos que refleja la vinculación entre el sector agropecuario y la industria. En las entrevistas a los socios o gerentes de las empresas se visualizó la identificación que existe en el entramado de maquinaria agrícola con el sector agropecuario. Asimismo, se confirmó que la trayectoria de maquinaria agrícola tanto a nivel nacional como global ha apuntado a responder la demanda de requerir mayor capacidad de trabajo para la agricultura extensiva. Este punto, que también había sido planteado por Erbes *et al.* (2019), implica que los avances se asocian, por ejemplo, a que las sembradoras puedan aumentar la velocidad de siembra, las pulverizadoras puedan tener nuevos diseños y adaptarse a las distintas aplicaciones que surjan, o que los motores puedan no solo cumplir con estándares más amigables con el medio ambiente sino también reducir el consumo de energía.

De esta manera, la incorporación de tecnología en el sector no solo se da de manera directa a partir de los esfuerzos de las y los productores, sino también a través de los esfuerzos de investigación y desarrollo (I+D) que realizan las fabricantes de maquinaria e insumos utilizados para el sector. Siguiendo esa línea, Bernat (2020) asegura que en la Argentina cada dólar exportado de cultivos agrícolas—entre los que predomina la soja—tiene un contenido innovativo de origen local sensiblemente superior al que ostenta cada dólar exportado por las terminales automotrices.

En este contexto, los esfuerzos de innovación en el sector representan el 1,9% del valor bruto de producción. Según Bernat (2020), quien procesó las estadísticas de la Encuesta Nacional de Dinámica del Empleo y la Innovación, el sector de maquinaria agrícola entra en la categoría que él calificó como de *medium-low-tech*, mientras que, por ejemplo, en la de *medium-high-tech* se ubican sectores como equipamiento médico o aparatos de uso doméstico, y en la categoría de *low-tech*, madera, tabaco, entre otros. Esta categorización de Bernat (2020) no es unánime. Por un lado, el autor reconoce que el segmento de maquinaria agrícola es el más avanzado dentro de la categoría de *medium-low-tech*; por el otro, que en la clasificación de la OCDE (Galindo-Rueda y Verger, 2016) este sector está catalogado como de *medium-high-tech*.

A partir de las entrevistas, se ha visualizado que en el sector existe una activa agenda vinculada con el desarrollo tecnológico, aunque con una marcada heterogeneidad en las empresas según el tamaño. Este diagnóstico se halla en línea con lo planteado en el estudio realizado por UIA-BID-CIPPEC (2019), en el cual, mediante un relevamiento cuantitativo a firmas de diversos segmentos industriales, se concluyó que el 1% de las empresas que están en la frontera en materia de industria 4.0 son fabricantes de maquinaria agrícola, el 10% que se encuentra en la transición entre la industria 2.0 y 3.0 son de maquinaria agrícola y el 13% que utiliza tecnologías más alejadas del mundo 4.0 son empresas de maquinaria agrícola.

En las entrevistas a las más de 25 empresas y especialistas, se reconoce que el sector de maquinaria agrícola no es el más avanzado en la agenda de la industria 4.0 en la Argentina, pero sí existe un amplio conocimien-

to de la temática, herramientas y ventajas que podría trasladarse a la industria.⁵ Asimismo, se confirmó que las empresas entienden y conocen las tecnologías asociadas a la agenda de I+D+i y que vienen llevando adelante proyectos asociados a la transformación digital. A partir del relevamiento se desprende que en algunos casos estos temas son abordados por la gerencia de producción, en otros por la gerencia de tecnología y en otros incluso hay áreas específicas que se dedican exclusivamente a trabajar esta agenda.

Erbes *et al.* (2019) avanzan en esta dirección y plantea que el principal aporte de la industria 4.0 al sector está relacionado con la interoperabilidad y portabilidad entre diversos dispositivos de maquinaria agrícola. Sin embargo, una de las limitaciones fue planteada por Gómez y Borrastero (2018): en lugar de señalar el rol que tiene el sector de maquinaria agrícola en términos de esfuerzos de I+D, destacan la importancia de la localización donde se realizan estas actividades. Según estas autoras, el sector de maquinaria agrícola es intensivo en I+D, pero un segmento importante de la inversión en I+D en estas ramas no se realiza en la Argentina, porque no es en el país donde se suelen definir los estándares (Gómez y Borrastero, 2018). La incorporación de tecnología y capacidades en los diversos segmentos de maquinaria agrícola no es homogénea, con lo cual las capacidades para marchar hacia la transformación digital dependen del tipo de segmento que se trate, así como del papel que cumplan las empresas nacionales en los diversos nichos de investigación. Erbes *et al.* (2019) coinciden con este argumento al plantear que, por ejemplo, en las firmas que fabrican tractores y cosechadoras, y que son filiales de multinacionales, los esfuerzos de I+D están centralizados en sus casas matrices.

De igual modo, a pesar del crecimiento que experimentó la producción del sector durante comienzos del nuevo milenio, las barreras para convertirse en proveedores de estas multinacionales se dan a partir de los acuerdos entre las empresas líderes proveedoras globales (Erbes *et al.*, 2019). De esta manera, las externalidades generadas hacia la cadena por la fabricación de cosechadoras o tractores no es la misma que en otros segmentos del sector. En la fabricación de sembradoras e implementos, por ejemplo, se ha confirmado en las entrevistas que la participación de empresas locales es significativa y también sus capacidades en diseño e ingeniería de productos. A pesar de estas salvedades, y como plantean Sturbin, Abuhamad y Braga (2021), el sector de maquinaria agrícola mantuvo históricamente su voluntad innovadora y actualmente cuenta con firmas que son pioneras en materia tecnológica que conviven con nuevos actores vinculados al mundo del software y desarrollan lo que hoy se conoce como Agtech.

BREVE SÍNTESIS EVOLUTIVA DEL SECTOR

La fabricación de maquinaria agrícola a nivel global es una actividad que factura anualmente más de 20 mil millones de dólares. Si bien hay más de 50 países que cuentan con capacidad tecnológica suficiente para la fabricación de estos equipos, solo 15 detentan el 60% del mercado internacional. Los principales fabricantes a nivel mundial en el transcurso de las últimas dos décadas han sido Alemania, los Estados Unidos, Bélgica e Italia; China se ha sumado en el transcurso de los últimos años y se ha convertido en el tercer mayor exportador. El valor agregado que generan estas maquinarias explica por qué la especialización en la fabricación de este tipo de productos no se dio en países que tengan *a priori* ventajas comparativas en el sector agropecuario (Hybel, 2006).

⁵ Para más detalles véase el capítulo 4 de este libro.

La lógica de producción en el sector de maquinaria agrícola opera del mismo modo a nivel global, regional y local, y en muchos aspectos funciona de manera similar a la industria automotriz. Hybel (2006) explica que este modo de operar es producto de las estrategias llevadas adelante por las empresas para aprovechar las economías de escala, abastecer los diversos mercados y continuar dominando las tecnologías de procesos y productos, así como por la existencia de proveedores globales que se instalan en diversas partes del mundo. Esta situación representa múltiples desafíos y oportunidades para los países en vías de desarrollo que cuentan con activos en términos de recursos naturales y buscan generar mayores externalidades positivas para el resto de la economía al intentar impulsar encadenamientos hacia atrás de la cadena. En este sentido, la Argentina, pese a tener una vasta tradición agropecuaria y ser un actor importante en la fabricación de maquinaria agrícola a nivel regional, su peso relativo en términos globales es marginal. Esta situación no ha experimentado grandes variaciones a lo largo del tiempo.

Bil *et al.* (2019) destacan el incipiente desarrollo que tuvo el sector de maquinaria agrícola y herramientas en la Argentina durante las últimas décadas del siglo XIX –y que se profundizó durante principios del siglo XX–, cuyo objetivo fue satisfacer las demandas de las y los productores cerealeros ubicados principalmente en las provincias de Córdoba y Santa Fe. Hybel (2006) sostiene que en un comienzo las estructuras de estos establecimientos eran artesanales y funcionaban con una lógica familiar. El desarrollo estaba vinculado principalmente a arreglar la maquinaria importada, y, en el marco del período de entreguerras y de las dificultades para abastecerse del exterior, el desarrollo estuvo orientado a imitar la maquinaria proveniente de otros países; incluso en 1929 se logró fabricar en la provincia de Santa Fe la primera cosechadora autopropulsada de todo el mundo (Hybel, 2006; Bil *et al.*, 2019).

Bragachini (2006) agrega que desde 1920 la industria de maquinaria agrícola construye una rica historia con reconocimientos a nivel global y que se mantuvo constantemente activa a partir del desarrollo de las comunicaciones, los viajes exploratorios a otros mercados y el intercambio tecnológico de partes y componentes. En la década de 1950 el sector se vio impulsado mediante las políticas de sustitución de importaciones. El *set* de herramientas que se empleaba iba desde la protección a la producción local de la competencia importadora hasta la creación de empresas estatales para que se asociaran con actores privados y promovieran la fabricación de bienes que hasta el momento no se realizaban en las escalas y especificidades necesarias.⁶ Estas iniciativas fomentaron además el desarrollo de empresas locales y la instalación en la Argentina de multinacionales para aprovechar la demanda existente.

Posteriormente, las políticas de reducción arancelaria y eliminación de incentivos fiscales y crediticios que se instalaron desde 1976 se tradujeron en una contracción del sector y un incremento de las importaciones (Hybel, 2006). En los años ochenta, en el marco de las crisis macroeconómicas y los bajos precios de los insumos agropecuarios, el desempeño del sector no fue bueno. En la década de 1990, a pesar de la apertura comercial que fue profundizándose, la mejora en los precios internacionales y la estabilidad cambiaria generaron que la producción del sector se incrementara durante este período. Asimismo, la conformación del Mercosur modificó la estrategia de abastecimiento regional para los países miembros. Esto se tradujo en que las multinacionales organizaran su producción contemplando este nuevo mercado ampliado que tenía como grandes centros a Brasil y la Argentina (Bil *et al.*, 2019).

⁶ Hybel (2006) destaca el convenio firmado entre Industrias Aeronáuticas y Mecánicas del Estado y la empresa FIAT para comenzar a fabricar tractores en 1952.

Sin embargo, la *performance* no fue homogénea para todo el sector. A partir de las entrevistas a las empresas, el análisis de las estadísticas oficiales y la revisión de la literatura especializada (Albornoz, Bisang y Anlló, 2010; Bil *et al.*, 2019), se confirmó que el desempeño fue muy heterogéneo según el tipo de producto. La penetración local de cosechadoras y tractores se redujo significativamente, mientras que las fabricantes de sembradoras y pulverizadoras tuvieron un mejor desempeño relativo. No obstante, a partir de la depreciación del real y la contracción de la economía que comenzó a fines de la década de 1990 y se mantuvo hasta comienzos del nuevo milenio, la producción descendió acentuadamente y también lo hizo la participación de maquinaria local en el total, a pesar de la contracción del mercado (Hybel, 2006). Bil *et al.* (2019) agregan que a inicios del milenio el número de empresas nacionales fabricantes tanto de cosechadoras como de tractores sufrió una importante disminución.⁷ La evidencia ratifica el argumento: según estadísticas del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, desde 1998 hasta 2002 la cantidad de firmas de fabricación de maquinaria agrícola se redujo un 19%, al pasar de 443 empresas a 359.

Después de la crisis de esos años, el sector de maquinaria agrícola, al igual que todo el entramado industrial, retomó la senda de crecimiento gracias a la mejora de los términos de intercambio y la mayor competitividad de los bienes fabricados localmente, a partir de la depreciación que había experimentado el tipo de cambio real.

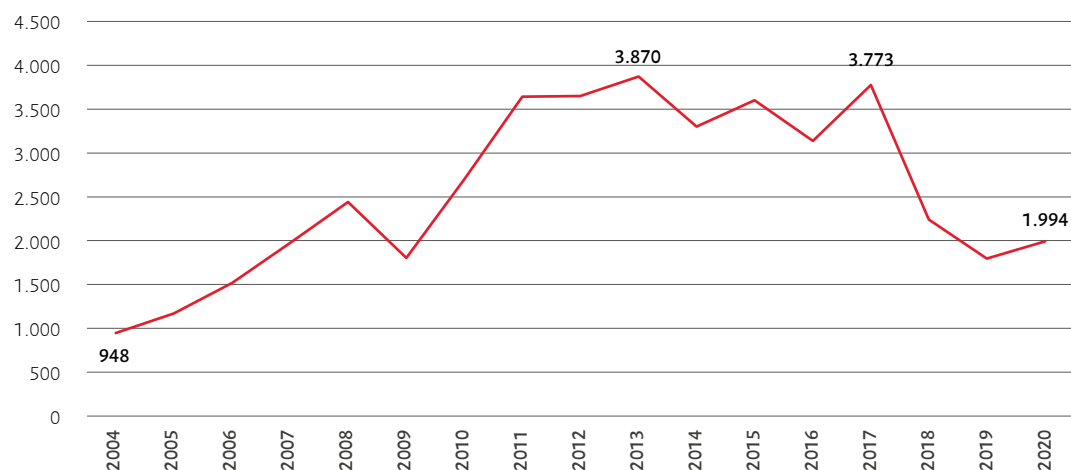
Según Kosacoff, Coatz y Grasso (2015), este período no puede analizarse de manera homogénea, ya que en el transcurso de los gobiernos que mantuvieron el mismo signo político, se sucedieron coyunturas muy diversas. Por un lado, el período 2002-2008 fue el de mayor virtuosismo en cuanto al aumento en la cantidad de empresas: el sector pasó de tener 359 empresas en 2002 a registrar 570 a fines de 2008, lo que representa un incremento del 59%.

No obstante, entre 2008 y 2019 se experimentaron características oscilantes con tendencia bajista. Se observaron años de crecimiento interanual moderado como en 2011, 2014 y 2017, pero durante otros momentos del ciclo se produjeron importantes caídas. En este período el promedio de empresas fue de 542, un 5% menos del máximo registrado en 2008. Asimismo, las sembradoras y pulverizadoras que se vendían solían ser fabricadas en el país, mientras que los tractores y las cosechadoras eran importadas principalmente desde Brasil (Bil *et al.*, 2019). Albornoz, Bisang y Anlló (2010) destacan cómo el mercado pasó de facturar menos de 200 millones de dólares y multiplicar estos niveles a la brevedad (gráfico 4).

A pesar de la recuperación, CAFMA (2020) aclara que a partir de 2003 la participación de la facturación de la producción local en el mercado ronda el 40%. Esto se revirtió parcialmente en 2011-2012, cuando se dio un paulatino proceso de sustitución de importaciones y se instalaron multinacionales que realizaron determinadas etapas del proceso productivo en el territorio nacional. Sin embargo, la cantidad de valor agregado local depende según cada empresa, porque algunas han llevado adelante estrategias de mayor ensamblaje que otras. Tanto las entrevistas con las y los expertos como el texto de Sturbin, Abuhamad y Braga (2021) plantean que desde comienzos del milenio se produjo una sustitución de importaciones, pero las actividades llevadas adelante por las multinacionales en múltiples casos consisten en el ensamblaje de piezas y no en el desarrollo y fabricación de bienes.

⁷ Bil *et al.* (2019) aclara que de las siete empresas de tractores que había en la década de 1990, solo dos había a comienzos del milenio, pero se dedicaban únicamente a la fabricación de motores, y de las diez que había de tractores en 1990, quedaban tres en 1993 y ninguna en 2000.

Gráfico 4 Facturación en el sector
En millones de dólares corrientes



Nota: Se tomó el tipo de cambio oficial promedio de cada año.
Fuente: Elaboración propia con base en INDEC y Ministerio de Economía de la Nación.

Albornoz, Bisang y Anlló (2010) agregan que, en el marco de la recuperación, el desarrollo del sector estuvo muy vinculado con las transformaciones sobre el paquete tecnológico –siembra directa + semillas genéticamente modificadas + agroquímicos–, debido a que replantearon la dinámica y composición que se demandaba. Al utilizar la siembra directa de manera masiva, se incrementaron por ejemplo las necesidades de fertilización y pulverización. Asimismo, la maquinaria tuvo que ser diseñada para este sistema (Albornoz, Bisang y Anlló, 2010). Bragachini (2006) señala que a partir de la utilización de la siembra directa la cantidad de horas utilizadas de un tractor se redujeron entre el 30% y el 50%, porque se requería menor laboreo de la tierra. Por otra parte, como plantea Langard (2014), la siembra directa requiere de constante utilización de herbicidas y fertilizantes, lo cual se traduce en una mayor demanda de pulverizadoras de arrastre y autopropulsadas.

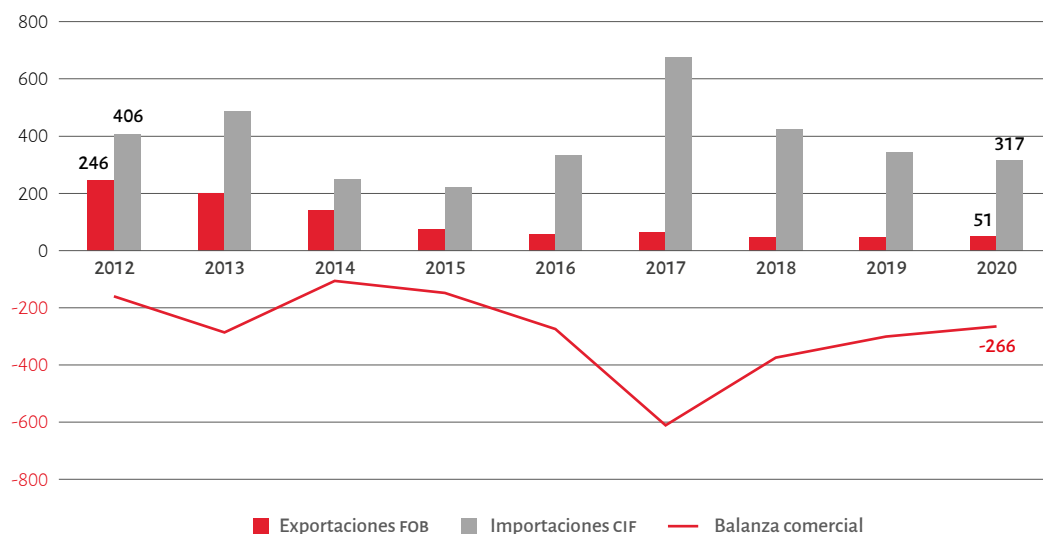
Actualmente, el sector de maquinaria agrícola representa el 1,6% del valor agregado bruto de la industria manufacturera y el 25% de la rama de maquinaria y equipos. Además, emplea a 12.300 trabajadores/as que representan el 1% del empleo privado del sector industrial y el 0,2% del total del empleo del sector privado.⁸

COMERCIO EXTERIOR: EXPORTACIONES, IMPORTACIONES Y BALANZA COMERCIAL DEL SECTOR

La contribución del sector de maquinaria agrícola también está dada en materia de comercio exterior: puede aportar a la generación de divisas genuinas a partir de las exportaciones y proponer iniciativas para sustituir importaciones. Si bien su saldo comercial ha sido históricamente deficitario, según se desprende de las estadísticas del período analizado (2012-2020) (gráfico 5), no todos los segmentos de productos que lo componen replican el mismo comportamiento. El segmento de sembradoras (gráfico 6) y abonadoras es estructuralmente superavitario, al igual que los segmentos de discos y repuestos, tolvas y carros.

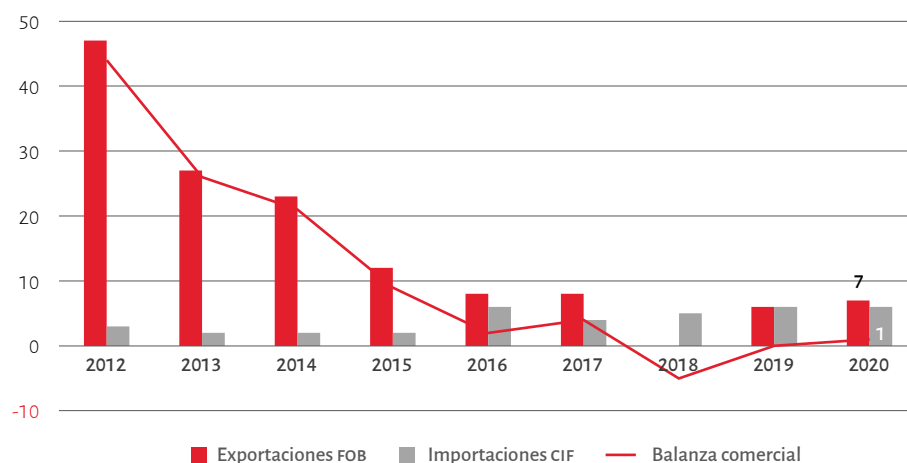
⁸ Datos extraídos de las bases de OEDE para 2019 y 2020, disponibles en <https://www.trabajo.gob.ar/estadisticas/oede/mler.asp>.

Gráfico 5 Exportaciones, importaciones y balanza comercial del sector
En millones de dólares



Fuente: CAFMA con base en Nosis e INDEC.

Gráfico 6 Sembradoras: exportaciones, importaciones y balanza comercial
En millones de dólares



Fuente: CAFMA con base en Nosis e INDEC.

En términos agregados, la incidencia de las exportaciones de maquinaria agrícola sobre el total de exportaciones del país ha ido decreciendo en términos relativos y absolutos. Las ventas al exterior en 2012 fueron de 246 millones de dólares y en 2020, de 51 millones. Asimismo, en términos relativos representaron en 2012 el 0,31% de las exportaciones totales, descendieron hasta el 0,07% en 2019 y se recuperaron marginalmente hasta el 0,09% en 2020.

Con respecto a las importaciones, en el período analizado se verifica un descenso hasta 2015, luego se revierte la tendencia y llega a su pico en 2017. En la mayoría de los años en análisis las importaciones de maquinaria agrícola representaron entre el 0,6% y el 0,75% de las importaciones totales del país. Por un lado, 2014 y 2015 fueron los años donde menor incidencia han tenido –0,37% y 0,38%, respectivamente—. Por el otro, 2017 fue el año con mayor incidencia de las importaciones de maquinaria agrícola sobre el total: 1,01% y en términos absolutos se registraron cifras récord de importaciones de tractores (238 millones de dóla-

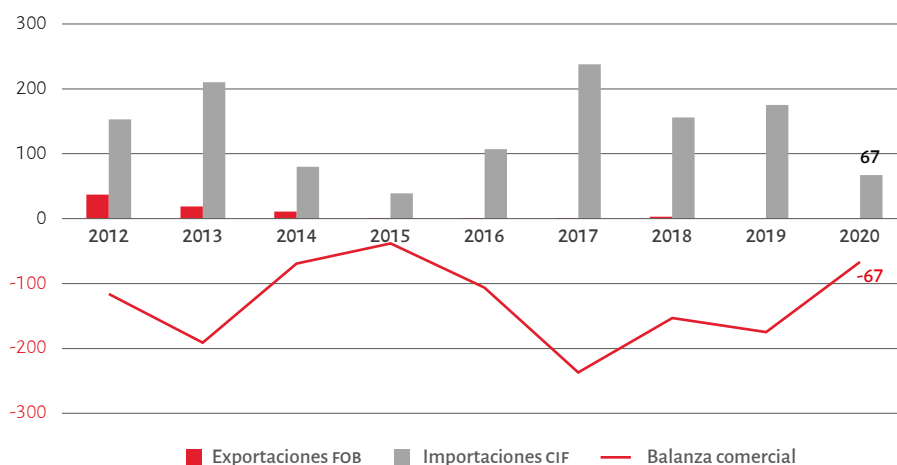
res), cabezales (165 millones) y cosechadoras (125 millones). Este dinamismo se explica a partir de factores coyunturales tanto productivos como de política económica. La campaña agropecuaria 2016-2017 marcó un récord de producción –9% más respecto del ciclo anterior– con un crecimiento importante en la producción de maíz, trigo y soja. Además, durante este período se impulsó una desregulación cambiaria y se flexibilizó la administración de comercio (CAFMA, 2020).

Como se advirtió, pese a que en términos agregados el sector es deficitario, existieron años con balanzas comerciales superavitarias en determinados segmentos (pulverizadoras, *mixers* y secadores para productos agrícolas). Distinta fue la situación en aquellos segmentos de mayor valor agregado y especificidad tecnológica y los que mayores costos fijos implican, ya que estas balanzas comerciales fueron deficitarias (por ejemplo, tractores, cosechadoras y extractoras-cabezales). El mayor déficit comercial del sector se encuentra en el segmento de tractores.

En la última década la composición de las exportaciones ha ido variando en algunos segmentos, mientras que otros mantienen cierta estabilidad. El de tractores explicaba para 2012 el 15% de las exportaciones de maquinaria agrícola (gráfico 7). Desde 2013 a 2015 se produjo una fuerte contracción de las unidades exportadas, y para 2020 solamente el 1% del valor de las exportaciones de maquinaria agrícola pertenecían al rubro de tractores.

Gráfico 7 Tractores: exportaciones, importaciones y balanza comercial

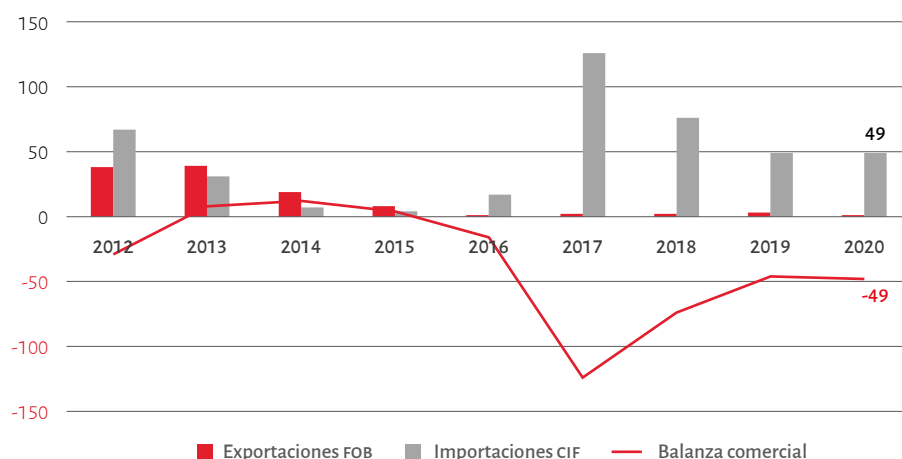
En millones de dólares



Fuente: CAFMA con base en Nosis e INDEC.

Otro de los casos que van en ese sentido es el rubro de las cosechadoras: en 2013 el 20% del valor FOB de las exportaciones de maquinaria agrícola pertenecían a este rubro, mientras que en 2020, el 1% (gráfico 8). De manera opuesta, en el período analizado existieron segmentos que aumentaron su participación en las exportaciones. Un caso en este sentido es el segmento de discos y repuestos, que pasó de explicar el 6% de las exportaciones (2012) al 16% (2020). Lo mismo sucedió con las extractoras y cabezales, que pasaron del 9% en 2012 al 16% en 2020 (gráfico 9). En 2020 estos rubros lideran las exportaciones de maquinaria agrícola, seguido por el rubro de sembradoras y abonadoras (13% del total exportado), que mantuvo su participación relativamente estable en el período analizado. Otro de los segmentos que mostró crecimiento en su participación en el total de exportaciones es el rubro de pulverizadoras, que pasó de representar el 7% del total exportado en 2012 al 13% en 2020.

Gráfico 8 Cosechadoras: exportaciones, importaciones y balanza comercial
En millones de dólares

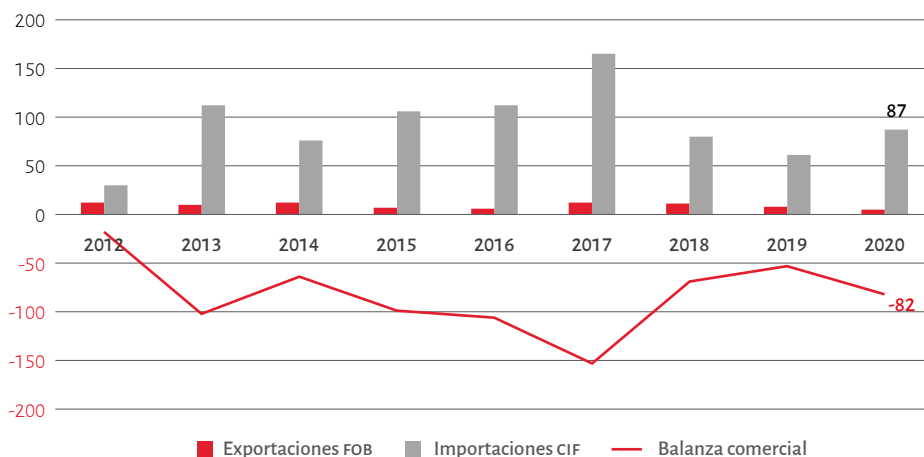


Fuente: CAFMA con base en Nosis e INDEC.

Respecto de las importaciones, el segmento con mayor déficit comercial del período analizado es el de tractores. El 35% de las importaciones del sector pertenecen a este rubro en promedio durante el período, aunque en 2019 registraron un récord y llegaron al 51%. El segundo rubro con mayor preponderancia es el de cabezales y repuestos de cabezales. Durante el período 2012-2020 representaron el 26% de las importaciones. En 2012 su incidencia en las importaciones era solo del 7%, mientras que en 2015 llegaron a representar el 48%. En tercer lugar, el rubro de cosechadoras lidera la tabla de productos importados en maquinaria agrícola, con notoria heterogeneidad según el año analizado. Mientras que en el período 2013-2016 promediaba el 4% del valor importado del sector, desde 2016 hasta 2020 ha tenido una incidencia en las importaciones que va desde el 16% al 19% del total.

En términos de saldos comerciales, en la última década el rubro de tractores explicó más del 32% del déficit del sector de maquinaria agrícola, seguido por el rubro de cabezales y repuestos de cabezales (en promedio 23%) y en tercer lugar por el de cosechadoras, que explica casi el 10% del déficit comercial del sector, a pesar de que desde 2013 a 2015 el saldo comercial de este rubro fue superavitario —en escasa magnitud.

Gráfico 9 Cabezales y repuestos: exportaciones, importaciones y balanza comercial
En millones de dólares



Fuente: CAFMA con base en Nosis e INDEC.

Respecto del destino de las exportaciones en la industria de maquinaria agrícola, en términos agregados los principales destinos de exportación son Brasil, Paraguay y Uruguay. Específicamente en el segmento de sembradoras, que se ha caracterizado por ser exportador neto, los países que lideran las compras son Bolivia –en promedio 35% del total exportado–, Paraguay, Uruguay –entre el 10% y el 15% cada uno–, Rusia y Sudáfrica.

Tanto a partir de las entrevistas a las empresas como del análisis de las estadísticas de comercio exterior, se destaca el rol que tuvo Venezuela como destino de las exportaciones argentinas. La Argentina firmó en 2006 un convenio que preveía la compra de maquinaria agrícola a fabricantes argentinos por un valor de 113 millones de dólares anuales, con el objetivo de lograr transferencia tecnológica –sobre todo en el segmento de cosechadoras y tractores–. Producto de este acuerdo, en ese mismo año Venezuela representaba casi el 60% del destino de todas las exportaciones, lo que refleja, según Bragachini (2014), el impacto que había tenido el acuerdo comercial para las empresas del sector. En los dos últimos años de vigencia del acuerdo se exportaron 37,6 millones de dólares y 39,3 millones, respectivamente, en cosechadoras.

A partir de las entrevistas a empresas, se refleja un marcado interés para potenciar las ventas a otros mercados al poder diversificar sus ventas más allá del mercado local. En este sentido, los mercados más apuntados por las empresas son los africanos, aquellos de Europa del Este y los de otros países de América Latina. Para potenciar las exportaciones, las estrategias dependen del tipo de empresa: ciertas firmas cuentan con establecimientos productivos en otros países, algunas envían la máquina fabricada en el país y otras cuentan con socios en el exterior para la fabricación del equipamiento, pero a partir del *know-how* local.

Los principales países de donde se originan las importaciones son Brasil, los Estados Unidos y Alemania. Sin embargo, la participación de los diferentes países en el comercio internacional del sector varía por segmento de producto. En el de tractores, casi el 70% de las importaciones provienen de Brasil y los Estados Unidos. Las importaciones del segmento de cosechadoras se encuentran en su mayoría lideradas por Brasil, seguidas de Alemania y los Estados Unidos. Si bien anteriormente este segmento se disputaba de manera equitativa entre los tres países, en los últimos años Brasil ha ganado participación en este mercado: casi el 70% del valor importador de cosechadoras provino de allí.

LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN EL SECTOR

El sector de maquinaria agrícola cuenta con una activa agenda vinculada a la transformación digital y permanente incorporación de tecnología, ya que han mejorado los bienes que se fabrican y los procesos productivos dentro de las fábricas. Esta conclusión se visualizó tanto a partir de las entrevistas a especialistas y empresas como en la literatura (Langard, 2016; Erbes *et al.*, 2019; Mochi, 2020). Los avances del sector en materia tecnológica en el segmento de maquinaria agrícola en la Argentina están fuertemente ligados a la producción a través de la siembra directa y los paquetes tecnológicos utilizados en la producción agropecuaria. La necesidad de dar respuesta a productores/as y contratistas hace que las dos agendas avancen de manera paralela: al modificarse la forma de producción también es necesaria la readaptación del equipamiento.

Las y los expertos entrevistados para este trabajo coinciden que los cambios tecnológicos que han tenido mayor asidero y rápida adopción son aquellos tangibles en términos de ahorro de costos –por ejemplo, la siembra directa–. El salto tecnológico y productivo que se experimentó a fines del siglo pasado y comienzos

del actual fue un claro reflejo de las capacidades existentes para adaptar de manera rápida nuevas tecnologías y mejoras en los procesos cuando se producen los incentivos y las condiciones adecuadas.

Esta situación representa un espejo para analizar la actualidad de la maquinaria agrícola y la agenda de la transformación digital, porque el efecto contagio que pueda llegar a darse dependerá principalmente de la capacidad de reducir los costos que tienen productores/as y contratistas.

Un activo que posee el sector de maquinaria agrícola, a diferencia de otros segmentos industriales, es que hasta diciembre de 2021 presentaba un buen nivel de producción. Según las estadísticas de ADIMRA, este sector fue el único de todo el entramado metalúrgico que finalizó 2021 con un mayor nivel de producción respecto del alcanzado en 2015.

Para identificar dónde se encuentra el sector frente a esta agenda y cuáles son los desafíos más importantes, en el presente trabajo se ha contemplado la realización de entrevistas en profundidad tanto a empresas como a personas expertas e informantes calificadas vinculadas con el sector. El objetivo de las entrevistas fue identificar la percepción que existe en el sector y en la empresa consultada en cuanto al grado de avance de la transformación digital en la Argentina, y cuáles son los principales obstáculos y sus posibles soluciones.

Entre las 36 consultas que se hicieron en total, se buscó entrevistar a firmas que fabrican distintos tipos de bienes, que tienen distintas participaciones en el proceso productivo y que están localizadas en diversas zonas del país. Las empresas de maquinaria agrícola, agropartistas y proveedoras fueron: Agrometal, Alumaq, Allochis, Arsemet, Aurovant, Caimán, Catalano, Cestari, DeepAgro, Dolbi, Garro-Fabril, Giorgi s.r.l., MaqTec, Mega Ingeniería, Maquinarias Ombú, Metalfor, Piersanti, Prodismo, Space Sur, Yomel y ZoomAgri. Asimismo, se mantuvieron reuniones de trabajo con expertas y expertos que se desempeñan en el sector público, como Guillermo Marrón –director del Instituto de Ingeniería Rural, perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)–, Alejandro Gariglio –consultor en Tecnologías de Gestión del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)–, Jorge Eliach –coordinador del sector de Productos Industriales del INTI–, Andrés Méndez –director de Innovación Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas de la Subsecretaría de Agricultura del Ministerio de Agricultura– y Hernán Vigier –director de Planeamiento del INTI–. También con especialistas que se desempeñan en el sector académico, privado y en cámaras empresarias, como María Isabel Borghi –experta en el sector de maquinaria agrícola y ex gerenta general de la Fundación CIDETER–, Carlos Braga –gerente general de la Fundación CIDETER–, Ricardo Fragueyro –gerente de CAFMA–, los consultores Iván Ordóñez y Carlos Becco, Oscar Rete –de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional de San Francisco, Córdoba–, Sergio Marinelli –representante de la Asociación Argentina de Siembra Directa– y representantes de la Cámara Argentina del Maní y la Cámara Argentina de Impresión 3D y Fabricaciones Digitales.

Además, se llevó a cabo una revisión de la literatura bibliográfica más actualizada tanto a nivel local como internacional que ilustra el sendero que están transitando las empresas que se ubican en la frontera tecnológica del sector a nivel mundial, así como cuáles son las principales tendencias globales.

A continuación, se presentan los principales resultados sobre el modo en el cual se impulsan los proyectos de transformación digital en las empresas:

- > La totalidad de las firmas entrevistadas han llevado adelante o están emprendiendo el camino hacia la transformación digital, lo cual refleja que la agenda está presente tanto en empresas pequeñas, como medianas y grandes, también en agropartistas y fabricantes de equipos. Sin embargo, solo cerca de la

mitad emprendieron más de un proyecto de transformación digital, y fueron las empresas de mayor tamaño relativo y fabricantes de equipos de maquinaria agrícola las que se visualizaron más avanzadas en este proceso.

- > En el 100% de los casos, las empresas—independientemente del tamaño, localización o tipo de producto—conocían la agenda de la transformación digital y las ventajas que podría aportarles a sus compañías, lo que refleja el conocimiento que existe en el sector sobre esta materia.
- > La agenda de la transformación digital fue llevada adelante en el 38% de los casos por las y los socios de la compañía, y en menor medida por la o el gerente general—o CEO—, gerente de producción, gerente de tecnología o jefe de producción. Esta situación expresa la importancia que tiene la temática para el sector a partir del cargo de las personas involucradas.
- > En la mayoría de los casos las empresas no cuentan con una o un gerente responsable de transformación digital. Tampoco se ha visualizado una activa articulación entre consultores/as especializados y empresas del sector para impulsar los proyectos.
- > La agenda de la transformación digital es percibida como un camino complejo. El 60% de las personas entrevistadas lo describieron como “difícil” y el 40% restante consideró que está en un nivel de dificultad “intermedio”.

Antes de describir cómo está la agenda de la transformación digital en el sector de maquinaria agrícola, es importante destacar cinco características centrales para enmarcar el análisis:

- > La fabricación de equipamiento por parte de empresas nacionales está orientada principalmente a la fabricación de sembradoras, pulverizadoras, secadoras y tolvas. De esta manera, la agenda tecnológica más activa en las firmas locales está vinculada directa e indirectamente a la elaboración de estos bienes. La fabricación de tractores y cosechadoras está liderada por grandes empresas multinacionales que se dedican sobre todo al ensamblaje y cuentan con proveedores globales. Esta situación restringe las posibilidades de lograr mayores encadenamientos en la Argentina.
- > Existe una baja estandarización en la producción que condiciona la agenda de la transformación digital. Este punto es planteado por casi todo el universo de empresas y personas expertas entrevistadas para este trabajo y por la literatura especializada (Erbes *et al.*, 2019). La baja estandarización limita la posibilidad de automatizar procesos, lo cual repercute en la productividad de las compañías. En las entrevistas se relevó la existencia de empresas que cuentan con listas de más de mil productos, o bien—como en el caso de las sembradoras—tener cinco tipos distintos de sistemas según las necesidades o gustos de la demanda (mecánico, neumática Monsun, Precision Planting, neumático Matermacc, neumático Sele-nium). La capacidad de adaptarse a la demanda de las y los clientes puede ser vista como una ventaja, pero representa un gran desafío a la hora de entender qué capacidades tendrían para estandarizar.
- > El rol que cumplen las empresas “tractoras” para impulsar las mejoras en toda la cadena. El 60% de las empresas agropartistas entrevistadas coincidieron en el impacto que genera que las grandes fabricantes incrementen sus demandas, obligándolas a operar con mayor productividad y precisión en los materiales, y trabajar con mayores especificidades. De tal manera, esta situación permite que progresivamente se vayan observando mayores similitudes respecto del sector automotriz, en el cual las terminales automotrices en múltiples casos aumentan la productividad de toda su cadena de valor. Si bien el sector agropartista no suele trabajar bajo la lógica *just in time*, como sí sucede en el sector automotriz, las empresas líderes, progresivamente, incrementan las demandas a sus proveedores.

- > En el sector está muy instalada la práctica de la imitación. Aunque esto es un impulso para que las nuevas prácticas y los nuevos productos se difundan de un modo más veloz en todo el entramado productivo, a la empresa que lo desarrolló le permite capturar una “renta schumpeteriana” durante un menor tiempo del que puede estar presente en otros segmentos, donde la capacidad para imitar es más limitada, más lenta o existen mayores barreras asociadas a la propiedad intelectual de los desarrollos –por ejemplo, patentes.
- > El sector trabaja con bienes de valor agregado, con una gran y creciente incorporación de electrónica y productos cercanos a la frontera tecnológica. Sin embargo, no necesariamente la fabricación de estos bienes, sumamente complejos, implica que en los procesos dentro de las fábricas sean los más avanzados.

Como se ha mencionado previamente, según los trabajos de BID y TecNALIA (2021) y Motta, Morero y Ascúa (2019), la transformación digital contempla una multiplicidad de tecnologías. En este relevamiento exploratorio sobre los avances de la transformación digital se hizo hincapié en las tecnologías que están más presentes y en un caso concreto donde podría haber mayores avances en el mediano o largo plazo.

Incorporación de sensores

Sensorización de procesos

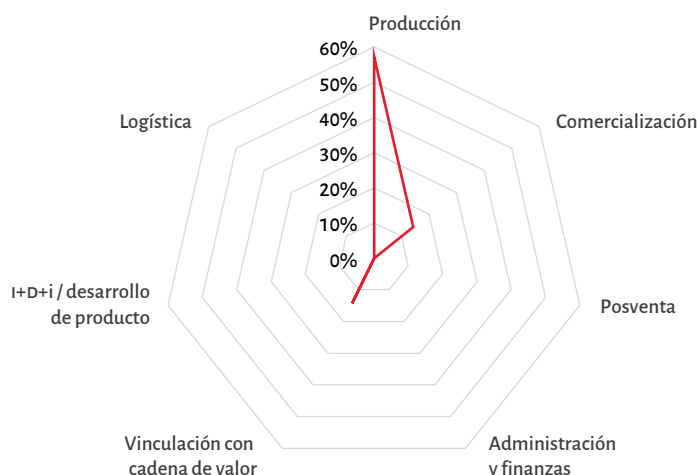
La incorporación de sensores no se limita solo a la información que se genera en las máquinas, sino principalmente a la capacidad de construir un sistema integrado en el cual la información de las máquinas pueda conectarse con otras áreas no productivas, y que desde las áreas administrativas y técnicas pueda generarse información para las máquinas. Al hablar de los beneficios de la sensorización en el sector, se pueden señalar la mejora en la productividad, la reducción en los costos, la posibilidad de que las y los trabajadores no realicen tareas repetitivas, mejorar la calidad de los productos, que existan menores gastos en mantenimiento y que los procesos productivos sean más predecibles. Siguiendo a ADIMRA-CAFMA (2021), que llevaron adelante jornadas de innovación tecnológica aplicadas a la maquinaria agrícola, todas las interacciones se pueden automatizar, pero dependerá de la inversión en el costo inicial y del tiempo necesario para adaptar los procesos. En el sector existen múltiples herramientas para automatizar, como sistemas mecánicos, máquinas basadas en PLC, DSC o SCADA, HMIS, robots o sistemas ERP o RPA.

De las empresas relevadas, el 60% utiliza sensores en los procesos productivos que les permiten contar con información que antes no tenían. Sin embargo, como se desprende del gráfico 10, menos del 20% de las empresas lograron que esta información que se genera en el proceso productivo pueda estar vinculada automáticamente con otras áreas de la empresa, como comercialización-ventas, administración y finanzas, mantenimiento o con la propia cadena de valor –proveedores y clientes–. Para avanzar en esta integración e intercambio de información es necesario tanto la conexión del 100% del equipamiento, como contar con una infraestructura en materia de conectividad que lo sostenga, y con un único sistema operativo para toda la compañía. En el relevamiento se visualizaron casos de firmas que implementan sistemas administrativos que actualmente no son compatibles con los de producción.

Las empresas que se visualizaron más avanzadas fueron las que tienen mayor tamaño relativo, las que llevan adelante una activa penetración en los mercados externos o las que fueron creadas contemplando esta posibilidad. En las entrevistas, se identificó un universo mayoritario de empresas que actualmente guardan

la información que generan en un archivo Excel manual, lo cual limita la capacidad de automatización en tiempo real e impide que esta información pueda ser identificada o procesada por una persona distinta a quien la carga regularmente.

Gráfico 10 Utilización de sensores en las empresas de maquinaria agrícola y en diversas etapas del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento a empresas del sector.

Uno de los grandes incentivos en las empresas del sector al incorporar sensores es poder relevar la evolución de los *stocks*. Más del 30% de las empresas manifestó su interés en poder mejorar la administración de sus inventarios. Esta necesidad se hizo aun más importante desde 2020, dada la escasez de los insumos y los incrementos que experimentó la materia prima. Dos limitaciones que se visualizaron en este sentido fueron la dificultad sobre cómo contabilizar los *stocks* de materias primas que cuentan con algún valor agregado en el proceso productivo y el impedimento sobre cómo registrar los materiales que son trabajados por una empresa tercerizada. De las firmas relevadas, solo el 5,5% tiene un registro actualizado y permanente sobre los *stocks* que se realicen de manera automática o semiautomática. Aquellas pocas empresas que lograron contar con esta información son capaces de utilizarla para que haya intercambio de información permanente entre el área que maneja los *stocks* con el área de compras, y en función de la reducción de los materiales automáticamente se envíe una orden de compra y se evite la generación de cuellos de botella.

Las ventajas de contar con sensores durante el proceso productivo en el sector de maquinaria agrícola son:

- > Saber dónde está cada pieza: certidumbre sobre fechas de entrega.
- > Trazabilidad: en caso de existir algún defecto, que se pueda detectar el origen y en qué etapa pudo haberse generado.
- > Cálculos de productividad: identificar cuántas horas lleva cada tarea productiva.

La agenda de la sensorización no solo permite que la comunicación entre las máquinas fluya, o entre los equipos de producción y administración, sino que también las y los operarios cuenten con información más precisa y se evite que los pedidos sean trasladados verbalmente. En el sector de maquinaria agrícola menos del 15% de las empresas cuentan con operarios/as con un dispositivo tipo *tablet* donde, al llegar a su estación y escanear un código QR, puedan obtener información sobre las órdenes de trabajo, las prioridades de

producción y los planos. En estos casos las *tablets* están al pie de la máquina, y se requiere que todos los operarios/as sean capaces de manejar la computadora, ya que las órdenes de producción son cargadas y programadas desde la gerencia de producción de la empresa que llegan por sistema a su terminal. A medida que se van cumpliendo las tareas, estas se van “dando de baja” del sistema. Si bien esta tendencia es incipiente, el 100% de las firmas consultadas las conocen y de alguna u otra manera están pensando en cómo poder avanzar en esta dirección. Sin embargo, ello implica limitaciones vinculadas con la conectividad –asunto que se profundizará más adelante.

Sensorización de productos

La utilización de sensores dentro del equipamiento crece año a año. Todas las fabricantes de equipos de maquinaria agrícola relevadas plantearon que sus equipos cuentan con sensores, y si no salen de fábrica con estos dispositivos, son diseñados para que se les puedan agregar adicionalmente. Estos avances en la incorporación de sensores impulsan una creciente vinculación entre el entramado metalúrgico y otros actores del ecosistema de maquinaria agrícola de base tecnológica. A continuación, se detallan algunos casos de productos que son fabricados con sensores, lo cual tienen un valor agregado para las y los usuarios. Si bien se mencionan casos puntuales de empresas, esto no significa que no haya otros similares en estos mismos subrubros.

¿Qué pueden hacer en la actualidad los sensores en las tolvas? La empresa Corvus creó el sistema de agro-ganadería de precisión, que permite incorporar a las tolvas para monitorear en tiempo real la detección de la carga, si se está descargando la cosechadora y que no haya una tolva cerca, identificar qué camión se cargó y con qué peso. Esto sirve para garantizar una mayor precisión por parte del contratista/productor sobre los volúmenes de producción cosechados y colocados en los camiones, y evitar las pérdidas.

¿Qué pueden hacer en la actualidad los sensores en las pulverizadoras? Las pulverizadoras fabricadas por la empresa Caimán pueden venir con sistemas de telemetría, lo que permite obtener un registro de la localización, de los movimientos realizados, las horas trabajadas, los rangos horarios, el control de las condiciones climáticas y si son aptas o no para colocar los productos necesarios en cada momento. Los sensores también brindan información sobre el rendimiento de los suelos, la dosis de fertilizantes y los lotes que fueron trabajados; incluso permiten un manejo automático sin necesidad de que haya una persona en la cabina.

¿Qué pueden hacer en la actualidad los sensores en las sembradoras? La empresa Crucianelli lanzó en 2021 la sembradora Plantor Leaf, desarrollada en conjunto entre la empresa y Leaf Agtronics. Este producto fabricado íntegramente en el país cuenta con una multiplicidad de sensores y permite contar con índice de calidad de la siembra, monitoreo de dobles y fallas de siembra en el monitor Leaf incorporado, tubo de bajada curvo con sensores ópticos, dosis variable en semillas y fertilizantes, monitoreo de caída de fertilizante e integración de la máquina para ser controlada desde un dispositivo.

¿Qué pueden hacer en la actualidad los sensores en los cabezales? La empresa Piersanti incorporó sensores en las puntas de sus cabezales *drappers*. Esto sirve para que los cabezales *drapper*, que se incorporan a las cosechadoras, puedan conectarse con un tablero de monitoreo y enviar información de manera constante.

¿Qué pueden hacer los sensores para medir la calidad de los cultivos? La utilización de los sensores en la maquinaria también permitiría avanzar y captar información sobre la calidad del grano. En este sentido, el INTA trabajó junto a la empresa Tecnocientífica en el desarrollo de un sistema de sensores para evaluar la calidad del grano. Esto posibilitaría, por ejemplo, que se evalúe la cantidad de proteína que contiene la soja

o cuánto aceite tiene el girasol. Potencialmente también serviría para que al productor/a sojero se le pague por la proteína que contiene la oleaginosa y no por su peso.

Recuadro 4 El caso de Campiutti Hnos.

La empresa Campiutti Hnos. se dedica a la fabricación de piezas metálicas de precisión y abastece a firmas de maquinaria agrícola y otros rubros. La empresa implementó un software para iniciar con la transformación digital a partir de una estrategia con dos aristas. Por un lado, un ERP que planifica desde las compras de insumos hasta la venta de productos. Fundamentalmente este programa ofrece datos, planos, planes de control y de mantenimiento, reporta fallas, envía alertas e indica si hay alguna pieza defectuosa. Por otro lado, cada operario/a tiene una *tablet* –a pie de máquina y en oficina– en la que interactúa con la interfaz y le da la visualización de lo que tiene que controlar, cambiar o mantener. Se pueden ver los datos de todos los meses y años de manera inmediata. El análisis de esos datos lo hace el sistema RPA, que les brinda la posibilidad de optimizar el proceso. Este esquema, según la experiencia de la empresa, es fácil de auditar, muy dinámico, está desarrollado en JAVA y corre tanto en Windows, Linux o Apple.

Fuente: Elaboración propia con base en ADIMRA-CAFMA (2021).

Robots/automatización

De las empresas relevadas, el 60% utiliza robots en sus procesos productivos que les permiten automatizar sus tareas. Sin embargo, como se desprende del gráfico 11, la incorporación a otras áreas de las empresas es aún casi nulo.

La agenda de la transformación digital está fuertemente vinculada con la creciente incorporación de maquinaria como máquinas de corte láser, plegadoras, tornos CNC, robots de soldadura, etc. Si bien dicha incorporación no implica necesariamente una transformación digital, sí es un paso indispensable en esta dirección para un sector industrial.

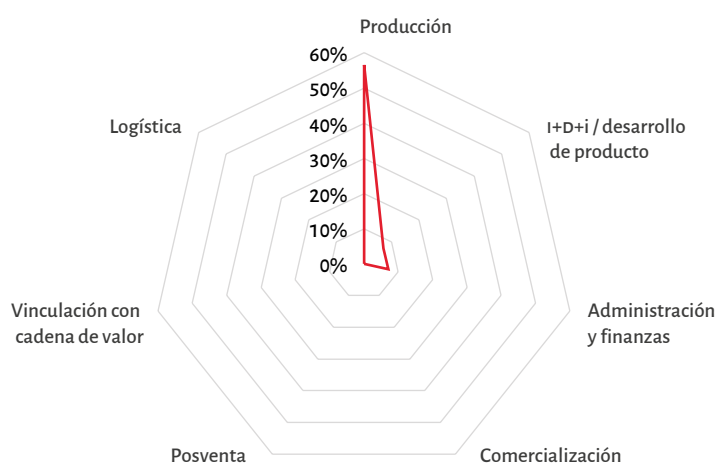
El 100% de las empresas relevadas para este trabajo, tanto las de maquinaria agrícola como las agropartistas, utilizan algún tipo de maquinaria en sus procesos productivos. La manipulación de los materiales hace que sea imposible que se puedan fabricar equipos o piezas sin contar con algún tipo de equipamiento. En las entrevistas se destacó, por ejemplo, que en el segmento cada vez se demandan mayores máquinas de corte láser por la precisión que tienen con respecto a otros equipamientos para el corte de materiales –acero o plástico–. Este avance ha permitido mejorar la productividad, hacer un uso más eficiente de los materiales, evitar desperdicios y obtener mayor precisión en las diversas operaciones que se realizan.

Sin embargo, a partir del relevamiento a las empresas se identificaron dos puntos importantes para pensar esta agenda:

- > La incorporación de una máquina de última tecnología no puede ser del todo aprovechada si no existe una relativa homogeneidad en toda la maquinaria de la firma. Por ejemplo, una máquina de corte láser es extremadamente precisa, pero si no se tiene una plegadora de última tecnología esta precisión que se logró en el corte tal vez se erosiona en el plegado. Esta situación se da principalmente en los establecimientos de empresas de menor tamaño relativo, donde conviven máquinas de diversas tecnologías.

- > La creciente incorporación de maquinaria también impulsa la paulatina adquisición de brazos robóticos para automatizar aun más las tareas. Sin embargo, en este caso sí existen diferencias según el tamaño de la empresa. Las de mayor tamaño, o las que se especializan exclusivamente en plegar o cortar, son las que tienen algún brazo robótico. En el relevamiento se identificó, además, un creciente interés por parte de todas las empresas en avanzar en esta agenda, tanto por el mayor nivel de producción que experimenta el sector, como por la reducción en el precio de los robots y los obstáculos que verifican algunos segmentos al momento de encontrar personal.

Gráfico 11 Utilización de robots (automatización) en las empresas de maquinaria agrícola y en diversas etapas del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento a empresas del sector.

Un punto para destacar al momento de analizar la automatización/robotización tiene que ver con la reciente tendencia de creación de proveedores especializados que se encargan exclusivamente de tareas como el plegado, el corte o la pintura. A las empresas que realizan la parte del montaje esto les permite concentrarse en determinadas etapas del proceso productivo, como el diseño e ingeniería, o el servicio de posventa, mientras que a los proveedores los incentiva a invertir activamente en tecnología cada vez más compleja y amortizar un equipamiento que posiblemente la montadora no logre realizarlo en el corto plazo. Esta tercerización es impulsada por pequeñas empresas y algunas compañías más grandes.

Recuadro 5 El caso de Arsemet

La empresa Arsemet S.R.L. está localizada en Armstrong (Santa Fe) y se dedica al abastecimiento de piezas metálicas y todo tipo de servicios metalúrgicos para empresas de diversos rubros, entre ellos, de maquinaria agrícola. En el marco de su trayectoria a la transformación digital la empresa incorporó algunas maquinarias en el área de:

- > Corte: un oxicorte CNC, dos plasmas CNC, cuatro máquinas láser, un rotoláser.
- > Plegado: siete plegadoras CNC, una roladora CNC.
- > Soldadura: robot ABB, siete puestos semiautomáticos, arco sumergido.

Este trabajo fue complementado con conexiones en los puestos de trabajo y conexión en red para que todos los trabajadores/as puedan ver los planos, las prioridades, el registro para trazabilidad, la carga de trabajo y la comunicación interna. La o el cliente tiene autogestión total mediante un *web service*, ya que los procesos de sus áreas están digitalizados y se actualizan minuto a minuto. Se trata, entonces, del caso de una empresa que complementó la automatización y la robotización con la utilización de sensores.

Fuente: Elaboración propia con base en ADIMRA-CAFMA (2021).

Solución de almacenamiento en la nube

Al igual que sucede con los sensores, el almacenamiento en la nube en el sector de maquinaria agrícola está presente tanto en los procesos productivos como en los bienes que se fabrican. El objetivo en ambos casos es que esta mayor generación de información sirva para un mejor proceso en la toma de decisiones de las y los productores y de las empresas fabricantes.

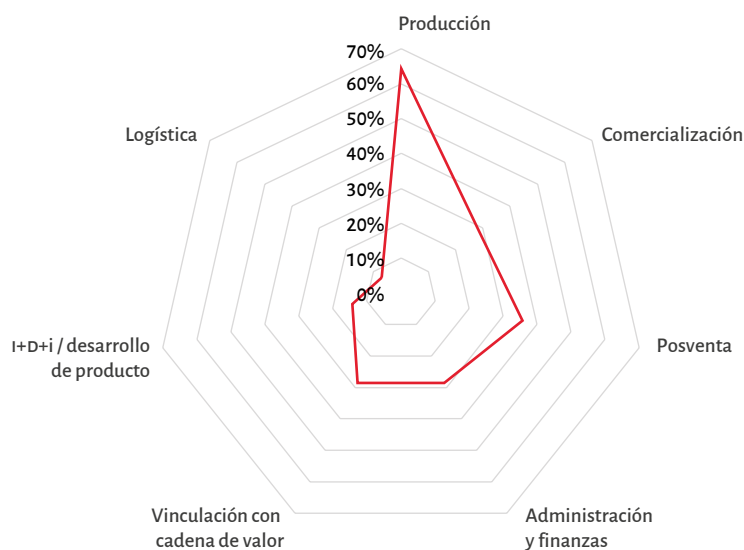
El almacenamiento en los procesos productivos

El 69% de las empresas relevadas utilizan la nube para almacenar información generada en la misma empresa. El gráfico 12 refleja que las áreas funcionales donde se carga la información en la nube son principalmente las de producción, finanzas y posventa.

El 8% de las empresas relevadas aprovecha los sistemas en la nube para que sus clientes/as tengan acceso remoto a la información sobre sus órdenes de compra, el estado de sus pedidos y la calidad que tiene cada uno antes de ser enviado. Esta vinculación permite que sus clientes/as detecten de manera temprana y automática cualquier tipo de desviación que podría generar algún problema después.

La localización que tienen las empresas es un desafío a la hora de impulsar la utilización de la nube para almacenar la información, porque necesitan tener una excelente conexión a internet. En el trabajo se iden-

Gráfico 12 Utilización de sistemas de almacenamiento en la nube en las empresas de maquinaria agrícola y en diversas etapas del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento a empresas del sector.

tificó que el 15% de las firmas tienen servidores propios que utilizan para almacenar la información sobre administración contable y financiera y producción. Este universo conformado por pymes y grandes firmas analizó la posibilidad de mantener toda la información en la nube, pero decidieron almacenar los sistemas troncales y prioritarios en servidores propios, ante los potenciales problemas o cortes del servicio en momentos de tormentas u otros fenómenos climáticos.

El almacenamiento de la información generada por el equipamiento

El equipamiento de maquinaria agrícola a partir de la creciente incorporación de sensores utiliza la nube para almacenar la información generada. La totalidad de las firmas fabricantes de equipamiento destacó que sus equipos son fabricados para que la información pueda descargarse y almacenarse. Sin embargo, existen dos temas a considerar para que se profundice esta agenda:

- > La falta de conectividad obliga a que este proceso no se realice de manera automática y tenga que utilizarse un dispositivo –como un *pen drive*– para descargar la información captada por el equipo y volcarla luego en una computadora.
- > Existen estándares abiertos para procesar la información, como los de ISOBUS, o cerrados por plataformas que tienen las mismas multinacionales (AgCommand de Agco, FarmSight de John Deere y FieldScripts de Monsanto). La disputa sobre qué sistema predominará limita la utilización y el aprovechamiento de la información que se capta.

Inteligencia artificial

Menos del 8% de las empresas fabrican equipos o soluciones con inteligencia artificial para ser utilizados en el trabajo de campo (gráfico 13). La incorporación de inteligencia artificial no está tan avanzada en el sector de maquinaria agrícola, como sí lo está en otros segmentos industriales (Sturbin, Abuhamad y Braga, 2021).

A partir de las entrevistas a más de 35 empresas y especialistas, se confirmó que el avance de la inteligencia artificial en el sector se encuentra en etapa de exploración y que no se visualiza que vaya a ser una agenda activa en el corto plazo; no obstante, sí se proyecta desarrollar la automatización e incorporación de sensores. A pesar de este diagnóstico general, existen excepciones en el sector, como son los casos de DeepAgro (recuadro 6) o el de ZoomAgri (recuadro 7).

Esta situación confirma lo planteado por Sturbin, Abuhamad y Braga (2021), quienes analizaron la incorporación de la inteligencia artificial en el sector de maquinaria agrícola a partir de un relevamiento cuantitativo y cualitativo. La conclusión de estos autores es que el sector comenzó la adopción de inteligencia artificial en productos y procesos, pero en el marco de una incorporación paulatina. Una de las principales conclusiones del trabajo es que el 83% de las empresas que fueron encuestadas no pudieron avanzar más allá de experimentaciones iniciales.

Recuadro 6 El caso de DeepAgro

La empresa argentina DeepAgro creó el dispositivo sprAI para lograr una aplicación selectiva de herbicida que permitiría reducir el impacto medioambiental que genera la utilización de agroquímicos. El dispositivo se monta sobre la pulverizadora y con inteligencia artificial logra reconocer y aplicar el herbicida solo sobre las malezas y no en la totalidad del lote. Al tener cámaras RGB sobre las alas de la pulverizadora, cuando se

detecta la maleza se envía la señal para abrir y cerrar cada pico y volcar los herbicidas. Actualmente la firma llega al productor e interviene instalando los dispositivos directamente, ya sea sobre una máquina nueva o una en actividad. La empresa estima que una vez que se masifique la utilización de este dispositivo, las empresas de maquinarias estarán más abiertas a que desde las fábricas salga, por ejemplo, una pulverizadora con el dispositivo ya incorporado.

La inteligencia que se le incorpora al dispositivo ya está entrenada y se van incorporando nuevas malezas para que pueda detectar. Al año 2021 había 36 biotipos de malezas. El dispositivo permite alcanzar un 93% de precisión, reducir el ahorro de herbicidas entre un 30% y un 70%, y no se requiere internet para su funcionamiento. En 2020, este proyecto ganó la medalla de oro en el rubro robótica de los Premios Ternium Expoagro a la Innovación Agroindustrial. Para avanzar en la agenda de la inteligencia artificial, la firma también desarrolló un dispositivo exclusivo para captura de datos, denominada Explorer. Su única tarea es capturar imágenes todo el tiempo y se instala en cualquier máquina (pulverizadora, tractor, etc.). De esta manera, cada vez que el productor tiene que acceder al lote –ya sea para pulverizar, sembrar, fertilizar o cosechar–, el Explorer captura imágenes de los distintos estadios del cultivo y de otros en los que aún no están trabajando. Esto permite ampliar la base de datos para seguir entrenando los algoritmos existentes, desarrollar nuevos algoritmos para otros cultivos e incluso –a largo plazo– para otras aplicaciones que no tengan nada que ver con la pulverización (insectos, estrés hídrico, estimación de rendimiento, etcétera).

Fuente: Elaboración propia con base en ADIMRA-CAFMA (2021).

Recuadro 7 El caso de ZoomAgri

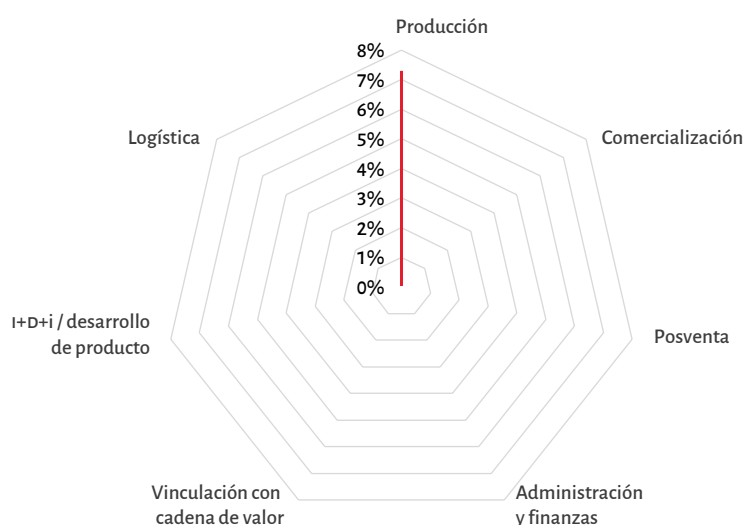
Se trata de una empresa fundada en 2017 por tres argentinos que utiliza inteligencia artificial para el sector agroindustrial, principalmente para el sector de las cervezas. La firma emplea inteligencia artificial para determinar la calidad del grano e identificar en tiempo real la pureza varietal de la cebada cervecera. El algoritmo fue entrenado para reconocer cepas 100% puras de cada variedad a partir de una multiplicidad de imágenes. Para mejorar los algoritmos, constantemente incorporan más muestras de las variedades que ya tienen y van sumando nuevas variedades que son lanzadas al mercado; incluso digitalizan nuevas variedades cada vez que ingresan en un nuevo mercado. Esto les permite analizar cada una en tiempo real y determinar en menos de cinco minutos la variedad, de manera de reducir costos y desperdicios. Previamente, este procedimiento se realizaba de manera manual, requería cinco días e implicaba mayores costos. La firma cuenta con clientes en 18 países y en 2021 realizó una ronda de inversión por 3,3 millones de dólares. Desde la empresa sostienen que esta tecnología podría ser incorporada en cualquier cosechadora, pero la dificultad reside en que el análisis debe ser realizado dentro de un equipo que está en movimiento, con mucha vibración, muchísimo polvo y partículas en el aire, y con la iluminación que varía según el día. Si bien todavía el dispositivo no está incorporado en la maquinaria agrícola, desde ZoomAgri informaron que han tenido conversaciones iniciales con fabricantes del sector.

Fuente: Elaboración propia con base en ADIMRA-CAFMA (2021).

Sturbin, Abuhamad y Braga (2021) plantean que no hay diferencias en el avance según la provincia en la cual es originaria la empresa, pero sí si la empresa exporta o no. Las empresas entrevistadas que mostraron mayores conocimientos e interés en el tema cuentan con una activa agenda exportadora. También se identificó que son las empresas más jóvenes las que trabajan más activamente esta agenda que las compañías más maduras.

En este sentido, las empresas multinacionales están más avanzadas que las empresas de capitales nacionales. Por ejemplo, Case New Holland anunció en 2021 el lanzamiento de la cosechadora Serie 250, que cuenta con un sistema de inteligencia artificial a partir del sistema “AFS Harvest Command Automation”. Esta cosechadora cuenta con 16 sensores y una cámara de granos que verifica la calidad de la cosecha y el nivel de impurezas y daños. De este modo, el productor tiene que determinar si prefiere priorizar la calidad de los granos, el desempeño, el rendimiento máximo o el rendimiento fijo, y el sistema realiza la cosecha automáticamente según el modo seleccionado. En la misma línea, en 2017 John Deere adquirió Blue River Technology, la empresa especializada en inteligencia artificial, con el fin de limitar el excesivo uso de herbicidas y otros elementos—están probando un sistema que se llama *see and spray*.

Gráfico 13 Utilización de inteligencia artificial en las empresas de maquinaria agrícola y en diversas etapas del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento a empresas del sector.

Impresoras 3D

Al igual que sucede con las otras tecnologías desarrolladas en este trabajo, en el sector de maquinaria agrícola existe un conocimiento general sobre las características, las ventajas, los costos y el funcionamiento de las impresoras 3D.

El 30% de las empresas utilizan directa o indirectamente, mediante proveedores especializados, impresoras 3D (gráfico 14). Algunas emplean el software NX de Siemens y otras, Solidworks.

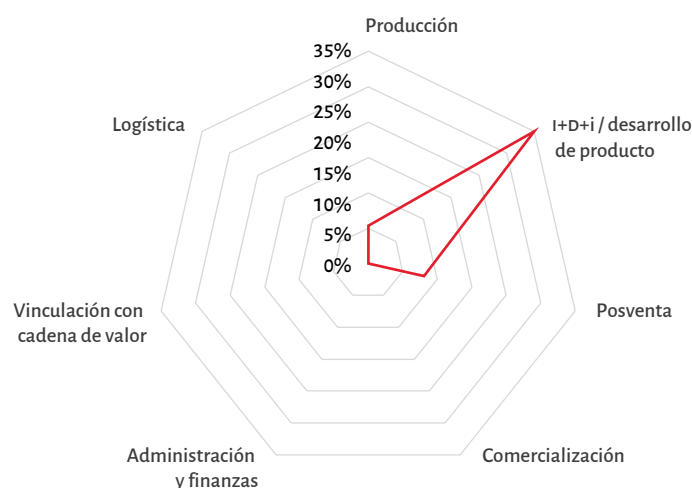
Esta utilización se da principalmente con piezas de plástico para el desarrollo de prototipos o muestras. La ventaja de las impresoras 3D es que facilitan el proceso de elaboración de prototipos de manera más ágil y a costos más bajos que lo que implicaría tener que fabricar la matriz y las partes específicas.

La mayoría de las compañías relevadas no utiliza ni planifica emplear impresoras 3D bajo una escala industrial, y el 5% lo hacen con fines distintos al desarrollo de prototipos o muestras, como puede ser el de repuestos o de fabricar las piezas directamente. Las dos limitaciones para utilizarla de manera industrial son: la velocidad de fabricación y los costos que representaría fabricar a escala masiva.

Las dificultades para avanzar en la utilización de impresoras 3D están dadas por:

- > Los costos que implica tener una impresora 3D industrial y las finalidades muy específicas que llevan a que no sean prioritarias.
- > Falta de impresoras 3D en las localidades donde están las empresas.
- > Desconocimiento de algunos materiales que también pueden ser utilizados para realizar las impresiones 3D. El empleo de estas impresoras en metales no está del todo difundido, a pesar de que el Centro Tecnológico de Manufactura e Industria Digital de Rafaela cuenta con las únicas impresoras industriales de metales –aceros y aluminio– del país. La posibilidad de imprimir en titanio, acero o acero inoxidable permite que la pieza soporte mayores temperaturas, así como lograr una mayor resistencia, que si la pieza fuera hecha con plástico, e incluso se hace una utilización más eficiente de los recursos.

Gráfico 14 Utilización de impresión 3D en las empresas de maquinaria agrícola y en diversas etapas del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento a empresas del sector.

LAS INSTITUCIONES CLAVE EN EL SECTOR

El desempeño del sector de maquinaria agrícola en las últimas décadas no puede escindirse del papel que cumplen los diversos actores que conforman –además de las empresas– el ecosistema de maquinaria agrícola: instituciones públicas, centros tecnológicos privados y empresas de base tecnológica que son proveedores estratégicos.

La conformación de ecosistemas para impulsar el desarrollo de maquinaria agrícola no es reciente. A partir de la década de 1950, coincidente con la industrialización por sustitución de importaciones, la iniciativa pública dio origen a una gran cantidad de instituciones de ciencia y tecnología, entre las que se destacan el INTI, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Comisión Nacional de Energía Atómica. En el plano agropecuario, un hito significativo fue la creación del INTA en 1956, con la explícita intención de achicar la brecha tecnológica dada la tardía reacción local en la adopción de la denominada “revolución verde” (Prebisch, 1956).

A continuación, se presentan las instituciones que apoyan a las empresas del sector categorizadas en tres segmentos: organismos descentralizados, centros tecnológicos y ecosistemas colaborativos de empresas no metalúrgicas.

Organismos descentralizados

Los organismos descentralizados que mayor incidencia tienen en esta agenda son el INTI, el INTA y el CONICET.

El INTI tiene como premisa la innovación, la soberanía y la transferencia tecnológica hacia las pymes nacionales. Dentro de sus funciones se ofrecen servicios industriales tales como asistencia técnica –a partir de laboratorios y profesionales técnicos especializados–, la planificación y supervisión de proyectos, la creación de estrategias y modelos de aplicación de la industria 4.0, el desarrollo de soluciones tecnológicas, la integración de capacidades entre empresas y la formación específica –cursos y capacitaciones.

La estructura interna del INTI no se encuentra dividida sectorialmente, sino que se organiza de manera transversal según la necesidad técnica que deba ser abordada. Para trabajar la agenda de industria 4.0 y transformación digital en maquinaria agrícola intervienen diferentes áreas:

- > El departamento de tecnologías de gestión
- > El departamento de industria 4.0
- > El departamento de mecánica con gran presencia en Rosario, donde se incluye el área de robótica
- > El departamento de electrónica

Respecto de la vinculación entre el INTI y las empresas del sector, las y los directivos entrevistados señalan que se gestiona desde una manera proactiva –desde el INTI hacia las empresas a partir de trabajos de sensibilización y difusión– y reactiva –a partir del contacto inicial de las empresas que se acercan a la institución en busca de un servicio o solución tecnológica.

El departamento de tecnologías de gestión del INTI ha creado una herramienta de diagnóstico que se ejecuta a través de consultores/as especializados para conocer el grado de adopción de métodos de mejora continua y digitalización intrafirma. A partir de allí, se les asigna una puntuación y se realiza un *ranking* para conocer en qué estado de la industria 4.0 se ubican y cuáles son los procesos o las soluciones propuestas para un mayor avance en ese camino.

Uno de los hitos recientes con el sector es la creación del primer laboratorio de maquinaria agrícola de Latinoamérica. El laboratorio fue montado en el Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras a partir de la firma de un convenio de colaboración entre el INTI y la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Este laboratorio permitirá centralizar la mayoría de los ensayos establecidos en la norma IRAM 8076 y los requerimientos tecnológicos de estándares internacionales, así como contar con un sistema de calidad trazable. Asimismo, posibilitará la fabricación y evaluación de prototipos de maquinaria agrícola y establecer líneas de investigación asociadas a la necesidad regional. Al momento que se realizó el relevamiento –enero de 2022– este laboratorio no se había terminado.

El INTI articula con las empresas del sector de maquinaria agrícola en la agenda de la transformación digital, independientemente del estadio donde se encuentre la empresa. El primer paso de la vinculación es la construcción de una red de información de todos los procesos –hasta los no productivos– y el armado de un

diagrama de flujos de procesos. Una vez que todo el flujo de procesos se encuentra estandarizado, puede comenzarse el proceso de digitalización. Este proceso requiere al menos un año de trabajo para la estandarización y otro año para la digitalización.

A lo largo de las entrevistas a expertos/as y a las empresas se resaltó la necesidad de desarrollar capacidades propias dentro de los organismos descentralizados, principalmente en cuestiones vinculadas con las capacidades tecnológicas duras, en reemplazo de las perspectivas más blandas de sensibilización y extensionismo. También advirtieron las dificultades presupuestarias que enfrentan estas instituciones, que en múltiples casos limitan las posibilidades de incorporar personal o equipamiento. Asimismo, se planteó la necesidad de profundizar la coordinación y el entrelazamiento de capacidades entre el INTI, las cámaras, el sector privado y el sector público (recuadro 8).

Recuadro 8 Vínculos recientes entre el INTI y empresas fabricantes de maquinaria agrícola (2021)

La empresa Dolbi S.A. de capitales nacionales ganó el premio CiTA de oro por su cosechadora autopropulsada de algodón HAC 5000. Junto al INTI, la empresa trabajó en la adecuación de esta cosechadora a normas internacionales de seguridad, lo que le permitió obtener el sello de conformidad europea para exportar cosechadoras de algodón, junto a su *know-how*. La empresa comenzó exportando a Paraguay y actualmente lo hace también a Brasil, Uruguay, Venezuela, Kasajistán, Turquía y Sudáfrica. Incluso el instituto redactó un manual técnico de instrucciones para la seguridad del usuario/a traducidos al idioma de destino de exportación para facilitar la entrada en estos mercados.

La empresa Lory Máquinas FAS, única fabricante de cosechadoras de té en serie en el país certificada bajo ISO 9001/2015, tiene una capacidad productiva de 40 cosechadoras anuales. La firma trabaja con componentes nacionales y articuló junto al INTI en el análisis de *layout* para fortalecer las ventas y estandarizar los moldes para soldaduras de piezas de cosechadoras de té y yerba mate. Logró la disminución de tiempos muertos y reducción significativa del descarte de materias primas.

Por su parte, la firma Agrometal S.A., especializada en la fabricación de maquinaria agrícola de siembra de precisión, es asistida técnicamente por el INTI hace más de diez años en diferentes áreas, tales como pruebas de simulación de las maquinarias en condiciones reales de siembra, mejoras en los diseños de los equipos desarrollados y validación de sus prototipos. Además, recibió capacitación en tecnologías de gestión orientada a la mejora continua. Hace décadas que la firma es reconocida en varios países de América Latina, como así también en Mozambique, Italia, España y Bulgaria. En la actualidad están trabajando para ingresar a destinos dentro de Europa del Este y Brasil.

En el segmento frutícola, se destaca el trabajo del INTI junto a la firma Otahala S.A. en el desarrollo de una plataforma de cosecha de uvas y frutas en plantaciones tipo espaldera o parral. Se trabajó en el desarrollo y diseño de este equipo innovador a nivel mundial, cuya aplicación mejora el rendimiento de la mano de obra y reduce costos de producción. Se trata de una plataforma de cosecha asistida que integra el trabajo y automatiza el traslado de forma eficiente. Posibilita una reducción del 40% del costo de la cosecha y aumenta cinco veces la capacidad de trabajo del cosechador. De esta manera, se reduce un 60% el costo por kilo de uva y en dos meses de cosecha se logra amortizar el valor del equipo, cuya vida útil es de más de 15 años. La empresa está proyectando insertar esta plataforma en países de Europa, de América Latina y en los Estados Unidos.

En el segmento de tolvas autodescargables, la empresa Maquinarias Agrícolas Ombú S.A. trabaja junto al INTI hace más de una década en el diseño de nuevos productos, entre los que se realza el cabezal maicero. El equipo tiene una configuración que permite trabajar en cultivos sembrados a diferentes distancias, en sentido transversal, y puede recolectar maíz sembrado en cualquier dirección. También, junto a especialistas

del instituto, implementó técnicas de simulación por elementos finitos—entre ellos en la pulverizadora PAO 3000 y el cabezal maicero 2020—y técnicas de productividad en plantas fabriles, aplicando metodologías de mejora continua, como KAIZEN y 5S.

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por referentes claves.

El INTA es un organismo descentralizado extensionista focalizado exclusivamente en el sector agropecuario, que vincula los avances tecnológicos con las novedades de la academia y las necesidades de las empresas. Este organismo trabaja en torno a diferentes temáticas: producción animal y vegetal, ambiente, desarrollo económico y social—relacionado principalmente a agricultura familiar y alimentos—y desarrollo tecnológico. Las áreas de agroindustria, maquinarias y herramientas agrícolas se encuentran encolumnadas dentro de esta última temática.

Esta institución posee una distribución geográfica federal con 15 centros regionales, seis centros de investigación con 22 institutos dependientes, 53 estaciones experimentales y más de 350 unidades de extensión. Para comprender las áreas de intervención del INTA en la agenda de transformación digital e industria 4.0 en el sector de maquinaria agrícola, se deben comprender la estructura, el funcionamiento y la interdependencia entre sus áreas. Dentro del INTA los recursos se clasifican entre profesionales de gestión interna y profesionales de gestión externa. Estos últimos generan productos tecnológicos y actúan a su vez como extensionistas. Los centros de investigación son regionales, por lo cual existe interdependencia entre ellos. Dentro de cada centro existen estaciones experimentales o institutos, que siguen programas o instrumentos programáticos para tener intervención en los territorios.

En la actualidad existen 13 programas de intervención, de los cuales uno solo gira en torno a maquinaria agrícola e industria 4.0 y se encuentra coordinado desde el INTA Manfredi (Córdoba). Este centro regional no es autocrático, sino que sus acciones se encuentran digitadas por un comité técnico que evalúa las actividades, los productos tecnológicos y resultados. El presupuesto asignado a cada instrumento surge del consejo directivo integrado por actores como la Sociedad Rural Argentina, Federación Agraria Argentina, Confederaciones Rurales Argentinas, Confederación Intercooperativa Agropecuaria Limitada, Consorcio Regional de Experimentación Agrícola y Asociación Universitaria de Educación Agropecuaria Superior (decanos de veterinaria y agronomía). En el último año se ha unificado el presupuesto de agricultura de precisión en industria 4.0 y mecanización de procesos.

El Instituto de Ingeniería Rural del INTA también trabaja con las empresas del sector en la agenda de la industria 4.0 a partir de la mecánica. En el instituto se centralizan las pruebas de funcionamiento e ingeniería del proceso. El organismo cuenta con bancos de ensayo y túneles de viento y se emulan las condiciones de trabajo a las que se encuentran sometidas las maquinarias para optimizar los procedimientos. Si bien este instituto se encuentra localizado en Castelar (Buenos Aires), muchas de las pruebas no se llevan a cabo allí, sino que se traslada la maquinaria al campo para realizarlas en condiciones que imitan el trabajo que efectivamente se desarrollarán.

A partir del relevamiento se identificó que hay una marcada vinculación entre las empresas del sector y el organismo. El inta históricamente ha trabajado de modo activo en la agenda de la sensibilización y difusión y acompañó a las empresas a ferias internacionales para conocer las últimas tecnologías utilizadas a nivel global y pensar en conjunto estrategias para su desarrollo local. En las entrevistas, desde el sector privado se destacó el papel que cumple el inta en su orientación sobre las principales oportunidades o posibilidades y en la realización de encuentros de difusión y sensibilización sobre los avances y tendencias en la maquinaria agrícola a nivel global.

Una de las críticas que surgieron a partir de las entrevistas responde principalmente a problemas de coordinación en las plataformas de innovación territorial (PIT). En dos entrevistas se hizo referencia a que estos programas son los vínculos que promueven el desarrollo territorial entre el INTA, las empresas, las y los tecnólogos y los centros regionales, por lo cual las figuras responsables de coordinar los PIT deben tener conocimiento de la región, conocimientos técnicos específicos, capacidad de liderazgo, saber escuchar las demandas y tener la capacidad resolutoria que la coyuntura demande.

Centros tecnológicos

Junto con los organismos descentralizados, los centros tecnológicos juegan un papel central en la convergencia hacia la industria 4.0 y la agenda de transformación digital. Desde una mirada amplia de oferta tecnológica, se han detectado 31 centros tecnológicos con potencialidad para la transformación digital en la industria de maquinaria agrícola.⁹ El panorama general de esta oferta muestra:

- > 31 de las instituciones públicas y privadas relevadas con oferta tecnológica alcanza alguno de los aspectos de apoyo a la incorporación de tecnologías 4.0 relevantes para el sector de maquinaria agrícola.
- > El 29% de estas son de carácter privado, el 42% público y el 29% restante parte de una iniciativa mixta público-privada.
- > Ninguna de las instituciones actúa simultáneamente en dimensiones de mejora de procesos (71%), desarrollo de producto (87%), mejoras organizativas y de tecnologías de gestión (42%) y transformación de los modelos de negocios (10%), es decir, la oferta de apoyo está compartimentada en distintos actores.
- > La oferta se encuentra distribuida en Santa Fe (32%), CABA (29%), Buenos Aires (19%), Córdoba (7%), Mendoza (7%), Tucumán (3%) y Formosa (3%). La concentración geográfica de los centros tecnológicos se encuentra en un 80% entre Santa Fe, CABA y Buenos Aires. Resulta consonante con la localización del grueso de las empresas del sector.
- > La especificidad de la oferta tecnológica es limitada; solo uno de estos centros tecnológicos se anuncia específicamente orientado a servicios tecnológicos y diseño para la maquinaria agrícola y agro-componentes: Fundación CIDETER.
- > Si bien la orientación hacia el desarrollo empresarial resulta superior a la observada en otras industrias analizadas, el 32% de estas instituciones tiene vinculación directa o una alianza con cámaras empresariales, especialmente la ADIMRA y, en segundo lugar, con la Unión Industrial Argentina (UIA).

La Fundación CIDETER es un centro tecnológico ubicado en la localidad de Las Parejas (Santa Fe) cuya especificidad se encuentra direccionada a la industria de maquinaria agrícola. Es el que mayor incidencia tiene en el sector. Este centro tecnológico se vincula con las empresas de maquinaria agrícola y agropartes a través de diferentes servicios:

- > Capacitaciones en diseño mecánico, simulación y cálculo computacional, industria 4.0, industria metal-mecánica, etcétera.
- > Difusión de nuevas tecnologías y organización de eventos técnicos.

⁹ Véase el Anexo III donde se incluye un listado de oferta de centros de asistencia tecnológica para empresas de perfil metalmeccánico con potencialidad para la transformación digital en el sector de maquinaria agrícola.

- > Servicios de I+D tales como análisis de materiales, desarrollo y fabricación de prototipos, control de calidad de pintura y sistema de pintado, adquisición de datos (DAQ), simulaciones por métodos de elementos finitos, relevamiento dimensional de piezas, optimización de diseños, digitalización 3D en ingeniería inversa, asistencia en selección de materiales, espectrografía y análisis de fallas de piezas, impresión 3D y prototipado de piezas y componentes.

Esta institución también cuenta con fondeo para créditos blandos y subsidios con el fin de apalancar diversos proyectos relacionados con las actividades comprendidas en su régimen de promoción y articula con otras instituciones públicas y privadas como la UTN, la UNR, la Universidad Nacional del Litoral, el CONICET y la Dirección General de Asistencia Técnica.

A partir de las conversaciones entabladas con representantes de la Fundación CIDETER y con empresas que utilizan los servicios de la Fundación, se destacó el rol que cumple la entidad para impulsar el avance de toda la cadena de valor, difundir nuevas tecnologías y articular el trabajo asociativo (recuadro 9). Asimismo, durante las entrevistas se planteó que existe un problema de coordinación y liderazgo en la agenda de la transformación digital con una multiplicidad de instituciones públicas y privadas que trabajan en ella. Se argumenta que la existencia de diversas instituciones descentralizadas y centros tecnológicos que no tienen una coordinación o planificación central produce solapamientos en la agenda y dificulta la generación de escalas.

Recuadro 9 Articulación entre INTI, Siemens y CIDETER

En octubre de 2020 se celebró el convenio de colaboración entre el INTI y la empresa alemana Siemens, cuyo propósito es la realización y organización de cursos, seminarios, talleres, jornadas de actualización y otras actividades formativas de interés común. También se propone la realización de acciones de relevamiento y monitoreo tecnológico del entramado productivo para desarrollar trabajos de investigación, asesoramiento, asistencia técnica y transferencia. En definitiva, el fin es favorecer el acceso a la tecnología por parte de los diferentes actores del entramado productivo, en particular las pymes.

A partir de este convenio, en noviembre de 2021 se realizó en la Fundación CIDETER el taller “Digitalización e industria 4.0 para pymes”. Este seminario de dos días incluyó diagnósticos sobre madurez digital de las empresas participantes del sector, un programa sobre conceptos generales sobre digitalización, eficiencia energética, gestión de máquinas y la presentación de productos y servicios que intervienen en el proceso de transformación digital. Desde la fundación se pretende avanzar en esta línea de acción en 2022 para transmitir a las empresas del sector cuáles son las herramientas de digitalización disponibles y que, si bien son complejas, cuentan con módulos para pymes y permiten la integración de los sistemas de administración, gestión y producción –módulo SAP adaptado a pymes junto al sistema de gestión ERP para todas las etapas del proceso productivo.

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por referentes claves.

Ecosistemas colaborativos de empresas no metalúrgicas

La creciente incorporación de electrónica dentro de los dispositivos de maquinaria agrícola y los avances que genera la transformación digital impulsaron el desarrollo de nuevos actores en el entramado de maquinaria agrícola que no tienen una base metalúrgica, sino de contenido tecnológico. Estos actores toman cada vez

mayor relevancia dentro de este segmento y son indispensables para desarrollar productos que estén en la vanguardia.

Las empresas de base tecnológica que principalmente interesa caracterizar son las Agtech (*agricultural technology*), que se dedican a la digitalización del agro, las innovaciones productivas, el software de control y robotización, las plataformas de comercialización y la industria 4.0.¹⁰ Estas empresas comercializan *displays* de mando electrónico para mapear y monitorear el campo –en etapa de siembra, fertilización y cosecha–, pilotos automáticos y guías satelitales, ecuRows, geolocalizadores GNSS y GPS, soluciones de almacenamiento en la nube para trabajar con *big data*, soluciones de telemetría, sensores –para cosecha, siembra y pulverización–, medidores de rendimiento, medidores ambientales y dosificadores, entre las tecnologías más importantes.

A partir de la información suministrada por las firmas y especialistas de la academia y del sector público y privado, las empresas Agtech son consideradas esenciales para la articulación de la agenda de transformación digital del sector. En el cuadro 3 se hace una breve síntesis de cada una.

Cuadro 3 ¿Quién es quién en el mundo Agtech?

Entidades	Características
Abelardo Cuffia	Es una empresa de Marcos Juárez (Córdoba) fundada en 1990. Se especializa en equipos de agricultura de precisión. Tiene trayectoria en el desarrollo de monitores de siembra y equipos para aplicaciones variables. Los principales productos son pilotos automáticos, guías satelitales, monitores de siembra, dosificadores variables en siembra y fertilización, controladores de pulverización, cortes automáticos y monitores de rendimiento.
Acronex	Se trata de una empresa que desarrolla sistemas de monitoreo y control en tiempo real para que se pueda interpretar lo que sucede en el campo y tomar decisiones inmediatas. Ha desarrollado el software Unimap, que presenta los datos y las alertas desde un <i>smartphone</i> , <i>tablet</i> u otro dispositivo.
Agrohub	Esta firma creó una plataforma que permite que se recupere información sobre la producción de los lotes periurbanos al agilizar las solicitudes y certificar las buenas prácticas con <i>blockchain</i> . El principal objetivo es que se pueda realizar una trazabilidad completa y una gestión transparente de las aplicaciones de fitosanitarios en las áreas periurbanas y sensibles.
Aurovant	La empresa que comenzó en la Argentina y se internacionalizó hacia otros países de la región desarrolló un software que realiza agricultura de precisión y trabaja con múltiples capas de datos. Le permite al usuario/a tener mayor cantidad de herramientas para la toma de decisiones que apunten a mejorar el rendimiento, reducir el uso de insumos y llevar adelante una producción más sostenible.
Caburé	Esta empresa llevó adelante un sistema que brinda información climática y cuenta con más de 600 estaciones meteorológicas en todo el país. Promueve además que se pueda enriquecer el sistema a partir de la información cargada por las y los usuarios tomando fuentes de información de toda la cadena productiva. También permite tener un monitoreo de variables por cultivo, recomendaciones de pulverizaciones y reportes de labores e insumos.
DeepAgro	Se trata de una firma que elaboró un sistema inteligente de detección de malezas para realizar una aplicación selectiva de herbicidas en cada etapa del crecimiento del cultivo de la soja. El dispositivo puede instalarse en cualquier pulverizadora, abriendo y cerrando los picos aplicadores de forma automática en tiempo real.
Geosistemas	Esta empresa es proveedora de soluciones de geoposicionamiento, tecnología geoespacial y sistemas GNSS para agricultura de precisión. Cuenta con soluciones inteligentes para tener un seguimiento de cultivos, ambientación de los suelos, siembra inteligente y guiado automático. Los equipos que proveen son bajo la modalidad "llave en mano".
Leaf Agtronics	Empresa que se dedica al desarrollo de tecnología aplicada a la agricultura de precisión. Los principales productos que fabrica son: monitor de siembra; dosificación variable, que se basa en aplicar los insumos en la cantidad necesaria para maximizar el potencial conservando los recursos naturales; consola plantor, que es un mando a distancia manual de dosis de fertilizantes; y sensores con índices de calidad de siembra.

¹⁰ Para cerrar el círculo del ecosistema se deben considerar las empresas dedicadas a mejoras tecnológicas en la genética de los cultivos. Sin embargo, no se abordará el tema biotecnológico ya que escapa del objeto principal de estudio.

Nanotécnica Agro	Esta firma desarrolló una nueva tecnología de nanoencapsulación, que permite disminuir la cantidad requerida de agroquímicos. Esto significa que le venden al productor una máquina nanotizadora y “cápsulas vacías” para “nanoencapsular” agroquímicos <i>in situ</i> al momento de la aplicación. El objetivo es que se utilice una menor cantidad de producto, se reduzcan los costos y se disminuya el impacto medioambiental.
Plantium	Empresa radicada en Villa Constitución (Santa Fe) que se dedica a la agricultura de precisión hace casi dos décadas. Otorga soluciones para la siembra, cosecha, pulverización y esparcidor. El primer monitor de siembra se elaboró en 2002, el primer monitor de cosecha en 2008, el primer monitor de pulverización en 2009, el primer sistema de piloto automático en 2010 y el primer sistema de monitoreo remoto en 2013, entre otros.
Tracesory	Establecida en Córdoba, la empresa diseñó un sistema que apunta a registrar la trazabilidad de un producto para que las y los consumidores puedan reconocer cuál es su origen y sus diferentes transformaciones a lo largo de la cadena de valor.

Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas a empresas y especialistas.

La interacción entre estas empresas y las fabricantes de maquinaria agrícola toma diferentes formas según las capacidades internas de las fabricantes. En las firmas de mayor tamaño relativo que cuentan con mayor cantidad de ingenieros/as y expertos/as, la relación se establece únicamente desde la provisión del hardware. En estos casos las configuraciones electrónicas de la máquina, el software y la customización se hace de manera interna en la firma. De este modo, la empresa fabricante de la maquinaria entrega el equipo listo para ser utilizado y realiza las pruebas de correcto funcionamiento *in situ*, y los servicios de posventa y mantenimiento se encuentran a cargo de técnicos/as propios de la empresa.

En el caso de las empresas de menor tamaño relativo que poseen menos recursos técnicos, la relación se da bajo una dinámica que se podría caracterizar como de servicio: el fabricante compra el equipamiento y se lo vende a su cliente. La máquina posee un precio base y se le agrega un valor incremental si la o el cliente decide adquirir el paquete tecnológico. La puesta en marcha, capacitación, provisión y servicio técnico no se hace al interior de la firma. La empresa fabricante solo realiza la colocación del hardware y una vez que la maquinaria se encuentra en el campo, se envían a las o los técnicos de la empresa tecnológica para hacer el cableado, la puesta en marcha, la capacitación y las pruebas de campo. El servicio de posventa del paquete tecnológico es provisto por la empresa tecnológica, que es externo al fabricante de la maquinaria.

Esta diferencia se explica a partir de las capacidades tecnológicas que existen en las diversas compañías de maquinaria y de las garantías de parte de las empresas Agtech de que sus dispositivos sean incorporados adecuadamente.

En el relevamiento también se han identificado dos características centrales de la vinculación entre las empresas de maquinaria agrícola y las de base tecnológica contemplando la agenda de la transformación digital. Por un lado, el desarrollo de nuevos dispositivos no necesariamente se da de manera autónoma de parte de la empresa de base tecnológica. Las empresas entrevistadas fabricantes de equipos dijeron mantener un vínculo fluido con las de base tecnológica; sin embargo, menos del 15% de las compañías aseguraron que suelen trabajar articuladamente para encontrar soluciones en conjunto. Por otro lado, el 29% de las empresas fabricantes de equipos hicieron hincapié en que las respuestas ofrecidas por estas empresas de base tecnológica no son *plug and play*. Esto significa que no es posible que dentro de su gama de productos puedan poner a disposición de las y los clientes todos los dispositivos que existen en el mercado, porque no siempre son compatibles o no siempre existen acuerdos entre las compañías.

Recuadro 10 El caso del Grupo Crucianelli y Leaf Agtronics

La empresa John Deere adquirió a mediados de 2021 la empresa de robótica de Silicon Valley Bear Flag Robotics. Esta tendencia a la fusión entre actores no es exclusiva de empresas radicadas en países desarro-

llados. Un caso emblemático de este tipo de vinculación entre empresas metalmeccánicas y tecnológicas en la Argentina es la unión entre el Grupo Crucianelli y Leaf Agtronics. Ubicada en la ciudad de Armstrong (Santa Fe,) Leaf Agtronics nació en 2008 siendo una pequeña empresa dedicada a la aplicación electrónica para la agricultura, que fue desarrollando productos de calidad con gran aceptación por parte de las y los usuarios y la industria de maquinaria agrícola. En 2016 la empresa fue adquirida por el Grupo Crucianelli, por lo que comenzó a experimentar un crecimiento exponencial hasta convertirse en el principal proveedor de agricultura de precisión de la marca líder en sembradoras en la Argentina. Esta situación llevó a que en 2020 la firma se estableciera en el polo industrial de Armstrong y se proyectara un proceso productivo a la altura de la demanda de un mercado que cada vez requiere más tecnología. Actualmente, Leaf Agtronics es proveedora de tecnología para agricultura de precisión para una numerosa cantidad de empresas del *cluster*.

Fuente: Elaboración propia con base en el relevamiento del caso y sitio web de la firma.

Recuadro 11 La industria satelital y el sector de maquinaria agrícola

La Argentina es uno de los países más avanzados en la región en el desarrollo de la industria satelital. En el sector agropecuario la utilización de datos suministrada por satélites recién está dando sus primeros pasos. Así, la información satelital facilita más y mejor conocimiento sobre los suelos y permite que la maquinaria agrícola lleve adelante sus tareas de una manera más eficiente, o incluso sin necesidad de la presencia del conductor. No obstante, a partir de las entrevistas se confirmó que esta vinculación es conocida en todo el entramado productivo, pero todavía cuenta con una baja penetración. Una de las empresas que de a poco interviene en la industria es SpaceSur, firma de capitales nacionales que utiliza satélites argentinos para la generación de información y que tiene a clientes tanto del sector privado como del público. La compañía reconoce las potencialidades existentes para que se asocie la información generada a partir de los satélites con la que capta la maquinaria agrícola (sembradora, pulverizadora, tractores). Si bien en el sector todavía no hay una fuerte relación entre las empresas fabricantes de maquinaria agrícola nacionales y las empresas dedicadas a estos segmentos, el objetivo es avanzar en esta dirección y que el productor tenga cada vez más y mejor información. Esta vinculación permitiría que las y los productores cuenten con información sobre mapas de rendimiento, productividad, contenido de nitrógeno, estimación de quintales por hectárea, índice de vegetación, humedad de los suelos, índice de inundabilidad de determinada zona, entre otras variables. Por su parte, el lanzamiento del “MDQubesAT1 San Martín” en enero de 2022 representa un paso importante en este sentido, dado que este satélite será el primero de la constelación “Libertadores de América”. Este proyecto apunta a mejorar la conexión IoT (internet de las cosas), de la que el sector agropecuario tendría una mayor utilidad, dado que, según manifestaron desde la empresa, permitirá que sensores que hoy no cuentan con conectividad puedan llegar a tenerla.

Actualmente, las principales empresas multinacionales tienen acuerdos con empresas desarrolladoras de software que se encargan de codificar la información generada de manera satelital. Tanto en el sector Agtech como en el de maquinaria agrícola, se reconoce la relevancia de potenciar esta vinculación. John Deere, por ejemplo, fue uno de los pioneros en la utilización de información satelital, al desarrollar en 1998 StarFire Network, que busca promover una precisión en tiempo real a partir de la información satelital. La utilización satelital no solo implica que los equipos puedan moverse de manera autónoma en los campos, sino que sirve para evitar, por ejemplo, que el equipo pase por encima de los cultivos y el proceso sea más eficiente y sencillo.

Otra empresa del entramado Agtech que cuenta con información satelital es Auravant. En este caso, la empresa desarrolló una plataforma que integra todo tipo de soluciones donde cada productor/contratista le puede instalar el plug-in que desea. De este modo, el software trabaja tanto con la información captada

por la maquinaria agrícola como con información satelital, drones y redes meteorológicas. En la entrevista, se advirtió que Aurovant mantiene una vinculación con la mayoría de las empresas fabricantes de maquinaria agrícola para garantizar la compatibilidad y para que cada productor/contratista pueda utilizar el software independientemente de la marca de su equipamiento.

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por referentes claves.

OBSTÁCULOS PARA ACELERAR LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN EL SECTOR

Las dificultades que existen para avanzar hacia la transformación digital en el sector de maquinaria agrícola y agropartes de la Argentina tienen orígenes estructurales que impactan en toda la industria manufacturera y rasgos singulares propios del sector.

Ausencia de conectividad de buena calidad

La ausencia de conectividad impacta doblemente en esta agenda. Por un lado, la conectividad es la piedra angular para poder trabajar en la optimización del proceso productivo, que se sustenta en la toma de datos, almacenamiento, procesamiento y corrección de los desvíos, ya sea en tiempo real o con un rezago temporal. La localización de las fábricas en pequeñas localidades es una limitante, dado que la ausencia de conectividad en toda la planta provoca costos e ineficiencias derivados de paradas inesperadas en la producción o del correcto flujo de información entre los distintos sectores de la compañía. Por otro lado, la falta de conexión de calidad también restringe la posibilidad de aprovechar los datos que capta el equipamiento, debido a la falta de redes de antenas de baja frecuencia y alto alcance que puedan asegurar la conectividad en la vasta extensión cultivable de la Argentina.

Imposibilidad de asegurar la interoperabilidad, la compatibilidad y la comunicación entre dispositivos

La ausencia de compatibilidad se visualiza en dos aspectos. Por una parte, el 42% de las empresas fabricantes de equipos entrevistadas aseguraron que aún existen ítems pendientes que tienden a lograr la compatibilidad entre los equipos. El estándar ISO 11783—comúnmente llamado ISOBUS—permite que empresas de servicios de datos puedan ofrecer sistemas integrados de agricultura de precisión que, además de proveer los datos recogidos por las máquinas, puedan captar otra información como los servicios meteorológicos y los mapas (Bil *et al.*, 2019). Sin embargo, en las entrevistas a las empresas se planteó que las interfaces de este sistema no son del todo amigables, y puede suceder que el equipamiento cumpla con la normativa ISOBUS pero que los equipos no sean compatibles entre sí. Asimismo, se planteó la importancia de que exista un organismo que sea quien “marque el camino” e indique quién está en condiciones y quién no para evitar la existencia de equipos que cumplan con normativas pero que luego resulten incompatibles. Por otra parte, las empresas de menor tamaño relativo cuentan con sistemas operativos entre las distintas áreas que no son compatibles entre sí y limitan el intercambio de información. Esta situación no suele darse en las empresas más grandes que cuentan con más recursos económicos, o en las compañías más jóvenes, dado que desde su creación visualizan este tema. En este sentido, no hay un conocimiento acabado sobre la existencia actual de software enlatado y de posibilidades para desarrollar software propios de modo de resolver estos desafíos.

Falta de estandarización en las piezas y amplia gama de productos

Tanto las y los expertos del sector público y privado como las empresas reconocen que la falta de estandarización limita las posibilidades de la automatización. Las empresas de maquinaria agrícola suelen estar acostumbradas a realizar “trajes a medida” de sus clientes/as según tipos de producto, localización, preferencias, etc. Esta situación no suele darse en los segmentos donde predominan las filiales de empresas multinacionales (John Deere, Agco, Case New Holland) de producción seriada y estandarizada, con mayores grados de automatización.

A lo largo del trabajo se identificaron, por ejemplo, casos de agropartistas que cuentan con una lista de más de 1.500 productos, o de fabricantes de sembradoras que ofrecen cinco tipos distintos de sistemas según las necesidades o gustos de la demanda: mecánico, neumática Monsun, Precision Planting, neumático Mater-macc y neumático Selenium.

La falta de estandarización impacta en las empresas de mayor tamaño y en las de menor tamaño relativo, según se desprende del relevamiento.

En las entrevistas se visualizó que todos los actores del ecosistema son conscientes de este desafío. Incluso existen iniciativas en el INTI que apuntan en un principio a lograr una creciente estandarización. No obstante, una de las mayores dificultades radica en que llevar esta estrategia adelante implica modificar la red de proveedores.

El desafío de la estandarización es aun más complejo para las empresas que fabrican máquinas para segmentos no granarios, porque allí los volúmenes de producción son menores. En las entrevistas se advirtió que las empresas que fabrican en estos segmentos tampoco pueden fabricar la misma máquina para la Argentina y otros países donde exista el mismo cultivo, porque las diferencias climáticas y de superficie hacen que tengan que contar con características disímiles.

Falta de recursos humanos calificados

La ausencia de personal calificado se enmarca en un contexto de significativo aumento que experimentó la producción en 2020 y 2021, y que las empresas agropartistas y fabricantes de maquinaria agrícola están localizadas en pequeñas localidades del interior del país.

Las empresas entrevistadas y las y los expertos encuestados coinciden en el desafío que presenta este obstáculo. Por un lado, se visualiza que en múltiples instancias los operarios no cuentan con todas las herramientas para interpretar la información que la tecnología les ofrece. Por el otro, existe una falta de formación tecnológica de los mandos medios que puedan transmitir su conocimiento y herramientas de gestión hacia los primeros. En este sentido, se destacó la necesidad de contar con más ingenieros/as en electrónica y mecánica.

Este desafío es más apremiante en las empresas de menor tamaño relativo, porque suelen pagar menores salarios que las compañías más grandes de capitales nacionales, como las multinacionales, y por eso tienen mayores dificultades para captarlos y retenerlos.

Prácticas arraigadas difíciles de modificar desde la oferta y la demanda

Las tradiciones y usos y costumbres tienen un significativo peso en el sector desde dos aristas: la demanda y la oferta.

Por un lado, la o el productor agropecuario y el contratista son quienes demandan la maquinaria; y en múltiples instancias la tradición, la historia y los métodos aprendidos de “generación en generación” amortiguan las posibilidades de avanzar, por lo que incorporan otro tipo de equipamientos o aprovechan todas las herramientas que actualmente la tecnología les ofrece. Por el otro lado, las empresas de maquinaria agrícola y agropartes son principalmente pymes de capitales nacionales, y en muchos casos llevan adelante la firma con las familias fundadoras. Esto también limita la posibilidad de modificar las formas de producción, así como de explorar otras formas de trabajo asociativas al querer ocultar sus desarrollos para no ser imitados por la competencia. Este punto, según se visualizó en las entrevistas, está más presente en las compañías de menor tamaño relativo. La situación es distinta en las empresas de mayor tamaño relativo, ya que están más acostumbradas a trabajar de manera asociativa y suelen contar con un *management* distinto de la familia fundadora de la empresa.

Descoordinación y desconocimiento de esfuerzos públicos y privados

El sector de maquinaria agrícola cuenta con una multiplicidad de instituciones públicas y privadas que apuntan a promover su desarrollo tecnológico. Se ha identificado una falta de coordinación de todos los esfuerzos que se llevan adelante desde el ámbito privado y del público. En el mismo sentido, se ha relevado la importancia de lograr una mayor visualización de todos los servicios que se ofrecen, porque en múltiples casos no existe un acabado conocimiento de la oferta que hay en el país para las empresas del sector.

Uso intensivo de la maquinaria y contratación exclusivamente según precio

Las firmas fabricantes de equipos entrevistadas coincidieron en que en la Argentina se realiza un uso intensivo e inadecuado de la maquinaria y que los equipos son forzados a trabajar más horas que en otros países, con lo cual se hace necesario reemplazar las piezas defectuosas constantemente. Esta dinámica es repetida hasta la obsolescencia del bien de capital.

Un aspecto central que explica esta situación es que en la Argentina existe una gran competencia entre los contratistas –o agencias– que venden sus servicios a las y los propietarios de las tierras, y en los presupuestos ofrecidos no incluyen la amortización del capital para ofrecer un servicio a menor precio. De esta manera, la necesidad de tener los precios más competitivos los lleva a no tener un uso más eficiente de los equipos o que puedan contar con maquinaria de vanguardia.

Incertidumbre sobre potenciales beneficios

El 33% de las empresas relevadas invirtieron entre 10 mil y 50 mil dólares en el último proyecto de transformación digital que llevaron adelante. Sin embargo, en su mayoría realizaron estas iniciativas sin tener las herramientas necesarias para poder cuantificar el potencial impacto económico que tendrían esas inversiones. Esta situación se da principalmente en las compañías de menor tamaño relativo, porque al contar con menos estructuras internas, tienen menos posibilidades de visualizar posibles impactos.

POTENCIALES ÁREAS DE INTERVENCIÓN PARA LOGRAR UN MAYOR AVANCE EN LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR

El avance de la agenda de la transformación digital en el entramado productivo en general y de maquinaria agrícola en particular depende de aspectos vinculados con la micro, meso y macroeconomía.

A continuación se plantean algunos lineamientos para pensar herramientas de políticas sectoriales a partir tanto de las entrevistas a las más de 35 empresas y especialistas, como de la revisión de la literatura especializada.

Acceso al financiamiento para impulsar la demanda y realizar inversiones para la oferta

El 75% de las empresas respondieron que el acceso a instrumentos de financiamiento –bancario o aportes no reembolsables (ANR) a través de programas públicos– es una de las principales propuestas para avanzar en esta agenda. En este sentido se propone:

Desarrollar un mercado dinámico que traccione la demanda vía crédito bancario. Los contratistas y productores agropecuarios suelen acudir al crédito bancario para la adquisición de sus equipos, e incluso en determinadas épocas del año los bancos ofrecen líneas específicas para financiarlos. El desarrollo de líneas de financiamiento a tasas competitivas o con subsidios de tasas orientados exclusivamente a la adquisición de bienes nuevos fabricados localmente se torna esencial para impulsar la demanda de equipamiento fabricado en el país.

Desarrollar una estrategia para promover la contratación de servicios satelitales vía entidades bancarias. Las entidades financieras ofrecen seguros, pero no cuentan dentro de su cartera de productos la posibilidad de contratar el servicio satelital. Impulsar la demanda de servicios satelitales permitiría reducir potenciales contingencias ambientales. En este caso, los sujetos de crédito serían las y los productores agropecuarios.

Desarrollar programas de ANR para pequeñas empresas que ya dieron el primer paso hacia la transformación digital. Las empresas pequeñas que cuenten con maquinaria adquirida en la última década necesitarían entre 10 mil y 50 mil dólares para poder trabajar en desarrollos propios que les permitan avanzar en la conexión de la información. El monto debería ser significativamente mayor en las siguientes circunstancias:

- > Si la empresa no cuenta con la maquinaria de punta: en tal caso, además de la inversión en software, faltarían los bienes de capital.
- > Si se pretende trabajar con respuestas enlatadas: en estos casos sí ofrecen opciones por encima de los 50 mil dólares.
- > Si la empresa es mediana o grande: cuenta con más equipamiento, más actores y posiblemente tenga más áreas que conectar dentro de la compañía.

Promover programas de ANR o subsidio de tasas para pymes que impulsen la estandarización de sus equipos o agropartes. La falta de estandarización limita la transformación digital. Resulta imperativo contar con un instrumento que incentive la estandarización de los equipos que fabrican las empresas de maquinaria agrícola y de las mismas agropartistas. Esta iniciativa sería demandada tanto por empresas que fabrican equipos como agropartistas, y también por empresas de diversos tamaños.

Reperflar los instrumentos para que tengan una continuidad más allá de un año en los programas que ofrecen ANR o subsidio de tasas para pymes. Los programas impulsados por el Poder Ejecutivo tienden a tener una duración menor a un año, dado el esquema presupuestario vigente. Un aspecto relevante en la conversación con las empresas es que cada año se presentan a los programas, pero sin que desde el Poder Ejecutivo se considere claramente qué se hizo previamente. En este sentido, se identificó que sería valioso que iniciativas como el PAC cuenten con un escalafón de subprogramas según qué otros capítulos realizaron previamente.

Promover recursos humanos para impulsar la transformación digital

El 66% de las y los empresarios respondieron que superar el déficit en materia de recursos humanos calificados sería una de las principales soluciones para avanzar en esta agenda. La particularidad de este punto para el sector de maquinaria agrícola es que las empresas están localizadas principalmente en pequeños pueblos del interior del país donde no hay universidades o centros especializados, y necesitan que las y los empleados se muden desde sus lugares de residencia hacia las localidades donde están las plantas. En este sentido, se visualizan las siguientes propuestas de políticas:

Impulsar vinculación entre instituciones educativas y empresas. La mayoría de las empresas relevadas no cuentan con un fluido vínculo con las instituciones educativas técnicas de la zona; esto se traduce en que las autoridades/docentes no conozcan ni las tecnologías ni los procesos que hay en las fábricas de la zona. El Ministerio de Desarrollo Productivo y el Ministerio de Educación deberían impulsar iniciativas para que por lo menos las y los docentes visiten las fábricas de maquinaria para que la currícula esté en línea con las demandas de las empresas aledañas. El Ministerio de Desarrollo Productivo, en conjunto con el Ministerio de Educación y la AFIP, debería otorgar un bono fiscal a las compañías que realicen donaciones de equipamiento (computadoras, brazo robótico, etc.) a las escuelas técnicas de la zona.

Desarrollar incentivos para contratación/retención de personal calificado. Las y los empresarios, principalmente de las compañías de menor tamaño relativo, señalaron las dificultades que enfrentan para retener al personal calificado, principalmente operarios/as especializados e ingenieros/as en fabricantes de equipos y agropartes, y de programadores/as en las empresas de Agtech. Esta situación se amortigua parcialmente en las compañías más grandes y en las multinacionales porque suelen pagar mayores salarios. La posibilidad de otorgar incentivos impositivos vinculados con la reducción de contribuciones patronales (F-931) cuando se contrate personal universitario o que tenga determinados estudios específicos permitiría bajar el costo laboral para el empleador/a y que desde la empresa se puedan destinar mayores recursos económicos para retener al personal.

Diseñar programas con beneficios impositivos para empresas que monten centros educativos. En las entrevistas se visualizaron experiencias de empresas de mayor tamaño relativo que tienen talleres específicos de capacitación –independientemente de que sean empleados/as o no–. El Ministerio de Desarrollo Productivo, en conjunto con el Ministerio de Educación y la AFIP, debería otorgar beneficios impositivos para las empresas que destinen recursos y espacios propios para formar personas que no integran la plantilla de la empresa en capacidades vinculadas a la transformación digital.

Diseñar políticas para mejorar la conectividad

Los esfuerzos de política del Ministerio de Desarrollo Productivo, en conjunto con organismos claves como el Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), debería concentrarse en los siguientes puntos para mejorar la conectividad, teniendo presente que uno de los desafíos del sector está radicado en la localización que tienen las empresas:

Otorgar incentivos para que el sector privado impulse inversiones que mejoren la conectividad. Involucrar al sector público para que, a través de bonificación de tasas o ANR, las empresas de maquinaria agrícola puedan realizar inversiones tendientes a mejorar la conectividad en sus fábricas.

Otorgar incentivos para que las autoridades provinciales/locales impulsen inversiones que mejoren la conectividad. Complementar el ítem anterior para que sean las autoridades provinciales/locales las que, accediendo a líneas de crédito/*leasing*, puedan realizar las obras o adquisición de equipamiento tendiente a garantizar el acceso de calidad en sus zonas de influencia. Esta agenda también requiere de una activa intervención por parte del ENACOM, dado que esta institución tiene como uno de sus lineamientos centrales el de promover la universalización de la inclusión digital, principalmente en las economías regionales.

Articular con CONAE y empresas satelitales. Las empresas y especialistas reconocieron que no toda la información que los equipos de maquinaria agrícola generan es utilizada, debido a la falta de conectividad que hay en los campos. La articulación entre el Ministerio de Desarrollo Productivo y la CONAE debería desarrollar respuestas para que las y los productores agropecuarios puedan contratar servicios de conectividad independientemente de su localización. La vinculación entre el entramado de maquinaria agrícola y las empresas especializadas en la implementación de soluciones geoespaciales permitiría dotar a los equipos de conectividad, y que la misma maquinaria cuente a través del IoT satelital con un equipo de datos para compartir determinada información.

Ordenar e impulsar la coordinación de los esfuerzos públicos y privados

Las empresas relevadas reconocieron que se realizan esfuerzos desde el sector público y privado, pero que existe en múltiples instancias un solapamiento entre lo que realizan el INTI, el INTA y las entidades como la Fundación CIDETER, entre otras. El Ministerio de Desarrollo Productivo podría contribuir a ordenar las prioridades y coordinar todas las entidades.

Visibilizar la oferta de servicios tecnológicos innovadores

La diversidad de servicios tecnológicos innovadores que se ofrecen son un activo para el sector, sin embargo, se percibe un desconocimiento de toda la oferta existente. Lograr una mayor visibilización integrando todos los servicios en una única plataforma contribuiría a reducir la falta de información.

Promover esfuerzos de I+D interna

Las empresas relevadas señalaron que hay programas, como el bono de crédito fiscal para fabricantes de bienes de capital, que otorgan un adicional por inversiones externas que realiza la empresa. La opción de contemplar dentro de este ítem los esfuerzos de I+D internos de la empresa crearía más incentivos para que inviertan en la transformación digital. Esto serviría para las empresas fabricantes de equipamiento que son

las que masivamente cobran el bono de crédito fiscal. No todas las empresas agropartistas lo pueden solicitar, ya que no necesariamente fabrican bienes considerados como bienes de capital.

Diseñar una hoja de ruta y visibilización de mapa de actores

Las empresas de menor tamaño relativo destacaron la importancia de contar con una hoja de ruta que funcione a modo de *checklist* para entender de qué manera les conviene avanzar en la transformación digital. En el mismo sentido, esto debería complementarse con:

- > Mapa sobre las firmas que ofrecen las distintas soluciones para impulsar ese camino.
- > Acompañamiento de un consultor/a experto para que les recomiende qué alternativa les conviene elegir según el estadio en el que se encuentran.
- > Acompañamiento de un consultor/a en la implementación de ese proyecto, a partir de un enlatado o desarrollo propio.

En las entrevistas se visualizó que esto sería demandado principalmente por las empresas más pequeñas o aquellas compañías que están en localidades más chicas, donde la información no está tan disponible o no hay tantos expertos/as en el territorio.

Diseñar un programa de buenas prácticas agropecuarias para impulsar la demanda de equipos de maquinaria agrícola de frontera

La provincia de Córdoba aprobó la Ley de Buenas Prácticas Agropecuarias (Ley N° 10.663), que genera incentivos económicos para las y los productores que impulsen prácticas más amigables con el medio ambiente. Esta iniciativa se traduce en que para cumplir con el programa las y los productores demanden equipos de última tecnología o incorporen servicios del mundo Agtech. Replicar este esquema en otras provincias y dotarlas de mayores incentivos según el impacto que cada tecnología tiene en el medio ambiente impulsaría la demanda de equipos de vanguardia. Esta política también contribuiría al cuidado del medio ambiente porque los equipos más modernos son más eficientes en la utilización de herbicidas, pesticidas, etcétera.

Promover los ensayos de seguridad

Las firmas y funcionarios/as entrevistados/as señalaron que el INTI viene trabajando en la creación de laboratorios para desarrollar dos nuevos tipos de ensayos (barras cardánicas y de vuelvo). Sin embargo, en las entrevistas se visualizó la necesidad de impulsar ensayos de seguridad en laboratorios que permitan evaluar si un producto está para salir al mercado, por su nivel de calidad y de seguridad. Esto permitiría desarrollar y mejorar los bienes y minimizar las etapas de prueba-error que se suelen dar.

BIBLIOGRAFÍA

- ADIMRA-CAFMA (2021). Jornadas de Innovación Tecnológica.
- ALBORNOZ, I., BISANG, R. Y ANLLÓ, G. (2010). "La cadena de valor de la maquinaria agrícola argentina: estructura y evolución del sector a la salida de la convertibilidad", Documentos de Proyectos, LC/BUE/W.47, mayo, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- ALBUKHITAN, S. (2020). "Developing digital transformation strategy for manufacturing", *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 664-671.
- ANDREONI, A., CHANG, H. J. Y LABRUNIE, M. (2021). "Natura non facit saltus: Challenges and opportunities for digital industrialisation across developing countries", *The European Journal of Development Research*, vol. 33, N° 2, pp. 330-370.
- ANLLÓ, G., BISANG, R. Y CAMPI, M. (2015). *Políticas tecnológicas para la innovación: la producción agrícola argentina*, julio, Santiago de Chile, CIEPLAN.
- ANLLÓ, G., BISANG, R. Y SALVATIERRA, G. (EDS.) (2010). "Cambios estructurales en las actividades agropecuarias. De lo primario a las cadenas globales de valor", Documentos de Proyectos, LC/BUE/W.50, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- BALDWIN, R. E. (2012). "Global supply chains: why they emerged, why they matter, and where they are going", CEPR Discussion Papers 9103.
- BCG (2015). "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", The Boston Consulting Group.
- BERNAT, G. (2020). "Contenido tecnológico de las exportaciones argentinas: ¿un dólar de soja reporta más I+D+i que un dólar de autos?", Informe Técnico N° 13, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, CIECTI.
- BID (BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO) Y TECNALIA (2021). "Metodología de *digital innovation hubs* (DIHs) en América Latina y el Caribe", julio, mimeo.
- BIL, D., LAVARELLO, P., LANGARD, F. Y VIDOSA, R. (2019). "Reconfiguración del oligopolio mundial y cambio tecnológico frente a la agricultura 4.0: implicancias para la trayectoria de la maquinaria agrícola en Argentina", *Ciclos*, vol. xxvi, N° 53.
- BRAGACHINI, M. (2006). "Mecanización agrícola en Argentina. Presente y futuro. Innovaciones tecnológicas previsibles", Documento de Trabajo, Córdoba, INTA EEA Manfredi.
- BRAGACHINI, M. (2012). "Análisis de situación del mercado de la maquinaria agrícola y agropartes de Argentina", Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación e INTA.
- BRAGACHINI, M. (2014). "Innovaciones y tendencias de la maquinaria agrícola y agropartes", Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación e INTA.
- BRAGACHINI, M. Y USTARROZ, F. (2017). "Evolución del sistema productivo agropecuario argentino", Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación e INTA.
- BRIEVA, S. Y CARROZA, T. (2020). "Políticas de CTI en el agro y los procesos de instrumentación: (re)pensando el papel de la planificación estratégica", *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, N° 17.
- BRIXNER, C., ISAAK, P., MOCHI, S., OZONO, M., SUAREZ, D. Y YOGUEL, G. (2020). "Back to the future. Is industry 4.0 a new techno-organizational paradigm? Implications for Latin American countries", *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, N° 7, pp. 705-719.
- CAFMA (CÁMARA ARGENTINA FABRICANTE DE MAQUINARIA AGRÍCOLA) (2020). "La industria de maquinaria agrícola argentina. Estructura, evolución 2002-2019 y perspectivas".
- CARRERAS, E., MARÍN, A. Y STURBIN, L. (2020). "Estrategias, capacidades y desafíos diversos para exportar bienes diferenciados del sector de agroalimentos en América Latina y el Caribe: reflexiones en base a un grupo selecto de casos de éxito de Argentina", CONICET-CENIT.
- CASALET, M. (2018). "La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa", Estudios de Casos, Documentos de Proyectos, LC/TS.2018/95, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- CORIAT, B. (1992). *El taller y el robot: ensayos sobre el fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica*, México, Siglo XXI Editores.
- DOSI, G. Y NELSON, R. R. (1994). "An introduction to evolutionary theories in economics", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 4, N° 3, pp. 153-172.

- ERBES, A., GUTMAN, G., LAVARELLO, P. Y ROBERT, V. (2019). "Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe", Documentos de Proyectos, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- EUROPEAN PARLIAMENT (2016), "Industry 4.0", Bruselas, European Parliament's Committee on Industry, Research and Energy (ITRE), Policy Department A: Economic and Scientific Policy.
- FUNDACIÓN MEDITERRÁNEA-IERAL (2019). "Relevamiento estructural del sector de maquinaria agrícola y agropartes", Documento de Trabajo.
- FUNDACIÓN MEDITERRÁNEA-IERAL (2021). "Relevamiento estructural del sector de fabricantes de maquinaria agrícola y agropartes en la provincia de Buenos Aires", Documento de Trabajo.
- GALINDO-RUEDA, F. Y VERGER, F. (2016). "OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity", Working Papers, N° 2016/04, París, OCDE.
- GÓMEZ, M. C. Y BORRASTERO, C. (2018). "Innovación tecnológica y desigualdad productiva y laboral en las empresas manufactureras argentinas", *Desarrollo y Sociedad*, vol. 81, pp. 211-254.
- GONZÁLEZ MARTÍNEZ, J. (2003). "La producción en serie y la producción flexible: principios, técnicas organizacionales y fundamentos del cambio", UAM Azcapotzalco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Economía.
- HYBEL, D. (2006). "Cambios en el complejo productivo de maquinarias agrícolas 1992-2004: desafíos de un sector estratégico para la recuperación de las capacidades metalmeccánicas", INTI Documentos de Trabajo.
- HYBEL, D. (2011). "Plan estratégico industrial-Argentina 2020: Sector Maquinarias Agrícolas", INTI Documentos de Trabajo.
- JAVOID, M. Y HALEEM, A. (2019). "Industry 4.0 applications in medical field: a brief review", *Current Medicine Research and Practice*, vol. 9, N° 3, pp. 102-109.
- KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A. Y WAHLSTER, W. (2013). "Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0, Securing the future of German manufacturing industry", final report of the Industrie 4.0, Berlín, Forschungsunion.
- KOSACOFF, B., COATZ, D. Y GRASSO, F. (2015). *Recuperación, freno y desafíos para el desarrollo en el siglo XXI*, Buenos Aires, Edicon.
- LANGARD, F. (2014). "Consolidación de cadenas globales de valor y desarrollo de clusters locales: el caso de la maquinaria agrícola en Argentina", tesis doctoral, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata.
- LANGARD, F. (2016). "Producción de maquinaria agrícola en Argentina: análisis comparado de las dinámicas de los conglomerados nacionales y de las cadenas globales de valor", *Trabajo y Sociedad*, vol. 27, pp. 405-423.
- LASI, H., FETTKE, P., KEMPER, H. G., FELD, T. Y HOFFMANN, M. (2014). "Industry 4.0", *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, N° 4, pp. 239-242.
- LAVARELLO, P. (2009). "Maquinaria Agrícola", Programa de Fortalecimiento Institucional de la Secretaría de Política Económica, Préstamo BID 1575/OC-AR, Buenos Aires, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas.
- LAVARELLO, P., GOLDSTEIN, E. Y HECKER, J. (2009). "Inserción Internacional, trayectorias heterogéneas y políticas horizontales: el caso de la Industria de Maquinaria Agrícola Argentina. Lineamientos para un cambio estructural de la economía argentina", *Desafíos del Bicentenario*, Buenos Aires, Ministerio de Economía y Obras Públicas.
- LEE, K., WONG, C. Y., INTARAKUMNERD, P. Y LIMAPORNVANICH, C. (2020). "Is the Fourth Industrial Revolution a window of opportunity for upgrading or reinforcing the middle-income trap? Asian model of development in Southeast Asia", *Journal of Economic Policy Reform*, vol. 23, N° 4, pp. 408-425.
- LÓDOLA, A. (2008). "Contratistas, cambios tecnológicos y organizacionales en el agro argentino", Documentos de Proyectos, LC/BUE/W.24, Oficina de Buenos Aires, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- LUNDVALL, B. A. (1985). "Product innovation and user-producer interaction", *The Learning Economy and the Economics of Hope*, vol. 19, pp. 19-60.
- MARÍN, A. Y PÉREZ, C. (2015). "Cambio tecnológico y desarrollo sustentable", Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe, CONICET.
- MINISTERIO DE HACIENDA Y FINANZAS PÚBLICAS DE LA NACIÓN (2016). "Informes de cadenas de valor. Maquinaria agrícola", año 1, N° 8, julio, Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo.
- MINISTERIO DE HACIENDA Y FINANZAS PÚBLICAS DE LA NACIÓN (2019). "Informes de cadenas de valor. Maquinaria agrícola", Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo.

- MIT (2014). "The Nine Elements of Digital Transformation". Disponible en <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>.
- MOCHI, S. (2020). "Políticas de innovación y capacidades tecnológicas en empresas argentinas de maquinaria agrícola", *Realidad Económica*, N° 330, año 49.
- MOTTA, J., MORERO, H. Y ASCÚA, R. (2019). "Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina", Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/93), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- NAVARRO, J. C. (2018). "El imperativo de la transformación digital. Una agenda del BID para la ciencia y la innovación empresarial en la nueva revolución industrial", Banco Interamericano de Desarrollo.
- PÉREZ GONZÁLEZ, D., SOLANA-GONZÁLEZ, P. Y TRIGUEROS PRECIADO, S. (2018), "Economía del dato y transformación digital en pymes industriales: retos y oportunidades", *Economía Industrial*, vol. 409, pp. 37-45.
- PREBISCH, R. (1956). "Informe preliminar acerca de la situación económica de Argentina", *El Trimestre Económico*, vol. 23, N° 89(1), pp. 1-41.
- RAPP, C. (2007). "Desarrollo de Maquinaria Agrícola de Alta Complejidad", presentación en el Consejo Federal de Inversiones.
- REISCHAUER, G. (2018). "Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize systemic innovation in manufacturing", *Academy of Management Proceedings*, vol. 2018, N° 1, agosto.
- RUIZ, F. J. A., CARO, E. M. Y NAVARRO, J. G. C. (2018). "La transformación digital de los sistemas lean a través de la industria 4.0: un caso práctico", *Economía Industrial*, vol. 409, pp. 25-35.
- SACCHI, M. Y VIGIL, J. (2018). "Política económica regional e impactos sociales: el caso de la maquinaria agrícola argentina", Universidad de Medellín.
- SCHWAB, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*, Barcelona, Debate.
- SKILTON, M. Y HOVSEPIAN, F. (2018). *The 4th industrial revolution. Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business*, Springer Nature.
- STURBIN, L., ABUHAMAD, G. Y BRAGA, C. (2021). "Inteligencia artificial: donde el agro argentino necesita abrirse campo", Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- SUAZNÁBAR, C. Y HENRÍQUEZ, P. (2020). "Transformación digital empresarial: ¿cómo nivelar la cancha?", Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Disponible en DOI: 10.18235/0002692.
- UNIÓN INDUSTRIAL ARGENTINA (UIA), BANCO DE INVERSIÓN Y COMERCIO EXTERIOR (BICE) Y BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID) (2017). "Desafíos para el financiamiento PYME".
- UNIÓN INDUSTRIAL ARGENTINA (UIA), CENTRO DE IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA EQUIDAD Y EL CRECIMIENTO (CIPPEC) Y BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID) (2019). "Travesía 4.0. Hacia la transformación industrial argentina".
- UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (2019). "Industrial Development Report 2020. Industrializing in the digital age", Vienna.
- VON HIPPEL, E. (2009). "Democratizing innovation: the evolving phenomenon of user innovation", *International Journal of Innovation Science*, vol. 1, N° 1, pp. 29-40.
- WINTER, S. G. Y NELSON, R. R. (1982). "An evolutionary theory of economic change", University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship.

////////////////////

Capítulo 4

La transformación digital en el sector de procesamiento de productos lácteos

Ricardo Cravero, Mario Garrapa y Roxana Páez

INTRODUCCIÓN

Los nuevos desarrollos tecnológicos y la creciente conectividad e interacción que existe entre los entornos y los dispositivos digitales relacionados a través de internet, están reconfigurando el mundo de la producción y los negocios. Se trata de una verdadera revolución, cuyos cambios afectan no solo los modos de producción, sino también los hábitos de consumo y las formas bajo las cuales las y los consumidores interactúan con las empresas. Para que las empresas puedan aprovechar las oportunidades que ofrece este nuevo paradigma, no alcanza solo con la voluntad individual, se requiere también el despliegue de políticas públicas activas que faciliten el tránsito hacia la transformación digital.

El presente capítulo centra su análisis en el eslabón industrial de la cadena láctea argentina, un entramado compuesto por unas 670 empresas que dan empleo a casi 70.000 personas a lo largo y ancho del país. El propósito del estudio es analizar y caracterizar el proceso de transformación digital que atraviesa el sector, sus singularidades y atributos distintivos. Se aspira con este trabajo poder aportar elementos para la implementación de iniciativas, programas y otras políticas públicas tendientes a fomentar y apoyar la digitalización de las empresas lácteas, especialmente en el segmento pyme.

El capítulo se organiza de la siguiente manera. Primero se desarrolla una caracterización general de la cadena de valor láctea argentina (CVLA), junto a su evolución reciente y las perspectivas sectoriales futuras. Seguido a ello, se presentan las principales características que asume el proceso de transformación digital en las empresas industriales de esta cadena, incluso información sobre la experiencia internacional y antecedentes sobre la trayectoria tecnológica relevada en empresas nacionales. Luego se esbozan los principales resultados de una encuesta instrumentada sobre una muestra de casi 200 empresas lácteas de la Argentina, donde se indagaron cuestiones relacionadas con el grado de inserción actual y el futuro de las tecnologías 4.0. A continuación se resumen las capacidades de ciencia y tecnología (cyT) que existen a nivel nacional para asistir a las empresas en el proceso de digitalización, y los principales obstáculos y restricciones que atraviesan las firmas en el camino. Finalmente, se comparten las principales conclusiones de este estudio y se enumera un conjunto de recomendaciones y propuestas para el diseño de una política tecnológica sectorial.

EL COMPLEJO LÁCTEO EN EL CONTEXTO NACIONAL

El sector lácteo representa uno de los eslabones agroindustriales de mayor relevancia y dinamismo de la economía nacional. Se ubica en la quinta posición dentro de las 31 cadenas que integran el sector agroalimentario argentino, con una participación del 1% en el valor agregado de la economía doméstica (MACyP, 2019).

La distribución territorial de la actividad y su carácter de capital y mano de obra intensiva convierten a este sector en un motor fundamental para el desarrollo y el despegue de las economías regionales. Actualmente la cadena se encuentra integrada por unos 10.400 tambos y alrededor de 670 usinas lácteas, que dan empleo directo e indirecto a más de 180.000 personas a lo largo y ancho del país.

Estos datos exhiben la importancia que tiene la lechería sobre la matriz productiva nacional, algo que se hace aun más evidente en las economías provinciales que reúnen la mayor parte de esta actividad, tales los casos de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba.

Desde la perspectiva de la producción primaria de leche, el sector transita desde hace aproximadamente 20 años un proceso, con altibajos, de estancamiento global. Los niveles productivos de 2020 son apenas superiores a los registros de los años 1999-2000, concentrados en una menor cantidad de tambos, lo cual da cuenta de un proceso de estancamiento sectorial de largo plazo.

Desde la perspectiva industrial, se trata de un sector muy heterogéneo, compuesto por muchas empresas de diferentes tamaños, orientaciones productivas y actividad exportadora. Con un valor bruto de producción (VBP) de 8.500 millones de dólares, representa el 5% del VBP de la industria manufacturera nacional y aporta un volumen exportable superior a los 1.100 millones de dólares anuales.

Respecto de la comercialización, la Argentina es un país de extensa tradición en el consumo de productos lácteos y niveles de ingesta por habitante comparables con los datos relevados en países desarrollados. El alto peso del mercado interno como destino para la producción láctea nacional –que representa el 74,7% (OCLA, 2020)–, con un nivel de producción primaria relativamente estable, restringe los saldos exportables, y ello condiciona las posibilidades de una mayor inserción de la lechería nacional en el mercado global de productos lácteos.

Mirando hacia delante, las condiciones agroecológicas del país permiten proyectar una lechería nacional competitiva, de mayor escala y más eficiente. Alcanzar estos objetivos demandará soluciones y respuestas para afrontar los problemas y desafíos estructurales que atraviesa el sector, los cuales responden no solo a contingencias climáticas y a los movimientos pendulares de los ciclos políticos argentinos, sino también a la falta de inversiones en capital productivo, los bajos niveles de eficiencia, los problemas de infraestructura, las deficiencias en las condiciones laborales en los tambos, entre otros.

Estructura general de la cadena

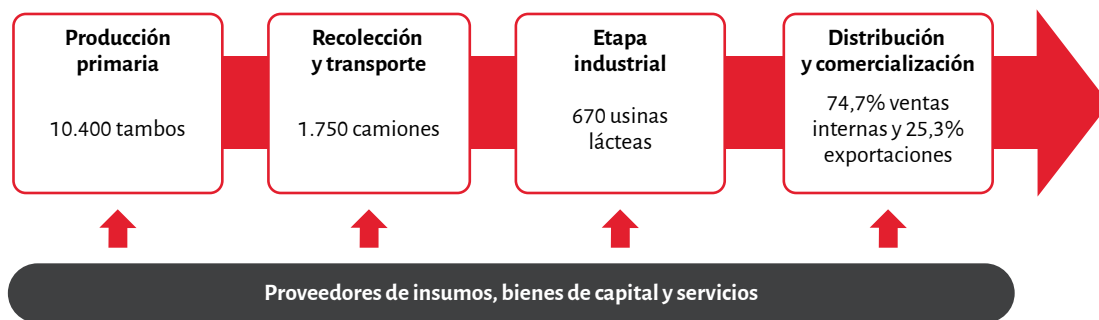
En la Argentina, la cadena láctea se compone casi en su totalidad de leche de origen bovino y sus productos, siendo marginal la participación de leches de otras especies (oveja, cabra, búfala). El carácter altamente perecedero de la materia prima y de algunos de los productos elaborados, las distancias entre los centros de producción y de consumo, la creciente incorporación de infraestructura de transporte y logística, los procesos productivos diferenciados según líneas de productos y las heterogeneidades en sus estructuras económicas primarias, industriales y comerciales constituyen características distintivas que condicionan la dinámica sectorial y la articulación entre agentes participantes en las diferentes etapas (Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo, 2016).

La estructura general de la cadena láctea se compone de tres grandes eslabones: la producción primaria que se realiza en los tambos, la industrialización de la producción primaria en las usinas lácteas y las actividades de distribución y comercialización (figura 1). Cabe mencionar que los aspectos de transporte y logísticos cobran especial relevancia, tanto en la distribución final como en la intermedia –desde el tambo a la industria– por el carácter perecedero de los productos, por las distancias recorridas y por su rol en la canasta de consumo dentro del mercado local.

Empleo de la cadena

Según datos de la Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de la Argentina (FADA, 2020), con 187.000 puestos de trabajo directos e indirectos, la cadena láctea aporta el 5% del empleo en el sector agroindustrial. El estudio de FADA –con base en estadísticas del Sistema Integrado Previsional Argentino (SIPA), la

Figura 1 Estructura de la cadena láctea en la Argentina (2020)



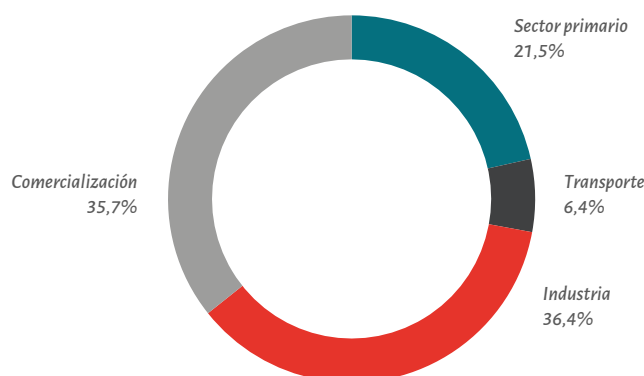
Nota: Los valores de la producción primaria, la recolección y el transporte y la etapa industrial son aproximados.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (OCLA), Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGYP).

Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT), el MAGYP, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) y el Ministerio de Transporte— revela que se generan más de 3,7 millones de puestos de trabajo desde las cadenas agroindustriales de todo el país, entre los cuales la cadena láctea ocupa el sexto lugar, detrás del segmento frutas, verduras, hortalizas y legumbres; carne vacuna; soja; trigo y maíz.

La etapa primaria representa el 21,5% del empleo total de la cadena (gráfico 1), en la cual se considera la cría de bovinos en cabañas, la producción de leche y los servicios pecuarios propios de la actividad, que alcanzan en total 40.136 puestos de trabajo. La producción industrial, con una generación de 68.040 puestos de trabajo, aporta el 36,4% del empleo total de la cadena. Entre las actividades industriales que integran este eslabón, la fabricación de quesos es el segmento de actividad que requiere mayor cantidad de personal respecto de las demás actividades industriales. La comercialización representó en 2018 el 35,7% del empleo, con 49.526 empleos en el canal minorista y 17.227 en el formato mayorista. Por otra parte, el transporte aportó el 6,4% restante para completar la estructura de ocupación sectorial, con 12.032 puestos de trabajo estimados a partir de la información disponible.

Gráfico 1 Distribución del empleo por eslabones (2018)



Fuente: FADA (2020).

Establecimientos primarios de producción de leche (tambos)

La configuración de la estructura primaria de producción de leche presenta una elevada heterogeneidad, tanto a nivel intersectorial como interregional.

Según los datos del Servicio Nacional de Sanidad Animal (2021), existen en el país un total de 10.446 tambos, con una existencia de 1.576.578 cabezas de bovinos lecheros. El listado por provincias es encabezado por Santa Fe con 3.560 unidades productivas en actividad, con la particularidad de que sus explotaciones en su mayoría son pequeñas y medianas. Le siguen Córdoba con 3.059 tambos, Buenos Aires con 2.177 y Entre Ríos con 804 establecimientos.

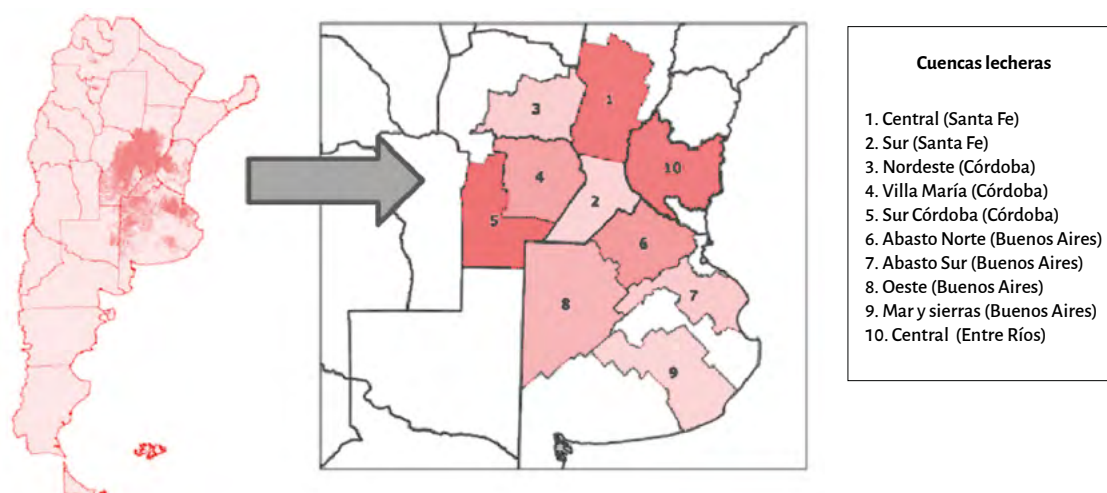
En cuanto a la cantidad de vacas en ordeño, el *ranking* es liderado por Córdoba con 507.283 cabezas, seguido por Santa Fe con 498.604, Buenos Aires con 414.146 y Entre Ríos con 81.062 (cuadro 1). En la figura 2 se muestra la distribución geográfica de las cuencas de producción lechera.

Cuadro 1 Ranking de tambos de la Argentina (2021)

Provincia	Unidades productivas	Vacas en ordeño	Millones de litros anuales	Producción de unidades productivas (litros/día)
Santa Fe	3.560	498.604	3.590	2.755
Córdoba	3.059	507.283	3.729	3.330
Buenos Aires	2.177	414.146	3.106	3.898
Entre Ríos	804	81.062	494	1.680
Misiones	246	2.519	13	149
Santiago del Estero	213	27.874	160	2.056
La Pampa	159	24.146	129	2.216
Salta	58	7.103	42	1.974
Tucumán	57	4.226	22	1.063
San Luis	55	4.517	25	1.226
Resto	58	5.044	25	868

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SENASA y OCLA (2021).

Figura 2 Distribución territorial de los tambos y las cuencas lecheras



Fuente: Elaboración propia con base en SENASA (2015) e INTA (2019).

Según los datos del OCLA, en 2020 la producción nacional de leche alcanzó los 11.113 millones de litros. Se estima que a lo largo de 2021 la producción superó los 11.550 millones de litros, cifra récord para la producción láctea nacional.

En consonancia con una tendencia global, existe un proceso de creciente concentración en los registros anuales de producción y en la cantidad de establecimientos activos. En la Argentina existe una pérdida de pequeños productores de leche que oscila entre el 2% y 3% anual,¹ en tanto que la producción total se acrecienta a razón de 3% por año, con una mayor incidencia de las unidades de mayor escala.

Si se realiza una estratificación de tambos según los volúmenes producidos, se observa que unos 400 tambos generan aproximadamente el 24% de la leche de vaca que se produce en todo el país, a un promedio de más de 10.000 litros diarios por establecimiento. Al mismo tiempo, poco más de la mitad de los tambos en funcionamiento—unos 5.300 establecimientos— producen el 16%, con un aporte diario en torno de los 2.000 litros o menos.

Cuadro 2 Estratificación de tambos según litros de leche diarios

Estrato de producción	Enero de 2021		Acumulado		Producción del tambo (litros/día)
	Porcentaje de tambos	Porcentaje de producción	Porcentaje de tambos	Porcentaje de producción	
< 1.000 l/día	26,6%	4,7%	26,6%	4,7%	538
1.000/2.000 l/día	24,0%	12,0%	50,5%	16,6%	1.532
2.000/4.000 l/día	18,1%	15,1%	68,6%	31,7%	2.555
3.000/4.000 l/día	10,5%	12,2%	79,2%	43,9%	3.557
4.000/6.000 l/día	10,4%	17,0%	89,6%	60,9%	5.008
6.000/10.000 l/día	6,6%	16,6%	96,2%	77,6%	7.729
> 10.000 l/día	3,8%	22,4%	100%	100%	17.914

Fuente: Sistema Integrado de Gestión de la Lechería Argentina (SIGLeA).

Entre 2019 y 2021, los tambos de mayor dimensión—más de 10.000 litros de producción diaria— han incrementado casi 5 puntos porcentuales (p.p.) su participación en la producción nacional y sus niveles de producción diaria promedio subieron de 15.932 a 17.914 litros (+12,4%).

La contracara de este proceso es el paulatino descenso en la participación de los tambos más pequeños—menos de 2.000 litros—, tanto en la cantidad de unidades productivas como en la producción total. Si se considera el período 2019-2021, los establecimientos de menor escala han caído 6,6 p.p. dentro de la estructura sectorial, con una merma de 5,8 p.p. en el volumen de producción total nacional y un aumento de los niveles medios de producción diaria de apenas 2,4% en dos años—pasó de 1.231 litros en 2019 a 1.260 litros en 2021 (cuadro 3).

Cuadro 3 Análisis comparativo de tambos, según estrato diario de producción

Año	Tambos - 10.000 litros/día		Tambos + 10.000 litros/día	
	Porcentaje de tambos	Porcentaje de producción	Porcentaje de tambos	Porcentaje de producción
Enero de 2019	57,1%	22,4%	2,8%	17,5%

¹ Este indicador se encuentra por debajo de la tasa media registrada en los principales países productores de leche del mundo, donde se observan tasas de reducción anual de tambos por encima del 4% anual. Fuente: World Dairy Situation de la Federación Internacional de Lechería, 2019 (FIL/IDF).

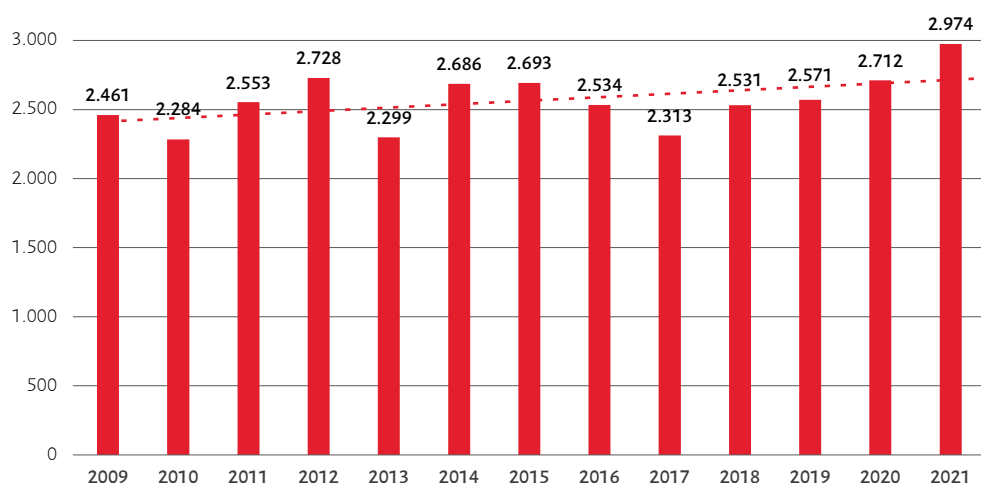
Enero de 2020	55,8%	19,8%	3,0%	19,5%
Enero de 2021	50,5%	16,6%	3,8%	22,4%

Fuente: SIGLEA.

Si se toma de base la producción mensual y la cantidad anual de tambos (SENASA), el tamaño promedio de las explotaciones tamberas en la Argentina –estimado para el mes de enero de 2021– alcanza aproximadamente los 2.970 litros de leche diarios, con un crecimiento de casi 10 p.p. en la comparación interanual.

Si se analiza este indicador en retrospectiva reciente, se observa una tasa de crecimiento en los valores medios de producción diaria de leche por tambo del orden a 3,13% anual en el período 2009-2021. Es decir, incluso en un escenario de disminución en el número de unidades productivas y en los rodeos lecheros, es posible observar una tendencia creciente en los registros medios de producción lechera nacional por establecimiento tambero, lo cual permite sostener los niveles de producción agregados en el país (gráfico 2).

Gráfico 2 Producción diaria promedio en tambos
En litros



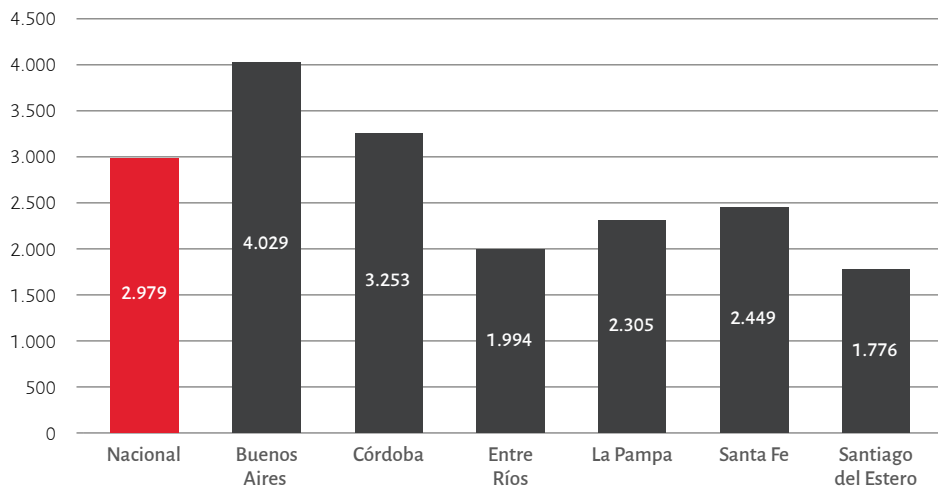
Nota: Valores estimados en el mes de enero de cada año.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de OCLA (2021).

Los valores estimados a partir de las bases de datos relevados por el SENASA presentan mínimas variaciones con relación a los datos que aporta el SIGLEA. A partir de la información procedente de más de 8.000 liquidaciones mensuales de leche registradas en 352 industrias lácteas, el valor medio de producción diaria por tambo es de 2.979 litros/día, con una elevada dispersión de acuerdo con la localización geográfica de los establecimientos (gráfico 3). En este sentido, los tambos de las provincias de Buenos Aires y Córdoba presentan valores promedio por encima de este indicador, mientras que las provincias de Santiago del Estero y Entre Ríos muestran los valores más reducidos.

Una radiografía de la producción primaria indica que los modelos agropecuarios actuales se caracterizan por una intensiva utilización de capital. Estos modelos han ido ganando espacios en las estructuras de producción primaria –incluida la lechería– de la mano de nuevos esquemas de negocios, el incremento en la competencia por el uso de la tierra y la presencia de avances tecnológicos que permiten obtener una mayor productividad en el uso de los factores.

Gráfico 3 Producción diaria promedio en tambos, según provincia (2021)
En litros



Fuente: Elaboración propia con base en OCLA, con datos de SENASA (2021).

En la década de 1980 predominaban los sistemas pastoriles basados en pasturas y verdeos con poco y nulo suministro de silajes, concentrados o subproductos industriales. Sobre fines de los años noventa y en la década de 2000, se observó un avance generalizado en los sistemas pastoriles con suplementación, que implican una menor superficie destinada a la actividad y una mayor carga animal por hectárea. En los últimos años, el avance se ha dado hacia modelos más intensivos, implementados a través de condiciones de encierro permanente de los rodeos, la alimentación del ganado mediante dietas balanceadas o bien mediante sistemas estabulados donde los animales se alimentan a corral y reciben diferentes proporciones de pasturas –cortada y distribuida–, silajes, concentrados o subproductos industriales (Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo, 2016).

Además de las mejoras en la alimentación, otra característica de la evolución tecnológica en el período ha sido el acelerado incremento en la inseminación artificial, utilizado por el 70% de los tambos actuales. A partir de las mejoras productivas y reproductivas se produjo un aumento significativo en la producción diaria promedio de leche, al tiempo que mejoró el contenido de grasa butirosa (3,64%) y de proteína bruta (3,36%) (OCLA, 2020).

Recolección y transporte

El servicio de recolección y transporte de leche cruda constituye un eslabón crítico dentro de la cadena. La mayor parte de la leche es generada por productores localizados en zonas rurales dispersas, lo cual impone el reto logístico de vincular unidades productivas atomizadas en el territorio, agravado por la naturaleza altamente perecedera del producto transportado.

El sistema de transporte mayormente utilizado para la logística productor/industria son camiones cisternas equipados con equipos de frío. Algunas empresas cuentan con sistemas de recolección mediante flotas propias, y en otros casos son camiones tercerizados que realizan la recolección diaria de la leche de los tambos.

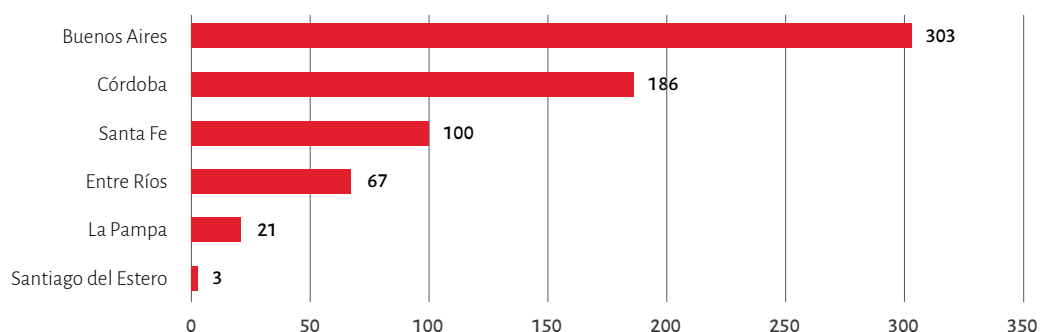
Un estudio sobre la competitividad de las industrias lácteas realizado por la Dirección Nacional Láctea del MACYP (2019) relevó una flota total de aproximadamente 1.750 camiones en el país, responsables de la recolección de la leche cruda en los tambos, a través de un recorrido diario de 286.000 km —el 46% por tierra y el resto por asfalto.

A los problemas de infraestructura existentes en las principales cuencas de producción, se debe adicionar el conflicto que producen los reiterados vaivenes en el costo de la energía y del flete, puesto que el costo del transporte representa una variable determinante en la estructura de costos de las empresas, con impacto directo sobre la rentabilidad del negocio.

Industrialización

La industria láctea argentina es un sector muy heterogéneo, con muchas empresas de diferente tamaño, orientación productiva y actividad exportadora (gráfico 4). El eslabón industrial está compuesto por las usinas y fábricas de procesamiento, que se ubican en torno a las principales cuencas productivas. Las empresas localizadas en Buenos Aires orientan su producción al mercado interno y tienen una fuerte presencia en el abastecimiento de leche fluida y productos frescos. Las empresas ubicadas en Santa Fe presentan mayor capacidad de procesamiento y de tamaño de planta promedio, con orientación a la exportación de *commodities*. En el caso de las empresas cordobesas, se caracterizan por un muy importante entramado pyme, con orientación principalmente quesera.

Gráfico 4 Cantidad de industrias lácteas por provincia (2018)



Fuente: Dirección Nacional Láctea, MACYP.

Existe heterogeneidad de empresas lácteas, desde aquellas que cuentan con varias plantas hasta las más pequeñas, que son los tambos-fábrica. En este sentido, se utiliza la capacidad diaria de recepción de leche para realizar una estratificación del tipo de empresa láctea.

Un reciente relevamiento industrial llevado a cabo por el MACYP de la Nación (Berra, 2018) durante los años 2016-2017 identificó 670 industrias lácteas, cuyas principales características en términos de volúmenes procesados se observan en el cuadro 4 —sobre 645 que procesan leche, el resto no procesa leche o está cerrada.

Cuadro 4 Estratificación de las industrias lácteas en la Argentina

Estrato (litros/día procesamiento)	Cantidad de industrias	Procesamiento (porcentaje del total)
< 50.000 l/día	574	19,1%

50.000-100.000 l/día	24	6,4%
100.000-250.000 l/día	24	15,8%
250.000-500.000 l/día	13	17,4%
+500.000 l/día	10	41,3%

Fuente: Galetto (2018).

Tal como sucede con la actividad primaria, se suele afirmar que la industria está fuertemente concentrada, ya que el 5% de las grandes empresas recibe leche del 61% de los tambos y participa del 67% del procesamiento de leche (Barbero y Gutman, 2008).

Tomando en consideración los datos actuales de recepción y procesamiento de leche en la Argentina (Galetto, 2018), el 3,6% de las empresas de mayor escala (+250.000 litros/día) procesan el 58,7% de la leche. Según el autor, a pesar de esta aparente elevada concentración en el sector industrial, al calcular el índice de Herfindahl-Hirschmann²—que toma de base la participación de las principales empresas del mercado— se obtiene un valor de 424, un indicador que se presenta muy por debajo de los umbrales mínimos globales usualmente utilizados para considerar estructuras de mercado poco competitivas.

El cuadro 5 presenta el *ranking* de las empresas que procesan más de 100.000 litros promedio/día correspondientes a 2021. En general, los cambios en el mercado lácteo durante los últimos 15 años muestran una tendencia general hacia una mayor atomización del sector, antes que a la concentración de la actividad. Esto queda en evidencia a partir de los cambios operados en los registros de captación de leche por empresa, que indican una mayor distribución de la recepción de leche cruda en un mayor número de usinas lácteas.

Mientras que a mediados de la década de 1990, la participación de la principal empresa (Cr1) era del 18%, la de las cuatro principales empresas (Cr4) en el *ranking* de procesamiento nacional era del 50% y las cooperativas tenían el 25% del total de la leche producida en la Argentina, en los últimos años estos indicadores han cambiado: la de Cr1 es del 12%, la de Cr4 del 32% y el sistema cooperativo representa solo el 5% del procesamiento de leche. Estos últimos valores se han mantenido sin variaciones significativas en el período 2019-2021 (OCLA, 2021).

Cuadro 5 *Ranking de las industrias lácteas en la Argentina*

Empresa	Procesamiento	Participación	Participación acumulada
Mastellone Hnos.	3.736.666	12,1%	12,1%
Saputo	3.651.605	11,8%	23,9%
Williner	1.368.284	4,4%	28,3%
Noal S.A.	910.421	2,9%	31,2%
Nestlé	810.165	2,6%	33,8%
Verónica	791.283	2,6%	36,4%
García Hnos.	738.172	2,4%	38,8%
Adecoagro	723.593	2,3%	41,1%
Milkaut	700.415	2,3%	43,4%
Corlasa	656.332	2,1%	45,5%
Sancor CUL	570.412	1,8%	47,3%
La Sibila	537.859	1,7%	49,0%

² Este índice es una medida estadística empleada para informar acerca de la concentración económica de un mercado. A medida que este indicador es mayor, el mercado presenta condiciones vinculadas con una estructura concentrada y poco competitiva.

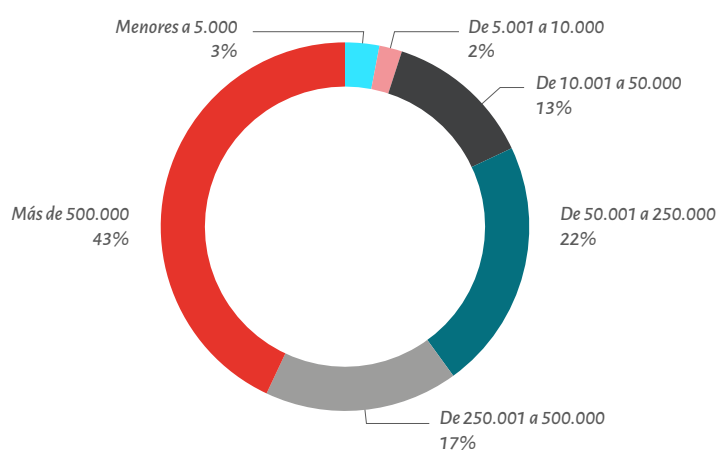
Manfrey	502.201	1,6%	50,6%
Danone	426.959	1,4%	52,0%
Sobrero y Cagnolo S.A.	413.187	1,3%	53,3%
Ramolac	279.379	0,9%	54,2%
La Ramada	273.458	0,9%	55,1%
Lácteos Vacalín	247.968	0,8%	55,9%
Fábrica de Alimentos Santa Clara	246.027	0,8%	56,7%
La Lácteo	212.093	0,7%	57,4%
Coop. Arroyo Cabral	202.081	0,7%	58,1%
Tonutti	176.208	0,6%	58,7%
Pampa Cheese S.A.	140.705	0,5%	59,2%
La Varense S.R.L.	96.482	0,3%	59,5%
Total	18.411.955		59,5%

Nota: No se disponen de los datos de la empresa Punta del Agua de Córdoba. Según OCLA (2021), se estima que esta empresa ocupa la cuarta posición en el *ranking* de las principales empresas lácteas de la Argentina.
Fuente: OCLA.

Considerando las 670 empresas relevadas por la Dirección de Lechería de la Nación, el 7% son empresas grandes y medianas-grandes (47 empresas) que reciben y procesan más de 100.000 litros/día (gráfico 5). Este estrato procesa el 72,5% de la leche proveniente del 63% de los tambos. Estas empresas suelen tener estrategias multiplanta y multiproducto, que además de quesos elaboran otros productos para el mercado interno como leche fluida y productos frescos.

El resto de la estructura industrial se encuentra integrada por micro, pequeñas y medianas empresas (mi-pymes) que procesan cantidades inferiores, entre las que se destacan aquellas artesanales que operan en el circuito informal y presentan un reducido peso económico.

Gráfico 5 Volumen de leche cruda procesada por estrato (2019)



Fuente: Elaboración propia con base en la Dirección Nacional Láctea, MACYP.

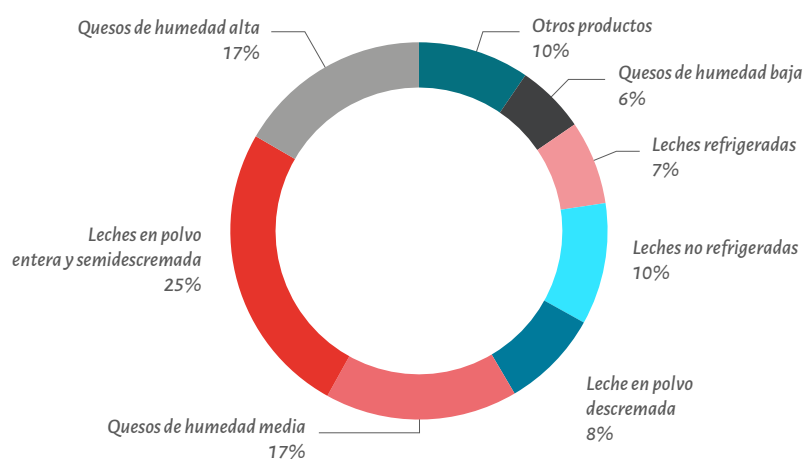
Dentro de las diez principales industrias del país, el 41% de la leche es procesada por empresas multinacionales, con sus casas matrices en otros países.

Las dos principales empresas lácteas procesan un tercio de la leche cruda, con una fuerte orientación hacia el mercado interno para el abastecimiento de leche fluida y productos frescos (gráfico 6). Una situación similar

se observa en las empresas medianas-grandes, en las que se produjo a fines de los años noventa una serie de fusiones y adquisiciones. En el estrato de empresas medianas, hay una mayor especialización hacia la producción de queso y también de productos de alto valor agregado a menor escala. La orientación general es hacia el mercado interno, aunque cuentan con estrategias comerciales para la exportación. Por último, se encuentra el estrato de empresas pequeñas y tambos-fábrica, que en su mayoría son plantas monoproducción orientadas a la elaboración de queso. Asimismo, existen algunas firmas especializadas en otros productos como dulce de leche o que cuentan con algún grado de diversificación. Los tambos-fábrica en general elaboran masa para la *mozzarella*.

En la producción de leche en polvo y deshidratados, por tratarse de *commodities* con baja generación de valor agregado, cobran relevancia las economías de escala. En las empresas procesadoras con esta orientación, la escala mínima eficiente es de 200.000 litros de leche procesada por día, con lo cual su producción es llevada a cabo por lo general en empresas grandes y medianas-grandes.

Gráfico 6 Destinos de la leche a productos (2020)



Fuente: OCLA (2020).

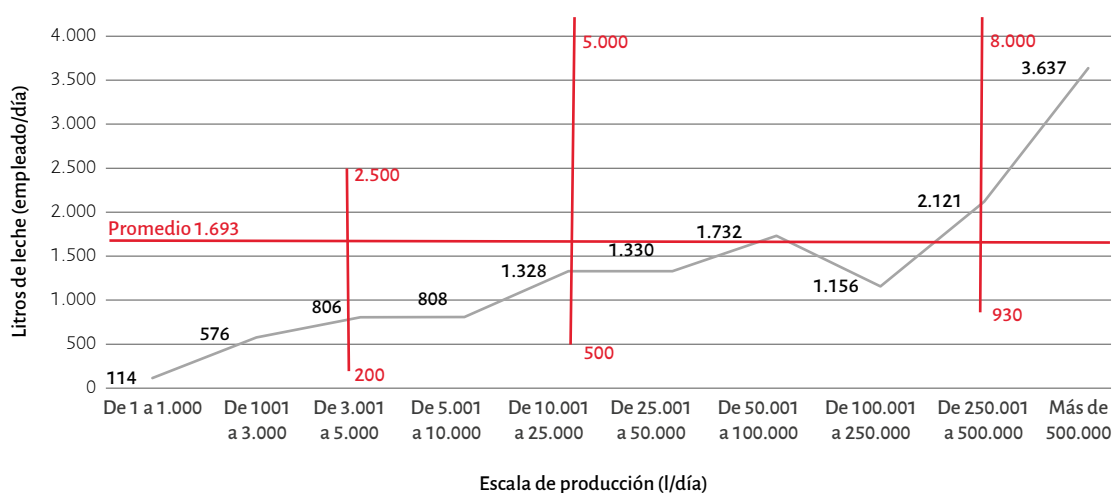
Análisis de la productividad empresarial

El sector industrial muestra perfiles de productividad muy heterogéneos. Dentro de un mismo estrato de producción conviven plantas de baja productividad con otras altamente eficientes. Actualmente, el promedio de productividad de la mano de obra industrial es de 1.693 litros de leche procesados por empleado/día.³ En el gráfico 7 es posible observar la gran heterogeneidad de valores presentes en todos los estratos. Esto confirma que el indicador de productividad analizado responde principalmente a cuestiones de índole tecnológica –tecnificación y tipología de planta monoproducción/multiproducción–, antes que a la escala de producción de las empresas.

Adicionalmente, es posible observar que en las plantas de mayor volumen de leche y más tecnificadas, la relación técnica/operario duplica los valores registrados en las plantas más pequeñas, donde la incorporación de tecnología es menor (gráfico 8).

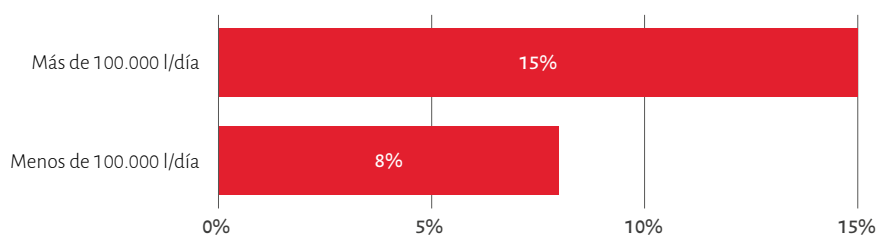
³ El criterio utilizado considera exclusivamente el personal afectado a cada planta industrial, sin tener en cuenta la mano de obra afectada a logística y otras actividades.

Gráfico 7 Productividad de la mano de obra industrial (2019)



Fuente: Dirección Nacional Láctea, MACYP.

Gráfico 8 Relación técnico/operario, según estrato de producción (2019)



Fuente: Dirección Nacional Láctea, MACYP (2019).

En general, los diagnósticos sectoriales realizados por cámaras empresariales y direcciones de lechería nacionales y provinciales coinciden en resaltar que muchos de los principales problemas que atraviesa la cadena son comunes entre las firmas que integran un mismo estrato de producción. Así, entre las empresas que procesan menos de 10.000 litros/día, se observan problemas relacionados con la limitada incorporación de tecnología, la muy baja rentabilidad del negocio y la provisión de leche a partir de tambos de baja producción.

En el estrato de empresas que producen entre 10.000 y 50.000 litros/día, se evidencian falencias en sus capacidades tecnológicas básicas, como son la pasteurización y los sistemas de producción utilizados. En este sentido, el 24% de estas empresas no higieniza ni pasteuriza en forma continua la leche y el 70% continúa trabajando con tinajas en sistema *batch*.

Si se toma en consideración al conjunto de empresas que producen hasta 50.000 litros/día, este bloque presenta al menos dos variables críticas comunes: la presencia de condiciones edilicias deficientes y un elevado porcentaje (80%) de empresas que no trata el suero ni hace tratamiento de efluentes.

Entre las empresas de mayor escala (+50.000 litros/día), el estrato se presenta muy heterogéneo, donde coexisten plantas con altos niveles de eficiencia junto a otras poco eficientes. En este segmento existe una elevada capacidad ociosa, lo cual representa un importante potencial productivo y exportador inutilizado.

En un reciente relevamiento del Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR) –realizado en el marco del programa Enfocar.te durante 2019–, el principal problema identificado a nivel nacional se encuentra asociado a la deficiente reutilización del lactosuero. Actualmente menos de la mitad del suero obtenido por la industria quesera nacional se procesa para la elaboración de nuevos productos, mientras que el resto es utilizado como complemento para la alimentación animal o se descarta en cursos de agua –práctica que resulta contaminante y perjudicial para el medioambiente–. En este sentido, se resalta la necesidad de las pymes queseras de contar con tecnologías para el aprovechamiento de este subproducto que sean más económicas que las disponibles en el mercado, más eficientes y que se ajusten a los volúmenes de producción de cada compañía.

Respecto de la inversión empresarial en investigación y desarrollo (I+D) del país, solo se reporta a nivel sectorial de alimentos y bebidas, lo que representa el 3,1% del total para el último dato publicado correspondiente a 2019 (DNIC, 2020). La inversión promedio en I+D es del 0,2% de sus ventas, mientras que el total del sector empresario invierte el 1% de sus ventas. De estos datos se deduce que la inversión en I+D de las empresas lácteas sigue este patrón, lo cual es una cifra baja. En general, las empresas más grandes invierten más que la mayoría de las pymes. Cabe recordar que es un sector que incorpora gran parte de su tecnología a través de sus proveedores.

La sustentabilidad de la cadena láctea argentina

En el mundo de los negocios de hoy, el desarrollo sostenible constituye un determinante crítico para la competitividad empresarial. Cada año se acrecienta la presión por incorporar cambios profundos en las formas de producción, que colaboren a disminuir el impacto ambiental de las actividades económicas. El sector de alimentos y bebidas sufrirá una enorme transformación durante la próxima década, y la industria láctea lo sentirá de manera más aguda.

En el caso de la lechería argentina, las posibilidades de aumentar la superficie de tierra agrícola para atender demandas crecientes se presentan acotadas. La resultante es una mayor intensificación en los sistemas de producción. Estos sistemas se enfrentan así al doble desafío de tener que responder a mayores demandas de productos lácteos –en cantidad y calidad– y al mismo tiempo ser respetuosos con el ambiente.

Para lograr estos propósitos, en los últimos años se ha promovido una multiplicidad de enfoques que favorecen la sustentabilidad del negocio, tales como Producción Más Limpia, prevención de la polución, la ecoeficiencia, el *value-stream mapping*; herramientas para la mejora de los procesos como el ciclo de Deming, los diagramas de Pareto, los diagramas de causa-efecto, la manufactura esbelta (*lean manufacturing*) y su enlace con Six-Sigma en Lean Six-Sigma, entre otras.

El “Marco Mundial de Sustentabilidad en el Sector Lácteo” (DSF, 2019) es una hoja de ruta para promover una lechería sustentable y balanceada en sus tres dimensiones fundamentales: social, económica y ambiental. Las observaciones realizadas sobre la lechería argentina dan cuenta de que los parámetros que miden esa sustentabilidad no se encuentran plenamente comprendidos, desarrollados e implementados en las empresas domésticas.

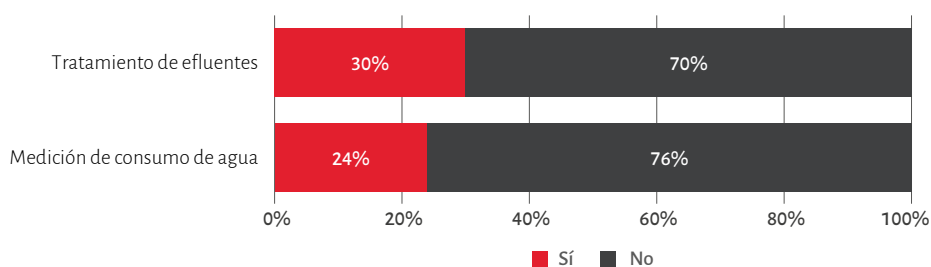
En la misma línea, entre 2016 y 2018 la Dirección Nacional Láctea (2019) llevó a cabo un estudio sobre la competitividad de la industria láctea argentina. Entre las principales conclusiones, se observan espacios de mejora muy importantes en la incorporación de buenas prácticas en la producción. De acuerdo con este in-

forme, solo el 30% de las empresas lácteas realiza tratamiento de efluentes, una práctica que suele ser menos frecuente en los establecimientos más pequeños. Si se toma en consideración exclusivamente el estrato hasta 50.000 litros/día, el 75% no realiza ningún tipo de tratamiento de efluentes (gráfico 9).

Respecto del consumo de agua, menos de un cuarto de las empresas (24%) realiza mediciones para conocer sus niveles de consumo. En el segmento de menor tamaño, la ausencia de mediciones alcanza al 82% de las empresas que procesan menos de 50.000 litros/día.

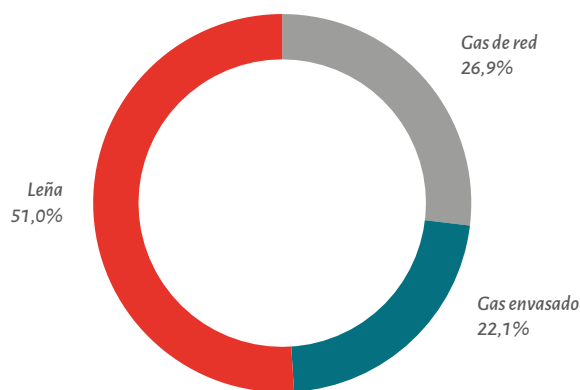
En cuanto al abastecimiento energético, el 72% de las industrias no tienen gas proveniente de la red de gas natural, el combustible más económico y amigable con el medio ambiente. En contraposición, la fuente de energía más frecuente es el consumo de leña, combustible predominante en más de la mitad de las empresas lácteas (53%) (gráfico 10).

Gráfico 9 Gestión ambiental de la industria láctea



Fuente: Dirección Nacional Láctea, MAGYP (2019).

Gráfico 10 Fuentes de energía utilizadas por las empresas



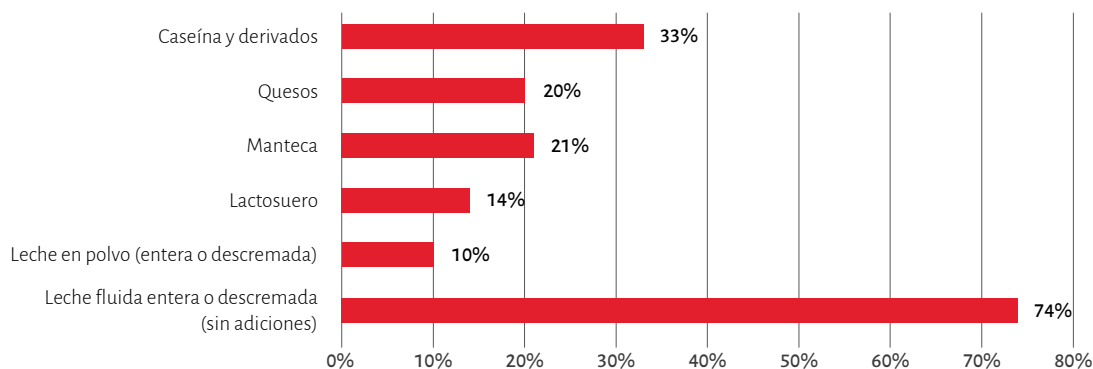
Fuente: Dirección Nacional Láctea, MAGYP (2019).

Como conclusión, se resalta que la cadena láctea en su conjunto no posee una percepción generalizada sobre los riesgos que puede ocasionar la ausencia de enfoques sustentables sobre la competitividad empresarial. Según Cravero (2020), la presión de las autoridades y el contexto social por el momento no son suficientes para motivar cambios profundos hacia la sostenibilidad. No obstante, el autor destaca que algunas empresas ya lo están entendiendo y esto les puede dar una ventaja competitiva.

COMERCIALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PRODUCTOS LÁCTEOS

En los últimos 30 años, la Argentina ha evolucionado de una lechería de mercado interno a una industria de creciente inserción internacional, con una alta diversificación del destino de sus exportaciones (gráfico 11). En 2020, la lechería argentina destinó el 25,3% de su producción al mercado externo, sin afectar el consumo doméstico.

Gráfico 11 Posición en el *ranking* de exportadores globales, según producto exportado



Fuente: OCLA (2020).

Previo a los años noventa, la cadena láctea destinó menos del 10% de su producción al mercado externo. El proceso de concentración y especialización que transformó la estructura de la cadena en este período —en particular, la incorporación de usinas lácteas de alta tecnología y mayor escala— ha posicionado al país como un jugador relevante en el mercado mundial, sobre todo en el segmento de leche en polvo entera.

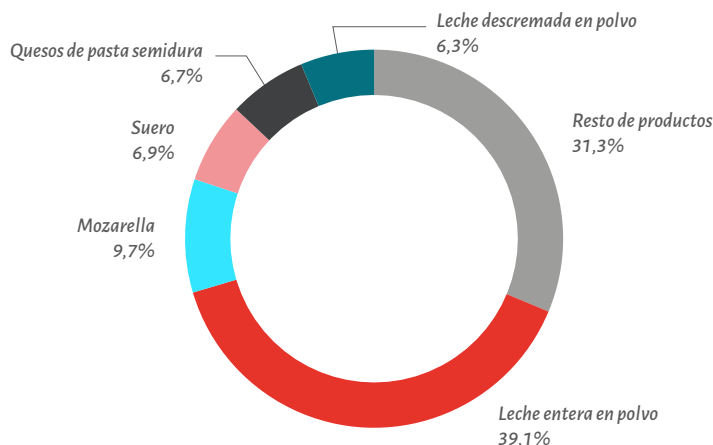
En 2020, el sector ha exportado por un valor total de 1.139,8 millones de dólares, lo cual representa el 2,1% de las exportaciones totales de la Argentina y el 5,2% de las exportaciones de manufacturas de origen agropecuario de la economía nacional, con un balance comercial sectorial de 1.098,3 millones de dólares. En términos físicos, los embarques al exterior del complejo lácteo fueron en este año de 372,9 millones de toneladas, cifra que representa aproximadamente 2.810 millones de litros equivalentes de leche.

Si bien el país no se encuentra entre los diez países que más producen en el mundo, se ubica entre los principales exportadores de leche. Según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OCDE y FAO), la Argentina podría aumentar su participación en el comercio mundial de productos lácteos hasta llegar a representar el 5% del volumen total comercializado durante el próximo decenio.

El principal producto de exportación se encuentra representado por la leche entera en polvo, cuya participación en el total de ventas externas del complejo es del 39,1% (gráfico 12).

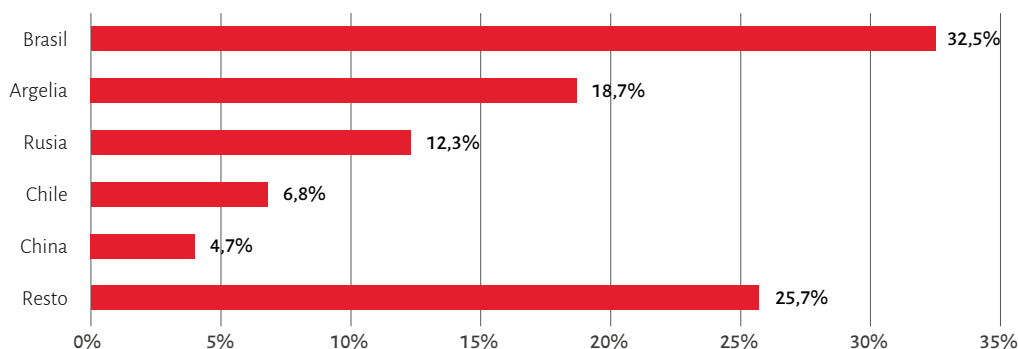
En 2020, los principales destinos de exportación han sido los mercados de Brasil (32,5%), Argelia (18,7%), Rusia (12,3%), Chile (6,8%) y China (4,0%) (OCLA, 2021) (gráfico 13). Con foco en el mediano plazo, el incipiente y sostenido incremento en el consumo lácteo de China —y otras economías asiáticas— abre nuevas oportunidades para la colocación de los excedentes de productos y permitir una mayor expansión de los negocios de esta cadena en el mercado global.

Gráfico 12 Principales productos exportados
En porcentaje de facturación en dólares



Fuente: OCLA (2020).

Gráfico 13 Principales destinos de las exportaciones lácteas (2020)



Fuente: Elaboración propia con base en OCLA (2021).

Consumo interno

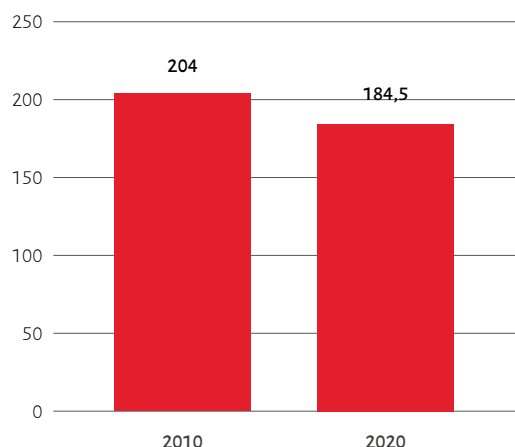
Los lácteos representan un alimento básico en la dieta humana. A nivel global, la mayor parte de la producción se destina a satisfacer los requerimientos domésticos, y esta es una característica distintiva de este complejo productivo.

La baja proporción comercializada a nivel mundial responde además al carácter perecedero de la mayoría de los productos y la presencia de barreras al intercambio comercial, que actúan como instrumentos de protección en los mercados más importantes y dinámicos.

Actualmente, el consumo mundial de leche per cápita presenta un promedio de 11 litros por habitante por año, una cifra muy por debajo de la recomendación de la FAO y la OMS —0,5 litros diarios, unos 180 litros por año—. El valor promedio, no obstante, esconde una fuerte dispersión entre sus extremos: existen países europeos con consumos que superan los 300 litros por persona/año y países por debajo de los 50 litros.

La Argentina ha exhibido una larga tradición en el consumo de productos lácteos y niveles de ingesta por habitante comparables con los de países desarrollados. En 2020, el promedio nacional estimado equivalía a 184,5 litros por habitante por año. Con altibajos, este indicador muestra una tendencia decreciente en los

Gráfico 14 Consumo per cápita
En litros/año

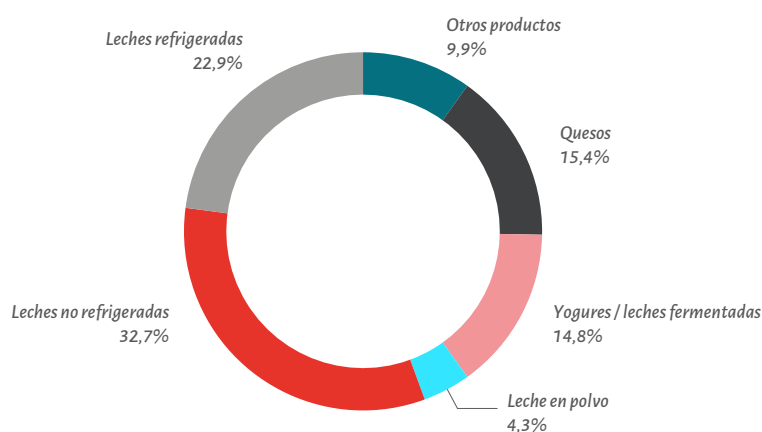


Fuente: Elaboración propia con base en OCLA.

últimos años. Si se toma en consideración el período 2010-2020, el consumo per cápita de lácteos en la economía nacional ha caído más de 10 p.p. entre los extremos de la década (gráfico 14).

El principal producto comercializado en el mercado interno son las leches fluidas, mayormente leches no refrigeradas (básicamente cartón UAT) y refrigeradas (sachet) (gráfico 15). Del total de ventas de productos lácteos—medida en términos de litros de leche equivalente—corresponde a estos dos productos. En segundo lugar, se encuentra la comercialización de quesos, entre los que se destacan las variedades de alta humedad—o quesos de pasta blanda—, seguido posteriormente por los yogures y otras leches fermentadas.

Gráfico 15 Ventas de productos lácteos en el mercado interno (2020)



Nota: Valores estimados en términos de litros de leche equivalente.

Fuente: Elaboración propia con base en OCLA.

La mayoría de las ventas que se realizan en el mercado interno (93,3%) son implementadas mediante canales de distribución minorista, mayormente a través de hipermercados, supermercados y autoservicios. Desde mediados de los años noventa, la instalación y consolidación de grandes cadenas de distribución minorista en el país han profundizado las disputas por la participación de cada eslabón en la renta global de la cadena. En este sentido, aproximadamente la mitad de los puntos de venta de productos lácteos a nivel

nacional se encuentran representados por grandes cadenas de supermercados. Estos actores poseen una elevada capacidad para establecer condicionamientos en las transacciones. Aun así, se trata de actores de gran relevancia para la comercialización de productos lácteos, a partir de su fuerte presencia en los ámbitos urbanos del país, la disponibilidad de adecuadas capacidades de refrigeración y también porque cuentan con amplios espacios para la exhibición del abanico de productos sectoriales, lo cual alienta y fomenta el consumo doméstico.

En contraposición, el resto de la comercialización minorista es realizada vía canales de menor escala, donde las empresas lácteas de mayor tamaño cuentan con una mayor capacidad para determinar o sugerir condiciones de venta y precios al público. A las ventajas que ofrece el poder de mercado de este canal, no obstante, se le deben compensar los mayores costos de distribución de los productos, debido al alcance geográfico y la dispersión de las ventas.

CAPACIDADES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA VINCULADAS CON LA CADENA

Una importante red de cyT nacional y provincial sirve de soporte al sector lácteo en varios aspectos. Entre ellos, la formación de recursos humanos calificados, el apoyo a innovaciones de producto y de proceso, la asistencia técnica para la adopción de estándares de calidad e higiene, la realización de análisis higiénico-ambientales y en sanidad animal, y la asistencia en metrología industrial. Se trata de áreas de intervención importantes para impulsar el desarrollo tecnológico de productores y empresas lácteas, ayudándolos a alcanzar los umbrales mínimos necesarios para la adopción de tecnologías de ruptura (Erbes *et al.*, 2019).

En particular, un conjunto de instituciones y centros de cyT ubicados en el seno de la cuenca lechera central brindan asesoramiento tecnológico y capacitación para las pymes. Entre estos organismos e instituciones se encuentran:

- > Institutos universitarios de investigación: Instituto de Lactología Industrial (INLAIN), Instituto de Tecnología Alimentaria (ITA) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), el CIT Villa María (Córdoba) y el CIT UNRAf-CONICET.
- > Instituto de Investigaciones de la Cadena Láctea (IDICAL), INTA Rafaela - CONICET.
- > INTI Rafaela e INTI Lácteos (Rafaela y Migueletes).
- > Escuela Superior Integral de Lechería (Villa María, Córdoba).

A nivel nacional, otros centros de cyT orientados al complejo lácteo asisten a las empresas en el desarrollo de nuevos productos, en el control de calidad y en la introducción de tecnologías de punta. Entre ellos, el Centro de Referencia para Lactobacilos (Tucumán), la Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos (Tucumán), el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (La Plata) y laboratorios especializados de universidades nacionales (UNL y UNR).

Entre el conjunto de programas de apoyo que disponen estas organizaciones de cyT, se destacan las siguientes líneas de trabajo:

- > El IDICAL, en conjunto con INTI Lácteos de Rafaela, desarrolla programas de investigación, transferencia de tecnología y asistencia técnica para pymes focalizadas en I+D de productos y en el aprovechamiento de subproductos lácteos. Entre estas investigaciones aplicadas se destacan las relacionadas con tecno-

logías de elaboración de quesos, en algunos casos en asociación con empresas de la región, el desarrollo de productos lácteos funcionales y la optimización y escalado de bioprocesos de conversión de lactosa derivados de lactosuero aplicando procesos biotecnológicos. Para los desarrollos de bioprocesos en la cadena láctea contaron con el financiamiento de un Fondo Nacional Sectorial (FONARSEC) en el que también participó el INLAIN (UNL-CONICET).

- > El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) cuenta también con INCUVA, la incubadora de emprendimientos de base tecnológica que ofrece asistencia técnica e instalaciones para la incubación de pymes lácteas innovadoras.
- > Además, el INTA –principalmente en sus unidades de Rafaela y Manfredi– asesora a los tambos en tecnologías de producción de leche, alimentación y salud animal y manejo de rodeos. En 2018, la Estación Experimental Agropecuaria Rafaela del INTA instaló el primer tambo robotizado de la provincia de Santa Fe con sistema de ordeño voluntario (VMS), en asociación con la empresa sueca proveedora de equipos DeLaval.
- > El INTI Rafaela centra sus actividades de asesoramiento y transferencia tecnológica en tecnologías de procesos para las pymes lácteas, e impulsa la adopción de estándares de buenas prácticas de calidad de los procesos y de automatización de procesos, como paso previo para la adopción de tecnologías 4.0.

El conjunto de organizaciones de cyT nacionales, trabajando en forma de red, abordan múltiples acciones relacionadas con las temáticas de manufactura avanzada y tecnologías 4.0.

El Centro Tecnológico (CENTEC) de Rafaela –creado en 2015 a partir del apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica– ofrece servicios especializados en impresión aditiva, industria digital y capacitación. Este centro incorporó en 2018 la primera impresora 3D metálica de alto rendimiento de Rafaela para la fabricación de piezas funcionales, matrices y pequeñas series. Su equipamiento incluye, entre otras instalaciones, un centro de mecanizado para pequeñas piezas y un equipo informático con software de simulación para elementos mecánicos, hidráulicos, automatismos y procesos. Actualmente un grupo de más de 50 pymes lácteas de la región central de Santa Fe son asistidos a través de este abanico de servicios.

Por otro lado, en la localidad de El Trébol (Santa Fe), se ha radicado el Centro Tecnológico El Trébol, una propuesta creada de manera conjunta entre la Cámara Argentina de Fabricantes y Proveedores de Equipamientos, Insumos y Servicios para la Cadena Láctea (CAFYPEL) y la Dirección General de Asistencia Técnica del gobierno santafesino. Este centro posee un laboratorio de ensayo de componentes que brinda asistencia a empresas de la cadena láctea. Además, desde esta unidad se asiste en la elaboración de proyectos vinculados con tecnologías 4.0.

Como se desprende de las iniciativas y acciones descritas, diversas instituciones locales y provinciales desarrollan tareas de capacitación, sensibilización y asistencia tecnológica orientadas a las pymes lácteas para impulsar la difusión de las tecnologías 4.0, ya sea en forma directa o bien apoyando la modernización tecnológica de un número relevante de pymes que muestran fuerte atraso tecnológico, como paso previo para la adopción de las nuevas tecnologías.

ESCENARIOS FUTUROS PARA LA CADENA LÁCTEA

La leche es uno de los productos agrícolas de mayor producción y de mayor valor en el mundo. La creciente demanda mundial de productos lácteos y el impulso constante para mejorar la eficiencia y la rentabilidad han dado como resultado una rápida consolidación y expansión de su industria.

La producción mundial de leche —81% de vaca, 15% de búfala y un total de 4% de leche de cabra, oveja y camella combinadas— asciende aproximadamente a 852 millones de toneladas (Mt). Con base en los recursos disponibles en la actualidad, se prevé una proyección ascendente en la producción global de leche, hasta llegar a los casi 1.000 Mt hacia 2029 (OCDE y FAO, 2020).

Este crecimiento se verá impulsado principalmente por un aumento en el número de cabezas, seguido por incrementos en los índices de productividad por animal. Respecto de esto último, se esperan mejoras en los rendimientos a partir de la optimización de los sistemas de producción primaria, la salud animal, la alimentación y la genética. Estos avances permitirán aumentar la producción global de leche, incluso en un contexto de creciente reducción en el número de establecimientos.

Estas proyecciones ubican a la lechería como el sector de más rápido crecimiento en relación con los demás productos agrícolas básicos relevantes. Estas previsiones optimistas en los niveles de producción primaria de leche encuentran correlatos directos con los aumentos esperados en los consumos globales de productos lácteos. La leche es comercializada en el mundo fundamentalmente bajo la forma de productos lácteos procesados. El principal importador de estos productos es China, en particular en el mercado de la leche entera en polvo.

Si bien los indicadores de consumo per cápita en China —y de Asia en general— son reducidos en comparación con otras economías desarrolladas, el peso de las estructuras demográficas, la recuperación y el crecimiento económico en la pospandemia y el cambio en las dietas alimentarias hacia productos ganaderos de mayor valor, posicionan al mercado asiático como uno de los principales destinos para la producción láctea global con destino de exportación.

Según datos de la entidad financiera holandesa Rabobank (2021), la demanda de productos lácteos en el Sudeste Asiático en los próximos años continuará creciendo sostenidamente. Solo en China se estima para 2030 una demanda equivalente de 15.000 millones de litros en importaciones de productos lácteos. Otros países asiáticos como Indonesia, Malasia, Singapur, Filipinas, Vietnam y Tailandia demandarán, según las mismas estimaciones, el equivalente a 19.000 millones de litros, lo cual conforma un enorme mercado para los próximos años y por lo tanto una oportunidad importante para los países productores.

En el plano internacional, actualmente los tres principales exportadores de productos lácteos son la Unión Europea, Nueva Zelanda y los Estados Unidos. Se prevé que, en conjunto, en 2029 estos tres países representarán alrededor del 65% de las exportaciones de queso, el 68% de leche entera en polvo, el 76% de manteca y el 77% de leche descremada en polvo.

Según OCDE y FAO (2020), la participación de los productos lácteos frescos en el consumo mundial aumentará durante el próximo decenio, debido al fuerte crecimiento de la demanda en India, Pakistán y África, impulsado por el aumento de los ingresos y el crecimiento demográfico de estas regiones. Si bien la demanda per cápita de productos frescos en los países de Europa y en los Estados Unidos se prevé estable —incluso con tendencia a la baja—, estas tendencias se verán más que compensadas con el incremento en el consumo de

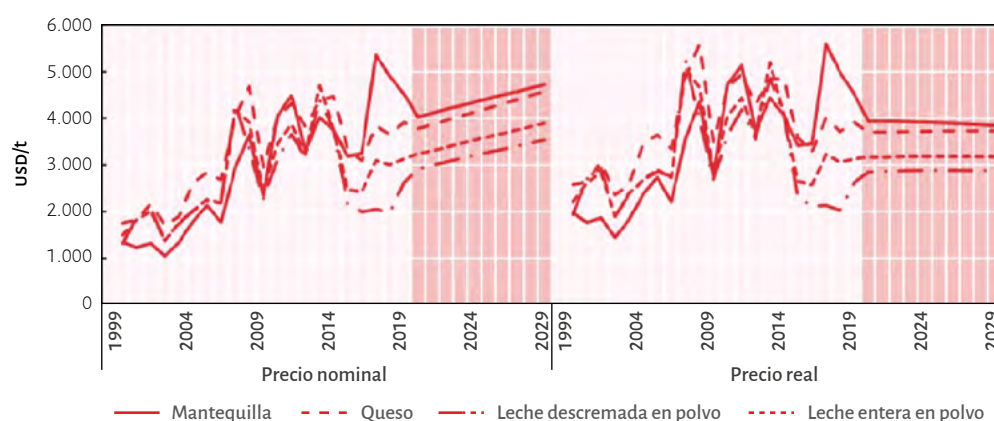
los países mencionados al inicio, situación que derivará en un crecimiento en el consumo per cápita de productos lácteos frescos del orden del 1% hacia 2029.

Contrariamente, si se toma en consideración el consumo de quesos –segundo producto lácteo más consumido en términos de sólidos lácteos, después de los productos lácteos frescos–, se anticipan incrementos en las ingestas por habitante de las economías europeas y en el mercado estadounidense, en especial como ingrediente de alimentos procesados.

Por último, la demanda global de leche en polvo y manteca presenta expectativas favorables y de crecimiento en el mediano plazo. En los últimos años, la mayor demanda de grasa láctea en el mercado internacional provocó que los precios de la manteca superen holgadamente a las cotizaciones de la leche descremada en polvo. Para el próximo decenio, esta asimetría prevalecerá como una característica determinante del período, si bien se anticipa que las brechas tenderán a reducirse con el tiempo.

En el gráfico 16 se presenta una proyección de los precios futuros de los principales productos comercializados internacionalmente.

Gráfico 16 Estimación de precios futuros de los principales productos comercializados



Fuente: OCDE y FAO (2020).

Otro aspecto que resulta conveniente presentar se refiere a los cambios de hábitos alimentarios. Un estudio realizado entre 2018 y 2019 por la Escuela de Economía y Gestión de la Universidad de Lund, en colaboración con Tetra Pak, abordó posibles escenarios para los productos lácteos en 2030. En el cuadro 6 se resumen los principales resultados de esta investigación, sintetizado en cuatro escenarios posibles que demuestran una interacción variable de las fuerzas socioambientales y la transición tecnológica, con resultados muy diferentes.

Cuadro 6 Escenarios posibles para la lechería

Matriz base	Evolución láctea	Lechería verde	Nueva fusión	Nuevos alimentos
Leche bovina	85%	60%	40%	30%
Plantas	13%	35%	35%	50%
Crecimiento en laboratorio (fermentación de precisión)	2%	5%	25%	20%

Fuente: Tetra Pak y Universidad de Lund (2020).

Se destaca que los cuatro escenarios son plausibles de concretarse en un horizonte de mediano plazo. Si bien existen diferencias significativas entre uno y otro, es posible observar algunos puntos en común:

- > Los grandes y eficientes fabricantes de productos lácteos sin vínculos estrechos con la agricultura (modelo cooperativo) pueden ser más flexibles que otros fabricantes.
- > Los conglomerados de alimentos con visión de futuro pueden tener estrategias de inversión inteligentes que cubran más de un enfoque tecnológico.
- > Los emprendedores de alimentos (fabricantes de nicho) tendrán oportunidades para brindar innovaciones y propuestas de valor relevantes.

La realidad puede variar en uno o más mercados o bien globalmente. Sin embargo, dos dimensiones críticas que impactan en el desarrollo de la industria láctea son la transición tecnológica y las fuerzas socioambientales. El diálogo, la colaboración y la flexibilidad para planificar en consecuencia serán la clave del éxito.

Desde las políticas públicas estas tendencias deberían generar un plan de evolución de los productores, en particular de aquellos menos competitivos, hacia una transformación en los próximos 10 a 20 años, donde se estima un impacto mayor.

HACIA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

En el contexto actual y proyectado de la CVLA, es evidente que la producción primaria es una adoptante más rápida de los cambios tecnológicos que la industria.

Existe una larga tradición innovadora en el sector primario. Así es como puede observarse que la cuarta revolución industrial ha tomado cuerpo y una presencia cada vez más frecuente en el mundo agropecuario, de la mano de explotaciones inteligentes basadas en la adaptación y el uso de nuevas tecnologías como la agricultura de precisión, la sensorización de las explotaciones, el uso de drones y, en algunos casos, inversiones en infraestructura de almacenamiento y procesamiento de datos.

Respecto de la lechería en particular, los tambos van hacia la concentración y las ganancias de escala, por lo tanto, en busca de productividad para maximizar su negocio. En este sector, la fusión entre ganadería y tecnología está cambiando muchos procesos del tambo, fundamentalmente a partir de la incorporación de tecnologías de analítica avanzada que permiten recolectar información en tiempo real para tomar decisiones.

Actualmente, es posible encontrar unidades productivas que han desarrollado sistemas para el seguimiento y la trazabilidad de la producción, empresas que han incursionado en lo que refiere a lechería de precisión, la implementación de sistemas de medición *online* de calidad de leche, la presencia de tambos robotizados y otros ejemplos.

Distinto es el caso de la industria láctea, donde la adopción de innovaciones tecnológicas de vanguardia aún permanece en una fase incipiente. Solo una pequeña fracción de las empresas ha incursionado activamente en el sendero de la transformación digital, en tanto que la mayoría de las firmas todavía se ubican lejos de la frontera tecnológica.

A priori, el sector industrial de la cadena láctea, tan atomizado y diverso, deberá encontrar los caminos para ser más competitivo y sustentable, tanto a nivel nacional como internacional. Una herramienta clave para

acompañar esta transición son las tecnologías 4.0, un nuevo paradigma de fabricación que favorece la integración conectada e inteligente a lo largo de las cadenas de valor, desde los proveedores hasta las y los consumidores. Si bien existen precisiones sobre la especialización en 4.0 —que suele denominarse industria 4.0 (I4.0)—, al mismo tiempo aparece el concepto de transformación digital. Para simplificar se propone utilizar la denominación integradora: transformación digital hacia 4.0 (TD-4.0).

El éxito de la TD-4.0 dependerá de políticas integrales que combinen elementos de oferta y demanda y promuevan una relación de diálogo permanente entre los sectores público y privado. En este sentido, serán requeridos esfuerzos al interior de las firmas, pero también un enérgico acompañamiento de la política pública que ayude a resolver muchos de los obstáculos que actualmente presentan las empresas para la adopción de tecnologías.

En un escenario signado por fuertes heterogeneidades en el entramado industrial lácteo, está claro que las políticas elegidas no pueden ser uniformes, sino que deben ajustarse a las características propias que asume cada uno de los distintos estratos que componen este universo empresarial.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA CADENA DE VALOR LÁCTEA

El contexto de la cadena de valor láctea (CVL) requiere considerar que es un sector transformador de una materia prima biológica perecedera, como es la leche, y que sus productos son de alta sensibilidad social, tanto por nutrición como por precio.

El eslabón industrial es un entramado muy heterogéneo, en el que conviven simultáneamente empresas grandes, medianas y pequeñas, con diferencias muy marcadas entre sí respecto de la tecnología utilizada (Dirección Nacional Láctea, 2019).

Según el relevamiento citado y la información descrita en el capítulo “Descripción del Sector Procesador de Productos Lácteos en Argentina” (Dirección Nacional Láctea, 2019), se resaltan algunos datos que permiten inferir las características de interés prioritario para este estudio:

- > Alrededor del 90% de las empresas producen principalmente quesos.
- > Aproximadamente el 50% de las plantas queseras son micropymes —producen menos de 5.000 litros de leche diarios.
- > El 78% de las industrias cuenta con Registro Nacional de Establecimiento, porcentaje que disminuye en los estratos de menor volumen.
- > La productividad de la mano de obra industrial se incrementa a mayor tamaño de empresa.
- > En general, el número de personas capacitadas en tecnologías digitales es muy pequeño.
- > El 44% de las empresas no cuenta con conectividad a internet ni tecnología Wifi incorporada. Estas empresas pertenecen, en términos mayoritarios, al segmento de hasta 50.000 litros de leche procesados diarios.
- > Se trata de un sector principalmente adoptante de tecnología.
- > El sector cuenta con sistemas de distribución de productos que combinan logística mediante flotas propias y de terceros.

- > La logística de recolección de leche desde los tambos hacia las industrias requiere una optimización permanente de recorridos, puesto que la producción primaria total recorre más de 250.000 kilómetros diarios.

Históricamente, el flujo de productos de la cadena láctea fluía desde la producción hacia el mercado, con escasos instrumentos de coordinación entre esos grandes componentes. Diversos oferentes de tecnología fueron desarrollando propuestas de sistemas para optimizar ese flujo de información y limitar la pérdida de productos por vida útil o generar *stocks* con un gran costo financiero. Así, en la década de 1990 algunas grandes empresas de software ofrecían los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), que fueron derivando a modelos más abarcativos de todo el negocio, como los *business intelligence*.

Sin embargo, esto era patrimonio de pocas empresas lácteas hasta inicios de los años 2000. La revolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) aceleró la oferta, sobre la base de una infraestructura de comunicaciones que fue evolucionando. De este modo, diversos desarrolladores actualmente ofrecen sistemas adaptables a diferentes escalas de empresas lácteas, como módulos para procesar los datos de la leche remitida por los productores, gestión logística, relación con clientes y proveedores, mantenimiento preventivo y predictivo, programación de la producción y gestión administrativa y del negocio.

Por ser una industria adoptante de tecnología, existen líneas productivas –como la leche larga vida– que ofrecen altos niveles de automatización e interpretación de los datos para optimizar la productividad. Por otro lado, existen proveedores de equipamiento –por ejemplo, para producción de lácteos deshidratados, quesos o fermentados– que también han evolucionado y hoy su oferta tecnológica satisface los estándares internacionales.

Dos claros casos de tecnologías aplicadas para incrementar la productividad en las líneas de proceso son la robotización en final de línea y la instalación de controladores lógicos programables (PLC). Sobre este último, la instalación de PLC es un estándar aplicado, aunque su información es utilizada –mayormente en pymes– a través de servicios técnicos tercerizados, y su aplicación es limitada a evaluar desempeños puntuales más que a procesar datos en el sentido de la TD-4.0.

A partir de lo expuesto, se puede mencionar que el nivel de TD-4.0 en procesos de la industria láctea es aún bajo, tal como lo fuera descrito en Cravero (2019).

La industria láctea nacional registra transformaciones importantes respecto de su estructura pasada. Entre ellas se destacan la aparición de nuevos paradigmas técnicos y organizativos, renovadas exigencias de los mercados, mayor conciencia ambiental por parte de las y los consumidores y el avance de las tecnologías digitales.

Mirando hacia adelante, uno de los principales retos será lograr establecer modelos de producción y negocios que sean capaces de asegurar una creciente disponibilidad de productos, con elevado potencial para adaptarse a demandas en expansión y que a la vez resulten sustentables con el ambiente.

Todas estas alteraciones han acelerado los desafíos que enfrenta el sector. En este escenario, la incorporación de TD-4.0 abre oportunidades para la CVLA, en especial para aquellas empresas que apuesten por desplegar estrategias innovadoras a lo largo de la cadena, desde las fases primaria y de campo, pasando por la industria y el procesamiento, hasta la etapa de comercialización.

AVANCES Y TENDENCIAS A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL EN PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS Y LÁCTEOS

Tendencias internacionales sobre la TD-4.0 en alimentos

El sector alimentario necesita cambiar de sistema productivo y avanzar hacia sistemas más eficientes, conectados y flexibles, y la tecnología constituye una herramienta crucial para este fin.

La revolución tecnológica ha llegado definitivamente a la alimentación y requerirá de un proceso de implantación gradual. La adecuada digitalización y conectividad de los procesos, junto a las denominadas tecnologías 4.0, permiten el intercambio de información objetiva a lo largo de las cadenas de suministros de alimentos, que posibilitan un nuevo concepto de cadena de valor conectada e inteligente, donde la producción se ajusta a un modelo predictivo y a los ciclos de demanda, lo que permite reducir los niveles de desperdicio y la huella ambiental y mejorar la calidad y seguridad alimentaria.

Aportando a clarificar el concepto de 4.0 en la cadena agroalimentaria, la firma Tetra Pak (2018) –empresa líder en equipamiento para la industria de alimentos– expresa que “se trata de una fabricación inteligente (Smart Factory), que involucra sistemas colaborativos totalmente integrados que responden en tiempo real para satisfacer las demandas y condiciones cambiantes en la fábrica”.

Este bloque de tecnologías representa un salto decisivo en la historia industrial. Hoy la automatización se combina con redes y sistemas de tecnología de la información, enriquecidos a través de datos y análisis en vivo de información constantemente disponible, para impulsar las operaciones de una manera más eficiente y efectiva.

En esencia, la TD-4.0 es un concepto relativamente simple. Implica reunir información reciente sobre las oportunidades que brindan la digitalización, la nube y la internet de las cosas (IoT), a fin de conducir a soluciones más inteligentes para fábricas y procesos.

El carácter disruptivo de estas tecnologías radica en su enorme potencial para colaborar con los fabricantes de alimentos de todo el mundo en el desafío de cumplir satisfactoriamente con muchas de las demandas que les imponen los cambiantes mercados, mejorando la seguridad alimentaria, gestionando mejor sus cadenas de suministro, garantizando una mayor rentabilidad en un mundo complejo y competitivo, o bien proporcionando capacidad para brindar respuestas flexibles ante cambios en las demandas de las y los consumidores.

En esta línea, Andersen (2017) examina las conductas inversoras a nivel microeconómico y empresarial. Al analizar cuáles son los determinantes de la inversión, enfatiza en el retorno de la inversión (ROI) como un indicador financiero crítico –particularmente en la industria láctea–, dados sus estrechos márgenes y su intensa competencia.

En este marco, las inversiones en internet industrial de las cosas (IIoT) en el sector lácteo aportan capacidad para reducir el riesgo empresarial, al evitar problemas de calidad y mejorar la seguridad de los alimentos. La sola posibilidad de realizar análisis de calidad en tiempo real con tecnología IIoT puede proteger a una empresa láctea de lo que de otro modo podría ser un retiro catastrófico de productos en el mercado.

Las tecnologías IIOT también ofrecen a las industrias lácteas la oportunidad de transformar sustancialmente los modelos de negocio, a partir de un seguimiento más cercano a los proveedores y las demandas de las y los consumidores, bajo el soporte de cadenas de suministros inteligentes que generen información sobre los análisis comerciales de la empresa.

A modo de ejemplo, el hecho de contar con una fuerza de trabajo más conectada permitirá disponer de datos *online* sobre producción de leche real y mediciones continuas de la calidad y grasa láctea de los tambos. Esta información constituye un insumo crítico para las industrias, puesto que les permite conocer con anticipación los atributos asociados a la calidad y seguridad de la materia prima a recibir, dotando de mejores condiciones de adaptación.

En la misma línea, la incorporación de tecnologías IIOT facilita una mejor planificación de los procesos de producción y una gestión más estricta del flujo comercial. Actualmente, es posible desarrollar y mantener registros digitales que ayuden a rastrear e identificar todo el historial y el flujo del producto. En un sector que opera con márgenes estrechos y atado al cumplimiento de normas de calidad y seguridad cada vez más rigurosas, esta información deviene un activo fundamental para la supervivencia en los mercados.

Existen algunos ejemplos a nivel internacional de empresas lácteas líderes que han iniciado el camino hacia una total digitalización. Uno es el caso de la firma láctea de origen chino Mengniu, que cuenta con más de 50 plantas en el país asiático y que ha iniciado el camino hacia una total digitalización. Dispuesta a estar a la vanguardia, esta compañía incorporó soluciones de automatización totalmente integrada que dieron como resultado una gran estabilidad a las operaciones en todas sus líneas de producción.

Otro ejemplo es el caso de un fabricante de quesos con sede en los Estados Unidos, el cual es señalado en un estudio del Instituto de Tecnólogos Alimentarios (Boz, 2021). En esta empresa se entrenaron modelos de correlación de aprendizaje automático (*machine learning*) con seis meses de datos históricos sobre 29 variables de procesamiento diferentes, incluida la cantidad de cultivo iniciador, los tiempos de mezcla y la composición de la leche cruda, para clasificar los impactos en el contenido de humedad final. Como resultado del estudio de optimización, el fabricante pudo aumentar de manera confiable el contenido de humedad promedio hasta en un 0,6% dentro de los límites de cumplimiento normativo, lo que corresponde a más de 1 millón de dólares en ahorros en un año.

A partir de la evidencia empírica que se va construyendo año tras año, muchos/as especialistas coinciden en resaltar que la digitalización integral “es un viaje sin fin”. Por consiguiente, se suele recomendar a los procesadores de alimentos que adopten un plan sólido de escalado de digitalización, con una estrategia comercial sobre el tipo y la plataforma de recopilación de datos, arquitectura, análisis, seguridad y propiedad de la tecnología.

Adicional a lo expuesto, Boz (2021) analizó el contexto 4.0 con la inclusión de las personas, donde la digitalización e integración pueden ofrecer una oportunidad sin precedentes de ganancias comerciales. En este informe, el autor plantea la importancia de crear vías de innovación resilientes, con estrategias de negocios que incluyan a las personas y que tengan en cuenta la salud humana, las preferencias de las y los consumidores y los cambios en el modelo de la fuerza laboral.

A medida que la industria alimentaria evoluciona hacia una 4.0, la progresión a 5.0 ya se está conceptualizando. Este nuevo paradigma no se limita al sector manufacturero, sino que utiliza tecnologías para resolver problemas sociales generalizados con la inclusión deliberada de elementos humanos. Combinado con los

problemas ambientales urgentes y los componentes humanos, las industrias se encuentran ahora en una encrucijada para contemplar el futuro de la fabricación dentro del próximo quinto paradigma industrial, que promete el uso de tecnologías para sistemas ciberfísicos más sostenibles, resilientes y equitativos.

A continuación se resumen aspectos que hacen a la TD-4.0 desde la industria de procesamiento de alimentos a nivel internacional:

- > Tecnologías disruptivas con enorme potencial para colaborar con los fabricantes de alimentos a mejorar la seguridad alimentaria y gestionar mejor sus cadenas de suministros.
- > Tecnologías que cruzan transversalmente a las empresas y su cadena de valor.
- > No existen recetas universales: cada empresa debe evaluar dónde agregar valor con su uso.
- > Se debe elaborar un plan de digitalización, el cual debe insertarse en los planes de negocios para considerar su impacto y aporte de valor.

Es necesario desarrollar capacidades humanas capaces de adaptarse y liderar estos procesos de cambio de acuerdo con cada contexto.

En una mirada global, a pesar de las historias de éxito y del universo de oportunidades que ofrecen estas nuevas tecnologías, la digitalización en la industria alimentaria ha sido lenta. Existen restricciones de diversa índole que limitan un avance más acelerado, entre las que se pueden mencionar la incompatibilidad de los equipos que ofrecen muchos proveedores del sector, los costos de la digitalización –mayormente en las economías en desarrollo–, la falta de experiencia y la antigüedad del equipamiento instalado, con las consecuentes limitaciones técnicas asociadas.

Desde luego, además de la voluntad empresarial por avanzar hacia una mayor digitalización, las posibilidades de hacerlo y la selección del sistema de IIOT más adecuado implica, entre otras cuestiones, analizar un conjunto amplio de elementos determinantes, que van desde los costos operativos, la disponibilidad de energía, la conectividad a internet, la capacidad para el análisis de datos y la cantidad de dispositivos conectado.

Además de lo expuesto, sabido es que los modelos basados en datos requieren una gran cantidad de capacitación y validación de información. Los requisitos de datos para el aprendizaje automático y los modelos de IA implican la consideración de multiescala, multimodal, apertura y estandarización, lo que requerirá profesionales capacitados que comprendan la dinámica de la industria alimentaria, así como los avances tecnológicos.

La educación superior en ciencias de los alimentos puede desempeñar un papel central para la consolidación de modelos de negocio basados en I4.0, y más aún en el tránsito posterior hacia la era de I5.0, al concentrar sus esfuerzos en el desarrollo de una fuerza laboral mejor preparada para las fases posteriores del desarrollo tecnológico. Para que este salto sea exitoso, será necesario fortalecer los lazos y la articulación entre las instituciones educativas y de ciencia, con la ingeniería de los alimentos y el apoyo de la industria alimentaria. A partir de esta vinculación y el trabajo sinérgico, el camino hacia la transformación digital se presentará más accesible.

En una encuesta de 2017, proveedores de alimentos de diferentes países informaron vulnerabilidad contra posibles ataques en la infraestructura de IIOT (21%), preocupaciones sobre la privacidad de los datos (18%), incapacidad para analizar los datos generados (16%), la falta de estándares para los acuerdos de IIOT (15%)

y los cambios en los informes regulatorios impulsados por la tecnología (13%) como las principales razones para no adoptar nuevas tecnologías y procesos (Rentokil, 2017).

La buena noticia es que los cambios que ha provocado la pandemia de COVID-19 pueden precipitar movimientos más veloces hacia la 4.0, y quizás la 5.0 comience a tomar cuerpo más rápidamente de lo que se anticipó en un principio.

La transformación digital en el sector de alimentos a nivel internacional

Numerosos estudios han abordado el estado de la TD-4.0 sobre las cadenas agroalimentarias internacionales. El centro científico y tecnológico AZTI, con sede en el País Vasco (España), publicó en 2019 un documento titulado “Diagnóstico 4.0 de la industria alimentaria”. En dicho estudio se plantea que las cadenas alimentarias han sido concebidas tradicionalmente “como un flujo lineal, con una comunicación entre cliente-proveedor casi inexistente que, cuando se produce, suele ser entre eslabones consecutivos” (AZTI, 2019). Se resalta además que se trata de encadenamientos productivos vinculados fundamentalmente a través de la relación compra-venta y precios.

A partir del desarrollo de nuevas tecnologías digitales, internet y las nuevas conectividades, se ha abierto un mundo de oportunidades para mejorar la eficiencia, seguridad, calidad y trazabilidad de estos encadenamientos. Se trata de cambios sustantivos que han llegado para quedarse y que requieren de una transformación digital profunda, con impactos sobre el mundo de la producción, las relaciones de trabajo, los modelos de negocios y el vínculo con las y los consumidores.

En la comparativa con otros sectores, las cadenas alimentarias suelen ver ralentizado el avance hacia la transformación digital, debido a la casuística específica que presentan estos eslabonamientos. La heterogeneidad y caducidad de los productos alimentarios hacen de su manipulación y transformación una complejidad añadida. Es por este motivo que la evidencia empírica muestra realidades muy diversas entre empresas alimenticias de todo el mundo, tanto en la percepción como en la implementación de tecnologías digitales englobadas bajo el paradigma TD-4.0. Esta heterogeneidad es una característica presente también en el análisis de la cadena láctea.

Para graficar esta situación, el estudio de AZTI (2019) mostró que apenas el 50% de los actores del sector lácteo conoce sobre el proceso de transformación, sus oportunidades y desafíos, pero solo el 23% prevé invertir en 4.0 durante los próximos años.

La falta de conocimientos sobre las tecnologías, sus impactos y cómo abordar el proceso de transformación digital constituye una barrera para que la mayoría de las empresas no avizore el inicio de un recorrido de inversiones en un horizonte próximo. Estas restricciones suelen ser más frecuentes entre las empresas de menor tamaño.

Continuando con el mismo estudio, se menciona que, en la actualidad, el uso y tratamiento de datos en tiempo real en el eslabón industrial de la cadena láctea es del 42%, focalizado principalmente en empresas medianas o grandes; sin embargo, solo el 3% de las firmas reacciona a cambios en la cadena de forma automática o en tiempo real. Como conclusión, se observa un moderado a bajo nivel de madurez digital a lo largo de este encadenamiento productivo.

Esta radiografía general constituye un diagnóstico global que, con matices, se repite entre las empresas lácteas de todo el mundo. Como ha sido mencionado, existen espacios para trabajar en una mayor difusión, visualización y apropiación de las tecnologías en el sector alimentario –incluido el lácteo–, lo cual conlleva al reto de facilitar el recorrido de las empresas hacia un proceso de transformación digital que les permita mantener la competitividad y la de los negocios en el futuro.

Como corolario de este apartado, en el cuadro 7 se presentan los paradigmas 13.0 e 14.0 en lo que refiere a la industria láctea, que puede colaborar a comprender sus diferencias.

Cuadro 7 Diferencias entre los paradigmas 13.0 e 14.0

Evolución tecnológica	Industria 3.0	Industria 4.0
Sensores	Aislados y diferentes estándares	Más inteligentes y flexibles para interacción
Conectividad	Conectados mediante cables o sin cables. Estándares de comunicación	Red inteligente desde sensores aislados a un sistema en la nube
Uso de datos	Datos usados para visualizar y reportes estadísticos	Datos usados para el reconocimiento de patrones, <i>machine learning</i> , etc.
Integración de sistemas	Sistemas aislados con limitada información compartida	Integración facilitada con comunicación de datos en tiempo real
Seguridad	Cortafuegos tradicionales, métodos de encriptación y autoridad de control	Metodología avanzada de ciberseguridad, métodos de vigilancia y resilientes
Automatización	Sistema de producción asistido por robots	Robótica inteligente para procesos autónomos
Toma de decisiones	Modelos de decisión dirigidos por datos	Modelos inteligentes basados en IA usando analítica de muchos datos (<i>big data</i>)

Fuente: Elaboración propia con base en Aziz *et al.* (2019).

Antecedentes regionales sobre TD-4.0 en alimentos y lácteos

América Latina asume un rol estratégico como proveedor global de alimentos. Según proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se espera que para 2024 el comercio neto de productos agrícolas de la región alcance los 60.000 millones de dólares anuales, que supera así tres veces los registros de 2020.

El fuerte posicionamiento de la región y su función primordial en la seguridad alimentaria mundial han sido objeto de estudio desde hace algunas décadas. En particular, el foco de los debates se encuentra relacionado con la necesidad de incorporar y proveer soluciones tecnológicas que permitan un mejoramiento de las condiciones competitivas de las principales cadenas de valor, la optimización de los sistemas productivos –incluida las actividades de distribución y almacenamiento–, la mitigación y adaptación al cambio climático, y las iniciativas tendientes a reducir los niveles de desperdicio.

A paso lento, diversas investigaciones dan cuenta de que la industria alimentaria regional avanza lentamente en su proceso de transformación, asistido por el aporte de la digitalización y las tecnologías encuadradas bajo el paradigma TD-4.0.

Según un informe de Accenture (2015), las industrias latinoamericanas en su conjunto han desarrollado una inversión global en IoT estimada para 2020 en 500.000 millones de dólares, una cifra que se incrementa gradualmente a medida que crece el protagonismo de estos mercados en las cadenas globales de valor.

El desempeño de la industria de la alimentación se destaca por encima de las demás ramas industriales. Si bien todavía existe un amplio espacio para la difusión y apropiación de estas tecnologías, se trata de un sec-

tor donde se está produciendo una verdadera revolución de la mano de la digitalización de procesos. Como resultado de esta transición, se espera dotar de mayor eficiencia y flexibilidad a la fabricación de alimentos y proveer condiciones más competitivas gracias al aporte que ofrecen estas tecnologías.

Si se analizan los casos de los mercados de la Argentina y Brasil, Ascúa (2021) realizó una comparación cualitativa del grado de desarrollo de I4.0 en pymes de ambos países. En este estudio, se analizaron empresas de múltiples sectores de actividad, incluido el alimentario. Entre las principales conclusiones, el autor resalta que en los dos países la implementación de la transformación digital está en sus etapas iniciales, con diferentes gradientes de adopción. Resultados semejantes, pero ajustados exclusivamente a pymes argentinas, son abordados en el estudio de Motta, Morero y Ascúa (2019).

En las publicaciones citadas, los autores proponen avanzar hacia una adopción más generalizada de tecnologías I4.0 y mencionan la necesidad de promover habilidades a lo largo de las cadenas de valor que fomenten un uso más intensivo de estas tecnologías. Por otro lado, se expresa la importancia de dotar de una clara estrategia de negocios a las pymes industriales, en un intento por lograr generar un diferencial de valor en nuevos mercados y clientes.

En la misma línea, Albrieu *et al.* (2019) describen los hallazgos de un estudio en seis ramas manufactureras –entre ellas, alimentos procesados– y concluyen que los niveles de adopción 4.0 aún tienen mucho por desarrollarse. En este estudio se demuestra que, en términos de adopción tecnológica, el camino iniciado por la Argentina y Brasil se encuentra en una fase todavía embrionaria, con fuerte heterogeneidad de resultados al interior de la industria.

Así, pues, existe un pequeño conjunto de empresas (6%) que, pese a no ser enteramente 4.0, se encuentra próximo a la cima tecnológica. Por otro lado, aproximadamente el 45% de las empresas relevadas se caracteriza por emplear tecnologías de desarrollo medio y mostrar un comportamiento activo para cerrar las brechas que lo separan de la frontera tecnológica. Por último, casi la mitad de las firmas emplean tecnologías de primera y segunda generación y parecen inactivas frente al cambio tecnológico, siendo el segmento más rezagado.

Para el caso de Brasil, Duarte Iszczuk *et al.* (2021) analizaron los resultados del estudio de la CNI (2017) y arribaron a conclusiones similares. Si bien las características del entramado pyme brasilero son variadas, se destaca que en general las tecnologías 4.0 son aún de uso marginal. La mayoría de las empresas continúan utilizando tecnologías de primera y segunda generación, lo cual las mantiene lejos de la frontera tecnológica global. Solo un segmento pequeño se muestra altamente innovador y presenta condiciones que les permite evolucionar en sintonía con la vanguardia tecnológica. En esta franja se incluyen fundamentalmente empresas de sectores intensivos en ciencia y en I+D colaborativa, con elevada presencia de *start-ups* y pequeñas empresas de base tecnológica.

Como ha sido expresado, las fuertes heterogeneidades en el tejido industrial regional demandan la adopción de políticas públicas que se ajusten a las características propias que asume un entramado empresarial diverso.

Estudios sobre TD-4.0 en el sector lácteo argentino

El trabajo recientemente publicado por Erbes *et al.* (2019) describe las principales tecnologías 4.0 asociadas al complejo lácteo a nivel nacional e internacional. Se mencionan allí especificidades respecto de su difusión

en las etapas de procesamiento industrial y la función que asumen los principales proveedores globales de estas tecnologías.

En consonancia con lo señalado por otros autores/as, se plantea que el grado de difusión de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteos es mayoritariamente reducido y dispar, según el tamaño y el tipo de empresa. En particular, los autores señalan que las principales fuentes de adopción están impulsadas por las regulaciones en materia ambiental, calidad y sanidad de los productos alimentarios y por las estrategias de diferenciación de productos en respuesta a las exigencias de alimentos saludables y seguros.

Así es como algunas empresas lácteas han comenzado a transitar los primeros pasos hacia la transformación digital, al incorporar innovaciones tecnológicas a sus actividades productivas y comerciales, en búsqueda de lograr mejoras de productividad o disminución de costos y tiempos de producción.

En la difusión de estas tecnologías, particularmente en las grandes empresas de la industria, la articulación proveedores-usuarios ha jugado un papel central. Es decir, se aprecia claramente un estrecho vínculo entre las empresas con los agentes comerciales que integran su cadena productiva—clientes y proveedores globales de tecnologías 4.0—, que es uno de los mecanismos que conducen a la innovación empresarial en materia tecnológica.

En general, las principales tecnologías TD-4.0 que comienzan a difundirse entre las empresas lácteas—sobre todo en las más grandes— se centran en las áreas de la administración y la gestión organizacional, además de los procesos industriales y logísticos. Se incluyen aquí las tecnologías de automatización de procesos asociadas a controles de calidad, a la seguridad de los productos, la aplicación de sensores para la medición de calidad de productos y materias primas, las plataformas en la nube, la robotización—fundamentalmente en las etapas de final de línea— y, en menor medida, la implementación de tecnología de bloques (*blockchain technology*) para asegurar la trazabilidad, el control y la comunicación a lo largo de todas las etapas de la cadena de valor del complejo lácteo.

Los paquetes tecnológicos de grandes proveedores globales de soluciones de automatización y gestión tienen un costo muy elevado y apuntan al segmento de las grandes empresas. Las pymes lácteas constituyen, por lo tanto, uno de los principales clientes potenciales de las empresas locales de software con soluciones de automatización industrial y software de gestión, asequibles y a medida de este segmento.

Como conclusión, Erbes *et al.* (2019) mencionan que la incorporación de tecnologías 4.0 en la industria láctea es incipiente y centrada solo en el grupo de las empresas de mayor tamaño. Por otro lado, microempresas y pymes presentan un fuerte atraso tecnológico y productivo. Estas organizaciones todavía no han alcanzado los umbrales mínimos requeridos para avanzar hacia la incorporación de tecnologías de punta.

La Plataforma Chequeo Digital (2021) es una herramienta desarrollada conjuntamente por Fundación País Digital, con apoyo de la cartera y financiada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Es un testeo en línea que permite medir el nivel de digitalización de una pyme argentina con el fin de identificar sus fortalezas, debilidades y oportunidades antes de iniciar un proceso de transformación tecnológica. Sus resultados hasta ahora, al menos en lácteos, son muy reducidos como para extraer conclusiones. Aunque deja un detalle para evaluar en las recomendaciones: ¿por qué las pymes se resisten a utilizarla si es de muy bajo costo?

CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE DESARROLLO DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA CADENA LÁCTEA

Los estudios explorados muestran datos cualitativos de que algunas empresas han avanzado en procesos de automatización que pueden sentar las bases para la introducción de tecnologías 4.0. No obstante, existe un gran núcleo de mipymes lácteas que aún no han iniciado su proceso de transformación digital. Por tal motivo, este trabajo de investigación sectorial tiene por objetivo principal explorar y dimensionar el grado de transformación digital por estrato productivo, considerando exclusivamente el sector industrial de la cadena láctea. Es decir, tanto el sector primario como las y los consumidores no serán en este caso objeto de estudio.

Se espera con esta publicación realizar aportes que puedan contribuir a la elaboración de recomendaciones de políticas públicas en pos de construir una agenda de instrumentos de promoción y adaptación de la industria láctea nacional al paradigma 4.0.

Metodología

El presente trabajo se encuadra en la lógica de investigación combinada, que vincula herramientas de los enfoques cuantitativo y cualitativo. La metodología propuesta utiliza datos de fuentes primarias y secundarias, con la colaboración de expertos/as del sector. Se partió de los datos de la Dirección Nacional Láctea (estudio 2016-2018) y de la base de datos de la encuesta desarrollada por Cravero (2019). De estas fuentes se estableció un mecanismo para recabar información del grado de TD-4.0 en la cadena de valor láctea, focalizando en el procesamiento industrial y las prácticas logísticas y comerciales, así como de gestión del negocio.

Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con referentes del sector lácteo y con fuentes ligadas a este, como proveedores de equipamiento y de insumos, software, servicios de desarrollo y recursos humanos, entre otras. Además, se consultó a representantes de instituciones académicas, gubernamentales y sectoriales, como el Centro de Industria Lechera.

Se contactaron a 99 referentes que aportaron información sobre 187 empresas lácteas. También se relevaron aportes, desde diferentes enfoques, de los sectores vinculados con la cadena de valor en análisis. En el Anexo IV se incluye un perfil de las personas entrevistadas.

Con el fin de emplear un lenguaje y formato de encuesta sobre TD-4.0 que posteriormente resulte comparable con los resultados de otras investigaciones efectuadas en el país y el mundo, se referenció sobre la base del documento de Albrieu *et al.* (2019) para caracterizar las tecnologías. En este estudio, los autores proponen los siguientes escenarios o estadios tecnológicos, a partir de los cuales es posible capturar los diferentes grados de integración, conexión e inteligencia empleados por las empresas industriales:

Generación 1 (G1). Producción rígida o tradicional: automatización rígida y aislada con el uso de TIC, en contabilidad, en el proyecto, en la producción o en el desarrollo.

Generación 2 (G2). Producción flexible: automatización flexible o semiflexible con el uso de TIC, sin integración o solo integración parcial entre las áreas de la empresa (por ejemplo, CAD-CAM, que integra el proyecto y la producción).

Generación 3 (G3). Producción integrada: uso de las TIC y automatización con integración y conexión en todas las actividades y áreas de la empresa.

Generación 4 (G4). Producción conectada e inteligente: uso de las TIC de forma integrada, conectada e “inteligente”. Presencia de retroalimentación de información sobre operación para apoyar la toma de decisiones.

Estos grados de generación digital se adaptan para el sector lácteo y se correlacionan con las áreas funcionales macro de una empresa láctea (cuadro 8). En la encuesta se focalizó en el análisis del estado actual, aunque se exploraron también las percepciones y visiones empresariales sobre la evolución de la transformación digital.

Cuadro 8 Tecnologías por generación tecnológica digital (GTD) y función empresarial (áreas funcionales)

GTD	Áreas funcionales				
	Relación con proveedores	Desarrollo de producto	Gestión de procesos productivos	Relación con clientes	Gestión de los negocios
G1	Transmisión manual de pedidos	Sistema de proyecto auxiliado por computadora tradicional	Automatización simple (rígida) con máquinas no conectadas	Ejecución manual de registros y contratos	Sistemas de información independientes específicos por departamento
G2	Sistemas de transmisión electrónica de pedidos	Sistema integrado de diseño, fabricación y cálculo de ingeniería con ayuda de software	Procedimiento parcial o totalmente automatizado	Automatización de las ventas	Sistemas compuestos por módulos y base de datos integrados
G3	Soporte informático de los procesos de compras, <i>stocks</i> y pagos	Sistemas integrados de gestión de datos del producto	Sistemas integrados de ejecución de procesos	Sistema integrado para múltiples canales y soporte basado en internet	Plataforma web con bases de datos para apoyar análisis de negocio
G4	Seguimiento en tiempo real de pedidos y de logística de proveedores	Sistemas virtuales de desarrollo	Comunicación M2M (de máquina a máquina) u otros sistemas de producción inteligente	Monitoreo y gestión del ciclo de vida de las y los clientes	Procesos de negocio automatizados con apoyo de inteligencia artificial

Fuente: Elaboración propia con base en Albrieu *et al.* (2019).

De manera complementaria, se exploró sobre las inversiones, innovaciones, capacitaciones y procedimientos habituales para la captación y selección de talentos, tanto actuales como proyectados a futuro. En paralelo, siguiendo el modelo de construcción de información adoptado en el trabajo de Albrieu *et al.* (2019), se consultó sobre las perspectivas y requerimientos actuales y futuros relacionados con la implementación de estas tecnologías.

Características de la muestra de industrias

El cuadro 9 representa el universo de industrias lácteas por rangos segmentados por productos principales y su relación con los litros de leche procesados diarios. A través de las y los referentes contactados se obtuvo información sobre una muestra que representa casi el 30% de las empresas y el 66% de la leche total procesada.

Cuadro 9 Muestra de industrias lácteas

Agrupamiento por líneas de productos	Rango diario de leche procesada	Cantidad de empresas DNL	Litros diarios procesados DNL	Cantidad de empresas muestra	Litros diarios procesados muestra	Relación porcentual muestra/DNL	Relación porcentual litros diarios procesados muestra/DNL
Quesos	De 1 a 50.000 (pequeñas)	575	5.034.708	132	2.055.750	23%	41%
Quesos, leche fluida, leche en polvo	De 50.001 a 250.000 (medianas)	49	6.170.933	38	4.457.633	78%	72%
Leche en polvo, quesos, leche fluida	De 250.001 a más de 500.000 (grandes)	22	17.245.000	17	12.330.000	77%	71%
Total		646	28.450.641	187	18.843.383	29%	66%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puntualiza una síntesis de la metodología de trabajo utilizada en el estudio:

- > Análisis y evaluación de fuentes de información primarias y secundarias.
- > Armado de cuestionario semiestructurado para la consulta a empresas lácteas y referentes del sector, basado en Albrieu *et al.* (2019).
- > Metodología de recolección de datos: primer contacto con la o el referente a consultar para explicar el objetivo del estudio, envío del formulario y posterior contacto con las y los entrevistados para precisar y profundizar la información recabada.
- > Recopilación, organización y procesamiento de los datos relevados.
- > Análisis de la información general y redacción de las principales conclusiones y aportes.

Resultados de la encuesta

Los datos relevados de las y los referentes se procesaron de acuerdo con tres grandes enfoques: la GTD aplicada actualmente en las áreas funcionales, las habilidades requeridas y la percepción de la transformación digital hacia los próximos años.

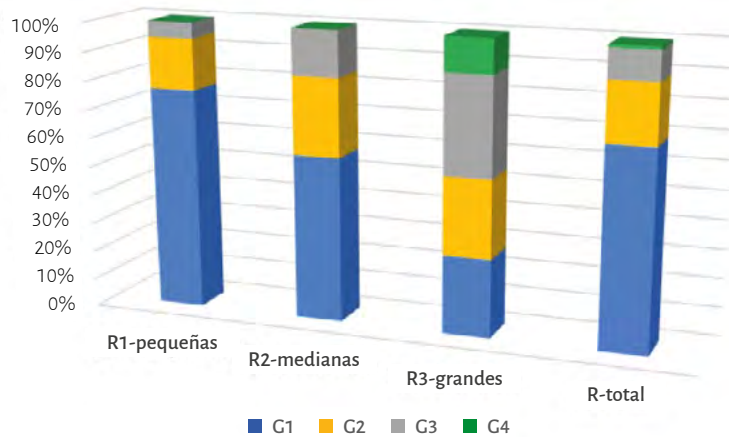
Generación tecnológica digital

Cada área funcional se analizó para los tres rangos estudiados de empresas lácteas (cuadro 9) y su grado de GTD acorde al cuadro 8.

En el gráfico 17 se representa el total de las áreas funcionales de la muestra y sus rangos para cada GTD. Se puede observar que la G4 es muy incipiente en las empresas lácteas argentinas. Su principal implementación, aunque parcial, se encuentra en las empresas del segmento R3-grandes.

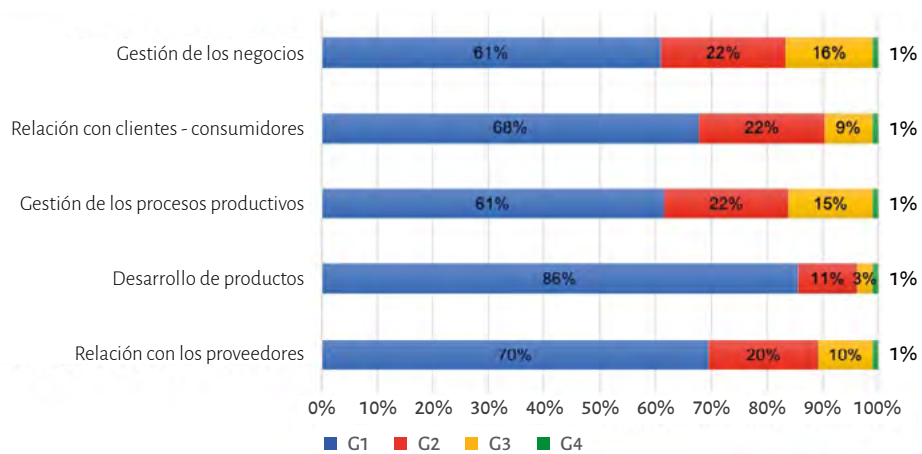
También se puede comparar el conjunto de los rangos y cómo cada GTD se distribuye en las diferentes áreas funcionales (gráfico 18). Esto coincide con apreciaciones de estudios analizados por otros autores/as, donde se muestra que el nivel de G4 es muy incipiente, incluso el G3.

Gráfico 17 Relación GTD por rango y total muestra



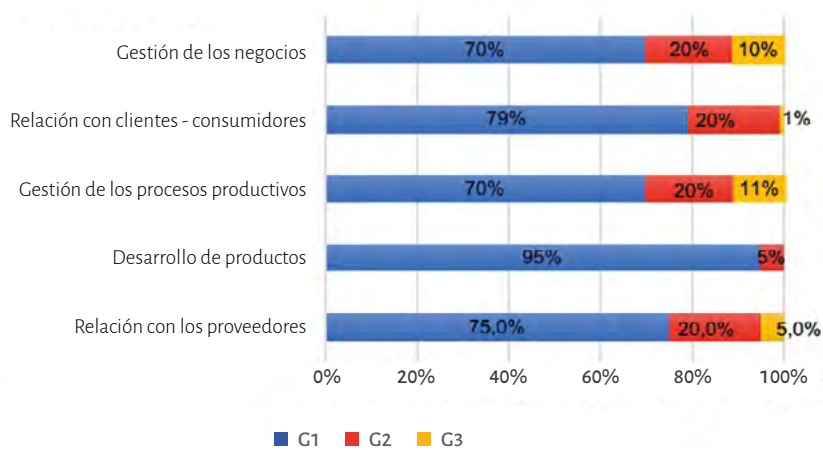
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18 Total rangos: relación GTD y área funcional



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 19 R1-pequeñas: relación GTD y área funcional

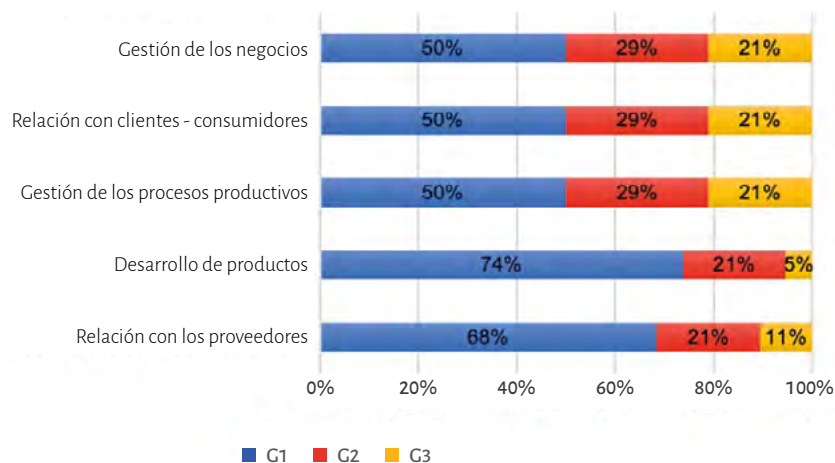


Fuente: Elaboración propia.

Al analizar exclusivamente el R1-pequeñas, el gráfico 19 representa con claridad que la mayoría de estas empresas transita el estadio G1 en sus diversas áreas funcionales y un grupo muy reducido presenta avances sobre G2.

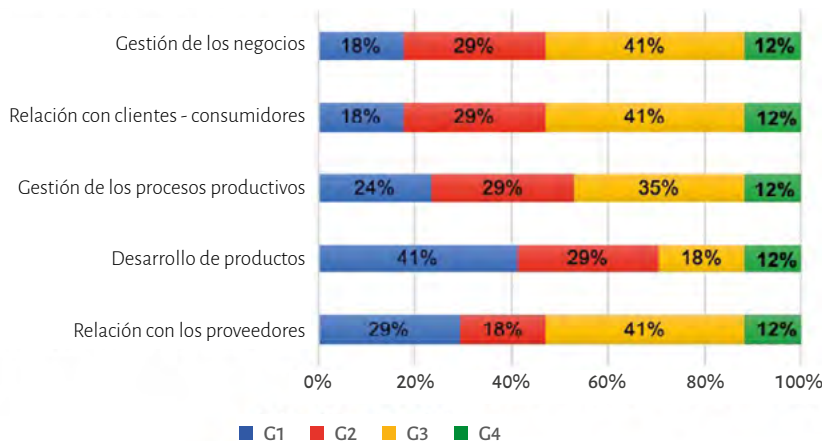
En el gráfico 20, se presenta la situación de las empresas del R2-medianas. En estos casos, es posible observar un grado mayor de avance hacia G3 que en el caso de las firmas de menor tamaño. Sin embargo, en ninguno de los primeros rangos (R1 y R2) se observan avances de consideración sobre G4.

Gráfico 20 R2-medianas: relación GTD y área funcional



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 21 R3-grandes - relación GTD y área funcional



Fuente: Elaboración propia.

Por último, en el agrupamiento R3-grandes (gráfico 21), se observa que varias empresas cuentan con inversiones implementadas en automatización y se encuentran en condiciones a dar un salto hacia 4.0, lo cual les permitiría obtener múltiples beneficios a un costo que se presume poco significativo.

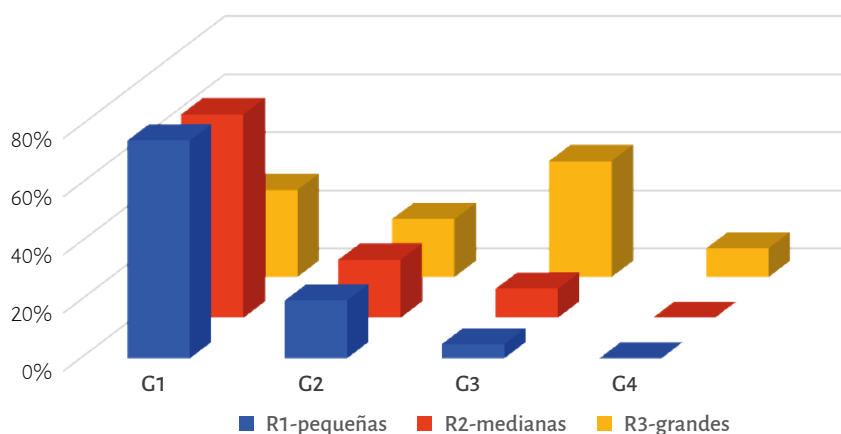
Para que esto suceda, se considera vital la adecuación de los perfiles humanos encargados de gestionar esta transformación digital, puesto que no se trata solo de una mera digitalización de la firma. Avanzar hacia la

TD-4.0 representa un cambio cultural en los paradigmas de negocios y en los modelos organizacionales, transformaciones que solo pueden suceder si las empresas están preparadas.

A continuación se presenta información sobre cómo la TD-4.0 impacta en cada área funcional, discriminando según rango de empresas. Esta información se considera relevante puesto que permite colaborar en la identificación de los principales puntos fuertes y espacios de mejora donde deberían concentrarse los esfuerzos.

El gráfico 22 plantea con nitidez que las pymes se encuentran predominantemente en el estadio G1, tal como fuera anticipado en el apartado precedente. Ante esta situación, se percibe un amplio camino por recorrer. Para estos casos, se considera valioso el aporte que emerge del análisis de otras experiencias nacionales e internacionales llevadas a cabo por pymes sectoriales que, partiendo de una base de baja digitalización, han escalado hacia modelos tecnológicos inteligentes.

Gráfico 22 Relación con proveedores



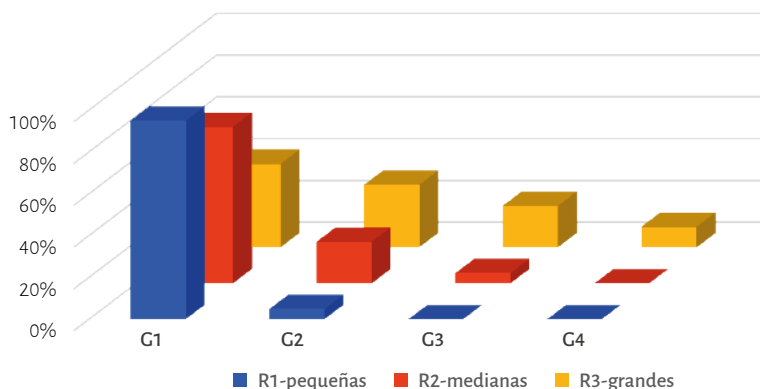
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las empresas más grandes, si bien es evidente la evolución hacia G4, aún existen vastos sectores de la organización industrial que restan ser integrados.

El área funcional de desarrollo de productos tiene por delante un camino prácticamente no explorado (gráfico 23). Es posible que los bajos niveles de adopción de tecnologías 4.0 en esta área se deban a la existencia de matrices de producción ancladas en productos tradicionales, donde la necesidad de nuevas tecnologías parecería ser un componente de futuro y de menor impacto en estos tiempos.

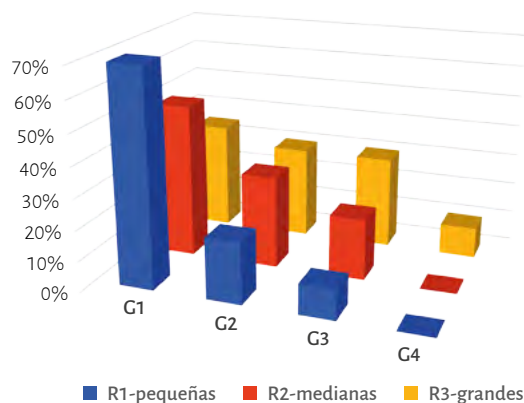
En el área funcional de gestión de procesos productivos se encuentran experiencias a lo largo de todo el abanico de tecnologías trabajadas, desde G1 hasta G4 (gráfico 24). En este sentido, se pueden identificar casos en R1 que intentan aplicar un registro de datos *online* con software de desarrollo cercano a ellas. También se relevaron experiencias en R3, donde se destaca el caso de una empresa grande que trabaja bajo el paradigma *paperless*.

Gráfico 23 Desarrollo de productos



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 24 Gestión de procesos productivos



Fuente: Elaboración propia.

Existe una marcada tendencia en el empresariado lácteo nacional a apostar por inversiones que permitan incrementar la productividad de sus firmas mediante la incorporación de tecnologías de procesos productivos. Esta situación se presenta más frecuente en el caso de las pymes queseras.

Al respecto y a modo de ejemplo, se observa un gran auge en la instalación de robots en punta de línea para el proceso de paletizado. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que se realizan por progresar tecnológicamente en los procesos de producción, los datos que se generan no son explotados en el contexto 4.0 por el momento.

Por ser una cadena de valor adoptante de tecnología, es interesante destacar algunos aspectos de interés para este estudio:

Existen numerosos proveedores sectoriales que cuentan con desarrollos 4.0, aunque su aplicación en la CVLA se centra en la productividad, más que en el uso de datos masivos.

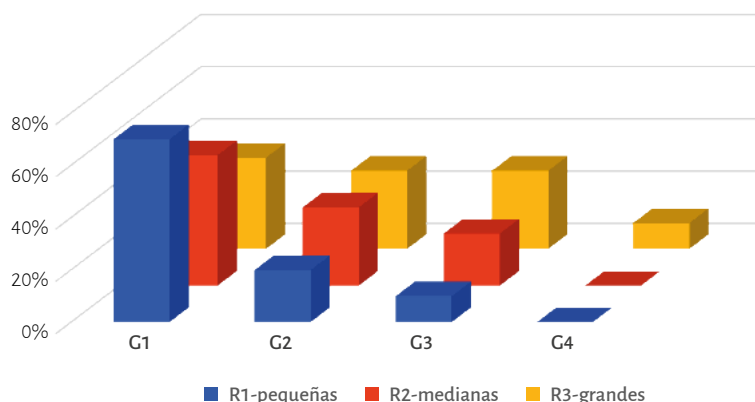
La percepción individual de las empresas más grandes (R3) es que trabajan bajo plataformas 4.0. No obstante, una radiografía más detallada de este segmento indicaría que, por el momento, se encuentra transitando un escenario 3.0 con algunos avances sobre 4.0. En estos casos, es frecuente que las empresas logren adver-

tir las ventajas de avanzar hacia TD-4.0. Sin embargo, para poder dar este paso con éxito, deberán apostar energicamente al desarrollo de capacidades humanas para un adecuado uso de los datos, ya que es una de las principales limitaciones observadas en este estudio.

En R1 y R2 es frecuente encontrar equipamientos producidos por proveedores locales, algunos bajo licencia internacional, que han desarrollado principalmente tecnologías 3.0, con un uso de datos acotado y no planificado para su posterior avance hacia 4.0. Este tipo de equipamiento es más habitual en las líneas de quesos, procesos de evaporación y, en menor medida, secado. La imposibilidad de adaptar estos equipamientos a 4.0 constituye otra de las limitaciones hacia la TD-4.0 identificadas en el presente estudio.

En el área funcional de relación con clientes (gráfico 25), si bien persiste una aplicación progresiva de menor a mayor entre las empresas de los rangos R1 a R3, se destacan algunas empresas de menor tamaño (R1) que trabajan a través de la plataforma Mercado Libre bajo un concepto orientado a B2B –por ejemplo, venta a rotiserías–. En este mismo segmento, se detectó una empresa que transmite sus pedidos de manera directa desde la o el cliente hacia la fábrica, lo cual permite gestionar los *stocks* y adecuar las producciones con información actualizada de manera permanente.

Gráfico 25 Relación con clientes

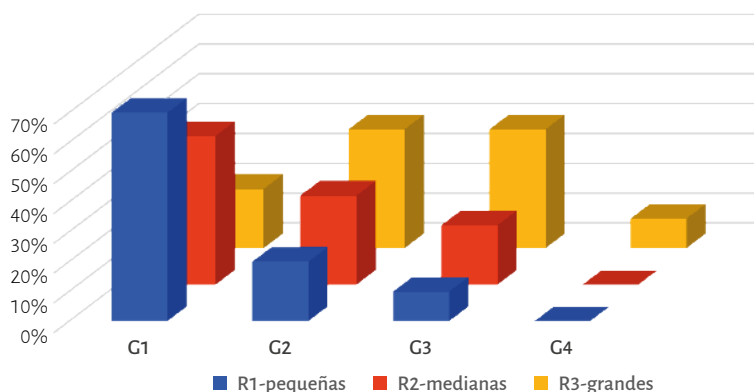


Fuente: Elaboración propia.

Los grandes avances que ha transitado el camino del *e-commerce*, sumado al bajo costo relativo de su implementación, pueden representar un hito para las R1. En particular, se considera que este tipo de tecnologías, aplicadas fundamentalmente para administrar la relación de las empresas más pequeñas con las y los clientes, constituye un factor diferenciador más relevante que las mejoras de alta tecnología en los procesos productivos, en especial en aquellas pymes que se encuentran en fases embrionarias de transformación digital.

El área funcional de gestión de los negocios es un área vital para cualquier empresa. De acuerdo con los datos del gráfico 26, se observa una gran dispersión de información entre los diferentes rangos empresariales: mientras las R1 y gran parte de las R2 tienen un desarrollo de nivel bajo, las R3 evolucionan a sistemas integrados –ERP con BI–, lo cual les permite procesar mayores volúmenes de datos presentes y acrecentar sus capacidades futuras para el manejo de información.

Gráfico 26 Gestión de negocios



Fuente: Elaboración propia.

La oferta de sistemas de tipo ERP ha evolucionado, y actualmente es posible encontrar un grupo considerable de proveedores que ofrecen productos adaptados para diferentes escalas productivas y niveles de complejidad de líneas de productos.

Habilidades requeridas para el personal

El análisis de las capacidades laborales disponibles en la industria láctea representa uno de los elementos centrales en el estudio de la TD-4.0.

En este trabajo se consultó respecto de las habilidades laborales actualmente requeridas por las empresas, pero también se indagó en relación con las expectativas y potenciales demandas de capacidades futuras, partiendo de reconocer la consolidación a mediano plazo de un escenario signado por el avance tecnológico y la digitalización.

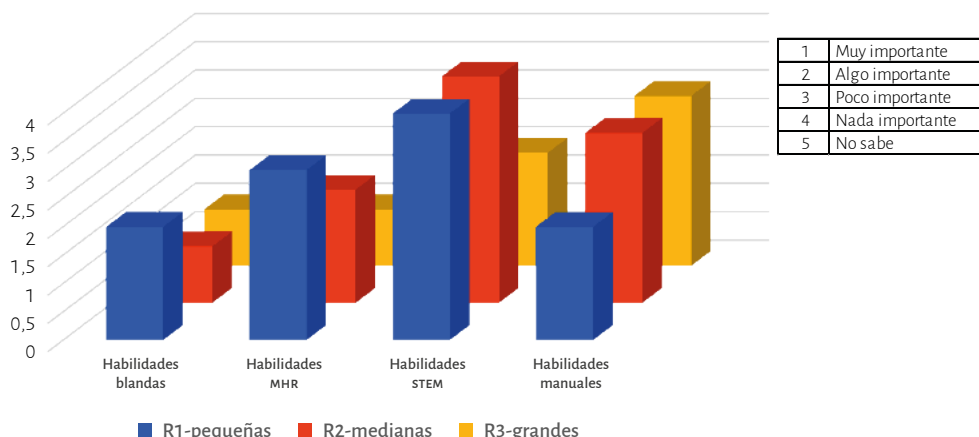
Las empresas más pequeñas suelen valorar en menor medida las habilidades blandas que los rangos de empresas medianas y grandes. En general, mientras mayor es el volumen procesado por la empresa, mayor relevancia se le otorga a la disponibilidad de capacidades laborales preparadas para el manejo de sistemas automatizados. En contraposición, las capacidades para el trabajo manual poseen una mayor importancia en las firmas del R1, debido a que en estas organizaciones es menos frecuente contar con equipamiento instalado para la automatización (gráfico 27).

Por otro lado, las habilidades STEM –vinculadas con las ciencias duras– solo adquieren cierto valor entre las empresas del R3.

Con la mirada puesta en el largo plazo, no se perciben con claridad demandas de habilidades laborales ligadas al proceso de TD-4.0 entre las empresas de los R1 y R2. Apenas algunos elementos pueden ser referenciados como saberes críticos a futuro, entre los que se destacan temas de mantenimiento, gestión de *stocks*, logística y, en menor medida, sensores *smart*.

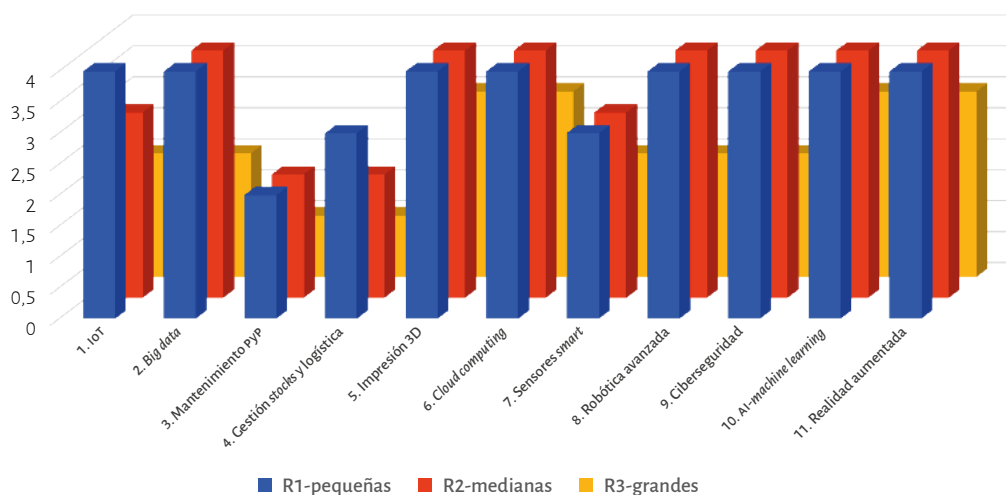
Para el caso de las empresas R3, las áreas de mayor importancia se concentran en las capacidades laborales relacionadas con inteligencia artificial (IA), *machine learning*, *cloud computing*, impresión 3D y realidad aumentada (gráfico 28).

Gráfico 27 Habilidades requeridas actualmente



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 28 Habilidades para la transformación digital



Fuente: Elaboración propia.

Perspectivas empresariales hacia la TD-4.0 en un horizonte de cinco a diez años

Existe una visión compartida en todo el conjunto de la industria láctea nacional respecto de que la TD-4.0 constituye un proceso que “llegó para quedarse”, tal como lo fue –o es– la I3.0.

Si bien existe cierto consenso sobre el avance futuro de las GTD, esta proyección debe ser considerada antes como una expresión de deseo y no tanto como una posición arraigada en el empresariado local sobre la cual construir y proyectar acciones futuras. Refuerzan este planteo el hecho de que casi la totalidad de las empresas del segmento R1 y muchas de la cohorte R2 indican que tienen en agenda la implementación de proyectos ligados a la TD-4.0, pero todos ellos transitan todavía la fase de estudio inicial o exploración, sin avizorar escenarios concretos de implementación.

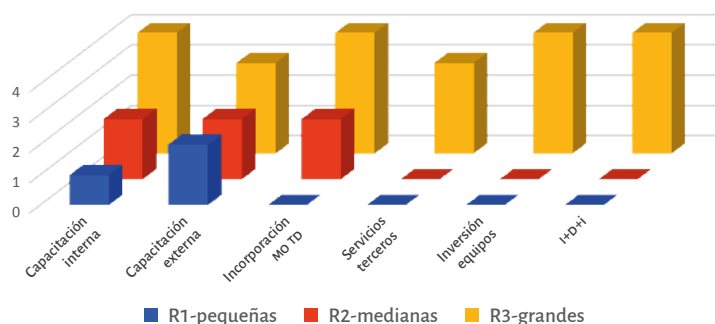
A partir de lo expuesto, se puede decir que apostar por una mayor TD-4.0 requiere conocer además la diversidad que caracteriza los distintos eslabones que integran la industria láctea nacional.

Como fue anticipado anteriormente, un vector de relevancia y con potencial para el sector de las mipymes R1 se encuentra en el *e-commerce*. Se perciben mayores ventajas con este tipo de estrategias que sobre la promoción de estímulos para la transformación de los procesos de producción. Sobre estos últimos, el umbral de partida suele ser más retrasado, y además es necesario contar con mayor disponibilidad y dotación de recursos. En sintonía con las estrategias que están en condiciones de adoptar las empresas de menor escala, desde la Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y los Emprendedores (SEPYME) se han organizado actividades sobre oferta digital y gestión logística para mipymes del sector lácteo.⁴ Tal vez sería necesario complementar estas iniciativas con una visión integral del negocio y los procesos.

Distinta es la realidad de las empresas más grandes. En el segmento R3 suele distinguirse con claridad el camino identificado por cada empresa para avanzar hacia la TD-4.0. Las posibilidades o no de transitar esos senderos depende, por lo general, de elementos externos a la firma, como la falta de alternativas crediticias, el actual contexto de crisis sanitaria que aletargó ciertas definiciones críticas y el comportamiento precautorio de muchos empresarios/as ante los vaivenes que transita la economía nacional.

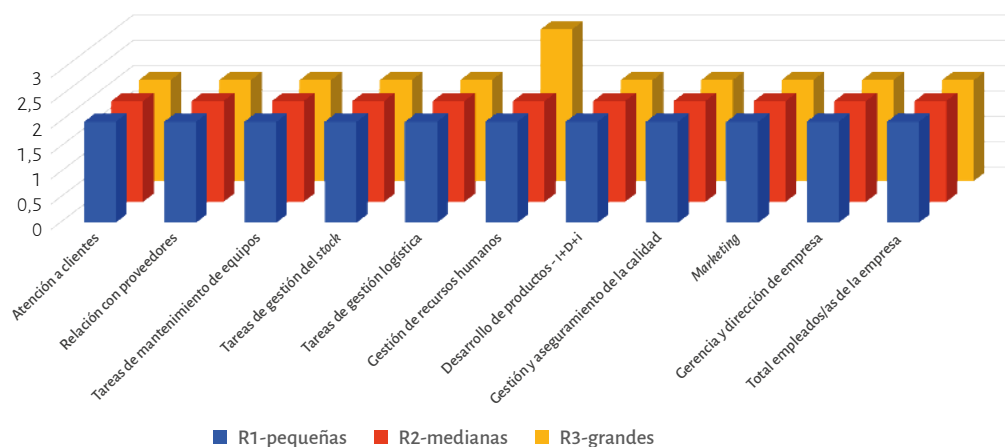
El gráfico 29 resume las respuestas vertidas por las empresas de cada rango consultado respecto de la importancia que otorgan las inversiones orientadas a la TD-4.0.

Gráfico 29 Inversiones hacia la transformación digital



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 30 Impacto de la automatización



Fuente: Elaboración propia.

⁴ Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/produccion/asistencia-digital-para-pymes/talleres-oferta-digital>.

En relación con el tema central de este apartado, se indagó sobre el impacto esperado de la automatización en las diversas áreas que integran el núcleo de producción y negocios de una empresa. En general, todas las firmas ponderan la automatización como determinante crítico para lograr una mayor productividad. No obstante, todavía es posible distinguir el predominio de una mirada global que asocia el crecimiento de la productividad a la posibilidad de procesar mayores volúmenes de leche. En conclusión y tal como muestra el gráfico 30, el total de empleados/as no presentaría modificaciones vinculadas con un potencial avance de la automatización.

Principales interpretaciones del relevamiento

Gracias al aporte realizado por un conjunto variado de referentes ligados al eslabón industrial de la cadena láctea argentina, es posible reflexionar y concluir sobre ciertos aspectos relacionados con la TD-4.0 de este sector.

- > La TD-4.0 en la CVLA, en general, y en el sector industrial, en particular, presenta indicadores de inserción incipiente, con alta variabilidad según el tamaño de las empresas. Mientras que en el estrato de mipymes es poco frecuente encontrar experiencias concretas de aplicación de tecnologías 4.0, en el de mayor escala es posible distinguir iniciativas más avanzadas.
- > A pesar del mayor grado de avance hacia 4.0 que muestran algunas empresas grandes, todavía resta camino para llegar a considerarlas un bloque de firmas que actúan bajo el paradigma 4.0 en su completitud.
- > Desde la mirada de las áreas funcionales, el desarrollo de productos es el espacio que evidencia menores niveles de inserción de CTD respecto de las otras áreas, tales como la gestión de los procesos productivos, la relación con la o el cliente y la gestión del negocio. Este resultado se presenta lógico a partir del análisis de las líneas de producción de las firmas, basada en productos tradicionales.
- > En las empresas del R1 y algunas del R2, la importancia del *e-commerce* emergió como una necesidad importante. En la actualidad, muy pocas empresas exploraron las alternativas que ofrecen los formatos B2B—vía Mercado Libre, por ejemplo—, tiendas virtuales—conectadas a eDairy Market—o la aplicación de transferencias *online* de ventas a planta.
- > Existe al menos un caso de asociativismo en el que se crearon locales comerciales (Almacén de Quesos) a través de los cuales es posible agregar valor a la marca del socio e incrementar los volúmenes de comercialización gracias a la apertura de numerosas bocas de expendio en ciudades medianas y grandes de la provincia de Santa Fe.
- > Desde lo tecnológico, muchas industrias R1 y R2 se han tecnificado gracias al aporte de fabricantes de equipos nacionales, de los cuales algunos operan bajo licencia de empresas líderes mundiales. Así, se observó un avance en algunas empresas en cuanto a la incorporación de procesos de automatización, tales como PLC en tinas y pasteurizadores, la mecanización y la robotización—especialmente sobre finales de línea—. Todas estas tecnologías, si bien constituyen innovaciones para las empresas locales, son iniciativas mayormente consideradas dentro del paradigma 3.0.
- > Entre las empresas que han apostado activamente por la automatización de procesos, son muy pocas las que también han introducido alguna innovación que les permita capturar información *online* y transportarla a la nube para generar reportes o insumos a otras áreas funcionales de la firma. Esto confirma el incipiente grado de inserción de las tecnologías 4.0 en la industria láctea nacional.
- > Existe un espacio para avanzar hacia la TD-4.0 mediante la vinculación de las empresas lácteas con los desarrolladores locales de software y servicios informáticos. En general, las empresas de menor escala

que cuentan con algún proceso digitalizado han accedido a los servicios de empresas locales. En el caso de las empresas más grandes (R2 y R3), es frecuente la presencia de sistemas ERP más conocidos, tales como SAP, ORACLE, INFOR, TANGO, CALIPSO y otros. Se trata de ERP mayormente aplicados a la gestión de los negocios, el manejo de proveedores y, en algunos casos, instrumentados para la gestión de datos para generar ICD.

- > Con respecto a los procesos, existen grandes proveedores de tecnología para la industria láctea que instalan líneas automatizadas, robotizadas y con opciones 4.0. Se destacan las firmas GEA –en leche en polvo– y TetraPak –leche fluida larga vida–, solo por nombrar algunas. Estos proveedores, si bien ofrecen alternativas para incorporar tecnologías 4.0 a los procesos, suelen encontrarse con una fuerte subutilización del potencial que ofrecen estas herramientas, como consecuencia de la explotación parcial que realizan las empresas lácteas de las oportunidades disponibles en los equipamientos instalados.
- > Es común encontrar niveles tecnológicos muy diferentes en empresas que pertenecen a un mismo segmento. Sin embargo, a pesar de la dispersión de casos, existe consenso entre las y los referentes consultados respecto del estado embrionario en la aplicación y uso de tecnologías 4.0. En general, se menciona que los esfuerzos de las empresas apuntan de manera central a desarrollar inversiones que les permitan lograr mayores niveles de productividad, antes que a estimular procesos de cambio profundo en los sistemas organizacionales, como promueve la TD-4.0.
- > En sintonía con el planteo previo, las proyecciones a futuro avizoran un escenario con similar dotación de personal, con ganancias de productividad, fundamentalmente derivadas de un incremento en el procesamiento de litros de leche de los establecimientos.
- > Para finalizar, se percibe un moderado grado de desconocimiento en relación con las ventajas y oportunidades que ofrecen las tecnologías 4.0 y la baja dotación de personal en las empresas capacitado para la implementación de estas tecnologías. Partiendo de reconocer la función determinante que cumplen los recursos humanos en los procesos de innovación empresarial, sumado a los elementos culturales que suelen ser reacios al cambio, el sendero hacia la transformación digital tiene aún mucho camino por delante.

RELEVAMIENTO DE CASOS HACIA LA TD-4.0

En el presente apartado se presentan algunos casos relevados en las entrevistas con referentes del sector lácteo nacional. Estos casos permiten comprender los esfuerzos que realizan las empresas –en particular, las mipymes– en un intento por incorporar innovaciones que les permitan avanzar hacia la TD-4.0. La presentación de los casos parte de analizar ejemplos para cada una de las áreas funcionales detectadas y rango de empresas, donde se simplifica en mipymes y grandes, y las medianas se ubican en alguna zona más cercana entre ambas.

Gestión de los procesos productivos

En mipymes:

- > Registros productivos *online*: se trata de una pyme quesera que ha pasado el mando de la firma a una nueva generación. Actualmente se trabaja en la utilización de formularios *online* para la carga de todos los registros operativos de la empresa y evitar así incurrir en registros manuales.

- > Integración de datos: pymes queseras y fábricas de dulce de leche que emplean un sensor PLC, el cual colecta datos a través de un hardware para luego enviarlos a la nube y desde allí elaborar reportes.

En empresas grandes y algunas medianas:

- > Industria *paperless*: empresa grande que implementó un sistema de carga *online* de registros productivos, para luego trasladar los programas de producción vía celular a un operador/a, quien utiliza la información disponible para transformar la leche. Este caso resalta la importancia de la capacitación del personal en las empresas.
- > Productividad en línea de quesos: empresa grande nueva que inició la robotización en un sector intermedio y fue ampliando hasta el paletizado. Tiene la base para una TD-4.0 parcial, pero aún no procesan los datos disponibles.
- > Integración en líneas de leche larga vida: la empresa Tetra Pak es líder en la provisión de sistemas completos que permiten automatizar y disponer de los datos para su posterior uso vía IA y *machine learning*. Sin embargo, las empresas no registran los datos *online* de todo el circuito (esterilizador, homogeneizador, sistemas de limpieza, controles de proceso y de laboratorio, entre otros), lo cual hace que se pierdan los beneficios del análisis en línea e histórico, con riesgo de pérdida de productos y mercados.
- > Varias empresas disponen de sistemas para mantenimiento preventivo y predictivo.

En mipymes y grandes empresas:

- > Utilización de sensores y actuadores para control de procesos y aseguramiento de la calidad. Existe un incipiente uso para control de pH, temperatura, concentración de sólidos, color, carbono total, etcétera.

Relación con proveedores

En mipymes:

- > Trazabilidad de la producción primaria: se trata de una planta altamente automatizada que recibe información a tiempo real de parte de clientes y cuenta con trazabilidad de la producción primaria que recibe de los tambos. La planta cuenta con un ingeniero electrónico que visualiza y gestiona *online* desde su celular.
- > Gestión del tambo: desarrollo conjunto de empresas para gestionar la calidad de leche de los productores mediante el uso de un celular que transfiere información *online*. Pueden monitorear el uso de la ordeñadora, ciclos de limpieza, equipo de frío, entre otros. Se comparte la información con el productor.

En empresas grandes y algunas medianas:

- > Muchas industrias de estos rangos disponen de algún ERP que integra los pedidos a los proveedores.

Gestión del negocio

En mipymes:

- > En general, utilizan sistemas propios con escasa integración *online*.
- > Existe un proyecto en desarrollo en asociaciones de empresas.

En empresas grandes y algunas medianas:

- > ERP: varias empresas gestionan mediante sistemas integrados (SAP, ORACLE, INFOR, TOTVS, TANGO, CALIPSO). Sin embargo, el análisis de los datos aún es incipiente.

Desarrollo de productos

En mipymes:

- > No se observan casos novedosos.

En empresas grandes y algunas medianas:

- > Uso de programas para optimizar fórmulas.
- > Generación de información nutricional mediante software y diseños para uso nacional e internacional.
- > Programas para gestión de proyectos.

Relación con clientes

En mipymes:

- > *E-commerce* B2B: práctica utilizada por algunas pymes—que producen menos de 50.000 litros—, mediante el canal de ventas que ofrece la plataforma Mercado Libre.
- > Logística de ventas *online*: se relevó el caso de una pyme que recibe *online* los datos de ventas y pedidos de las y los clientes para así programar su producción y las entregas. Además, tiene puestos de venta en diversas localidades de la región.
- > Tiendas físicas con uso de redes sociales: el conjunto (Almacén de Quesos) no solo agrega valor a las marcas de los socios, sino que promueve la innovación para satisfacer demandas de las y los clientes.
- > Capacitación comercial: nueva generación al frente del negocio, interés por mejorar los conocimientos de su personal de ventas.

En empresas grandes y algunas medianas:

- > Disponen de canales comerciales tradicionales y algunos con tiendas *online*.
- > Ofrecen información en la web o redes sociales sobre sus productos, con detalles de formatos e información nutricional.

INSTITUCIONES RELEVANTES EN LA TD-4.0 DEL SECTOR INDUSTRIAL LÁCTEO

En el proceso de digitalización productiva de la cadena láctea argentina, son claves la integración, la colaboración, la convergencia y el trabajo territorial articulado entre todo el sistema institucional de apoyo a la industria nacional.

En este sistema, cada componente es crucial para que todo funcione en equilibrio, desde los proveedores hasta los usuarios, desde los organismos de cyT hasta las universidades y empresas.

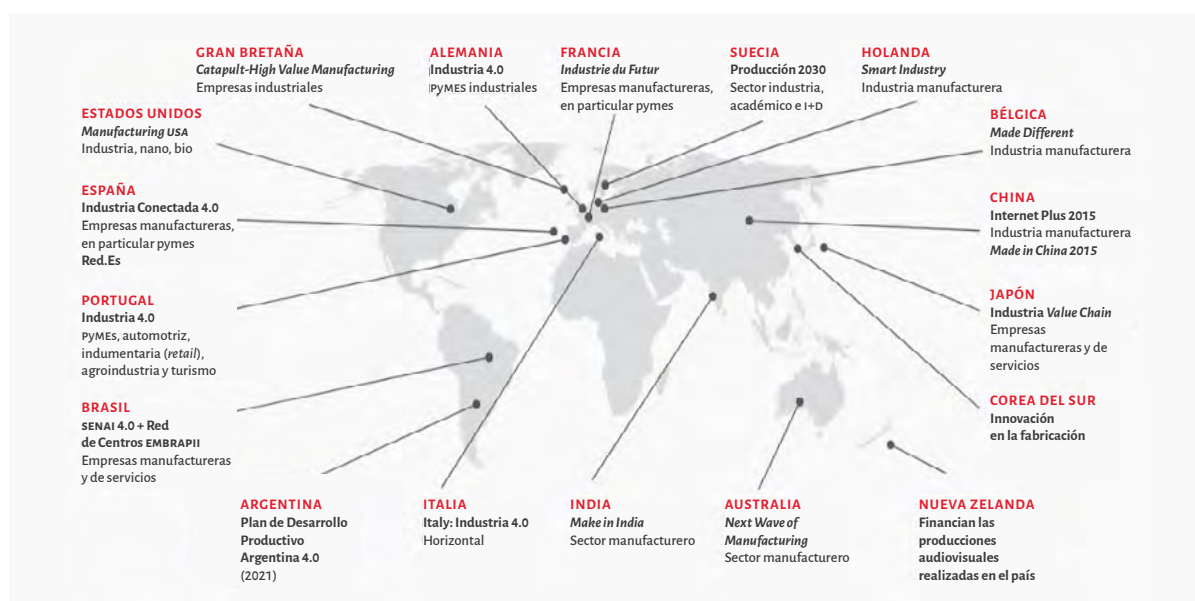
A nivel nacional, el Ministerio de Producción de la Nación lanzó en 2021 el “Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0”. Se trata de una iniciativa que tiene por objetivo promover la incorporación de tecnologías 4.0 al entramado productivo nacional. Para ello cuenta con un financiamiento de 12.500 millones de pesos—aproximadamente 130 millones de dólares— y se centra en las siguientes propuestas:

- > Desarrollar capacidades vinculadas a la economía del conocimiento.
- > Formar e incorporar recursos humanos en áreas de la economía del conocimiento.
- > Incorporar tecnologías de I4.0.
- > Identificar proveedores y aliados estratégicos.
- > Adoptar soluciones de logística.
- > Generar vínculos con el sistema nacional de innovación.
- > Acceder a herramientas de apoyo o financiamiento.
- > Adecuar plantas y procesos a los nuevos protocolos sanitarios.
- > Informarse sobre certificaciones y homologaciones.
- > Vincularse con otros organismos públicos nacionales.

Este plan ha sido diseñado a partir de experiencias y aprendizajes de otros países de la región y del mundo, y busca promover una mayor inserción de tecnologías 4.0 en la industria nacional, como IA, IoT, robótica, impresión 3D, servicios en la nube y ciberseguridad (figura 3).

El sistema de innovación ligado al eslabón industrial de la cadena láctea nacional está integrado por las empresas, las instituciones de I+D y las universidades. A pesar de que existen muchas organizaciones ligadas a la cadena, no todas ofrecen asistencia y asesoramiento para la implementación de innovaciones bajo el pa-

Figura 3 Planes estratégicos 4.0 a nivel internacional



Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación (2020).

radigma de la 4.0. Además, en muchos casos, estas instituciones trabajan de manera aislada, con lo cual se atenúa el impacto potencial de los servicios ofrecidos.

Previamente se desarrolló una breve descripción de las capacidades nacionales y provinciales de cyT que sirven de soporte al sector lácteo. Los principales aportes que realizan estas instituciones se centran en la formación de recursos humanos calificados, el apoyo a innovaciones de producto y de proceso, en la digitalización de la producción y en la asistencia técnica para la adopción de estándares de calidad, higiene y buenas prácticas.

En sintonía con el planteo de Erbes *et al.* (2018), se trata de áreas de intervención importantes para impulsar el desarrollo tecnológico de productores y empresas lácteas, y ayudarlos a alcanzar los umbrales mínimos necesarios para la adopción de tecnologías de ruptura.

Al focalizar el análisis en la industria láctea nacional, a continuación se enumeran las principales capacidades institucionales de cyT que brindan servicios al sector en temáticas relacionadas con la TD-4.0.

- > Las universidades nacionales, especialmente aquellas orientadas a la formación de profesionales en el área de las ingenierías y tecnologías de la información, aportan capacidades a la industria en temáticas 4.0, tales como digitalización, automatización, *big data*, *machine learning* y optimización.
- > Existen numerosos institutos universitarios de investigación (INLAIN, ITA-UNL, el CIT Villa María Córdoba y el CIT UNRAf-CONICET) que ofrecen servicios y asistencia relacionada con las temáticas de manufactura avanzada y tecnologías 4.0.
- > El Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación creó la Red de Asistencia Digital para Pymes. Se trata de una plataforma web que coordina la oferta nacional de productos, servicios y soluciones tecnológicas disponibles, con el propósito de favorecer e impulsar la digitalización de las pymes. El carácter innovador de esta plataforma es que permite a las empresas de todo el país acercar sus necesidades tecnológicas y asistirlas en el proceso de identificación de las herramientas disponibles para la digitalización. Entre los principales servicios ofrecidos por este espacio, se encuentra la asistencia técnica y financiera, la posibilidad de realizar autodiagnósticos de madurez digital, la oferta de capacitaciones disponibles y la opción a conocer casos exitosos de TD-4.0 en empresas del país.
- > La Red CENTEC es un espacio de articulación de las actividades realizadas por un conjunto de centros de desarrollo y servicios tecnológicos de la Argentina. De los 13 centros que componen esta red, tres tienen una activa vinculación con la industria láctea y brindan asistencia en temáticas vinculadas con TD-4.0:
 - CENTEC Rafaela: realiza aportes en el área de manufactura aditiva (impresión 3D) en polímeros de ingeniería y metales, mecatrónica y ensayos eléctricos.
 - CITES Santa Fe: aporta servicios tecnológicos con acceso a laboratorios de biotecnología, prototipado rápido, ingeniería 3D y optoelectrónica.
 - CAFYPEL: ofrece ensayos y simulaciones de parámetros de funcionamiento y diseño de equipamientos para la cadena alimenticia, en particular láctea.
- > El INTI, en particular los centros orientados a la industria láctea (INTI Lácteos Rafaela y Migueletes), ofrecen servicios a las pymes lácteas para el desarrollo y la adaptación de tecnologías. Esta institución cuenta con diversos equipamientos y líneas de trabajo destinados a facilitar el camino de las pymes hacia la TD-4.0. Se destacan las actividades que realiza la institución en el área de automatización de procesos industriales, en la promoción de buenas prácticas en temas de calidad, la disponibilidad de

analizadores automáticos de composición de leche y productos lácteos, las actividades y los equipamientos en el área del análisis sensorial de productos y la asistencia que brindan sus profesionales en el área de reingeniería de plantas, entre otros.

- > En la Estación Experimental Agropecuaria INTA Rafaela funciona una incubadora de emprendimientos de base tecnológica (INCUVA) que brinda asistencia técnica y la disponibilidad de infraestructura para la incubación de pymes lácteas innovadoras. Desde 2017 –año de su creación– se han acompañado propuestas industriales innovadoras en más de 40 pymes lácteas de la región central de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires.
- > El IDICAL (INTA Rafaela-CONICET), en conjunto con INTI-Lácteos de Rafaela, desarrolla programas de investigación, transferencia de tecnología y asistencia técnica para pymes, en particular sobre temas de I+D de productos y en el aprovechamiento de subproductos lácteos. Si bien el foco de las acciones de este organismo se centra en el eslabón primario de la cadena, en los últimos años se han incorporado variadas líneas de trabajo, actividades y servicios relacionados con el sector industrial –INCUVA es la plataforma de vinculación con las empresas lácteas.
- > El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, en conjunto con las autoridades de aplicación provinciales de cyT, constituyen plataformas determinantes para el acompañamiento de las pymes innovadoras hacia la TD-4.0. Estas dependencias aportan financiamiento para las actividades de investigación, también acompañan la provisión de infraestructura y de equipamiento. Especial relevancia asume el trabajo de estos organismos como vehículos para la vinculación entre las organizaciones del sistema de cyT nacional con el sector productivo. Desde estos espacios se trabaja activamente en la divulgación de los conocimientos producidos por el quehacer científico-tecnológico y sus aplicaciones en la sociedad, pilares fundamentales para la TD-4.0 de la economía nacional.

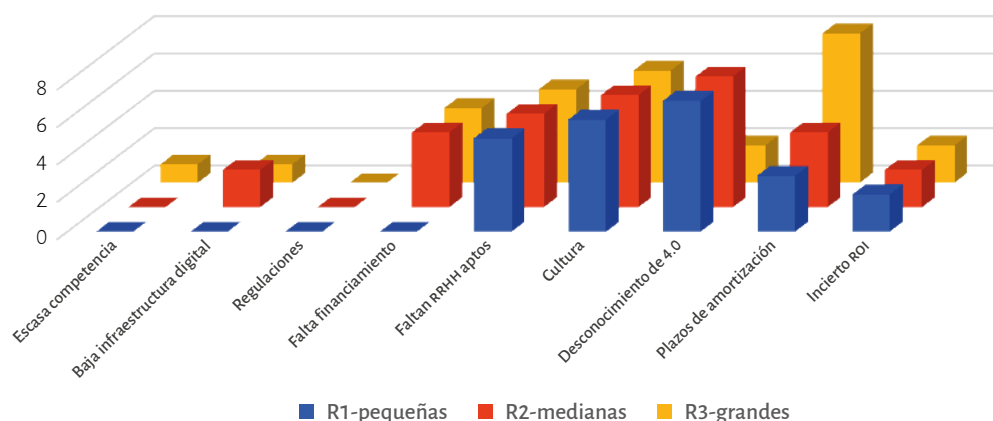
PRINCIPALES OBSTÁCULOS HACIA LA TD-4.0

A continuación, se presenta un breve listado de las principales restricciones referidas por las y los representantes de las empresas lácteas consultadas al momento de adoptar nuevas tecnologías (gráfico 31):

- > En todos los segmentos empresariales se mencionó como una limitación la falta de recursos humanos aptos. Se enunciaron barreras culturales que actúan como elementos de aversión al cambio y se planteó la incertidumbre respecto del ROI como un impedimento para la implementación de tecnologías 4.0.
- > Los plazos de amortización impactan más en R3 que en el resto de los estratos.
- > El financiamiento se valora más en R2 y R3 porque están en el camino hacia la transformación digital.
- > Existe un gran desconocimiento sobre 4.0 en R1 y R2.
- > La baja infraestructura digital resalta en R2 y algo en R3, pero no en R1, tal vez porque no se percibe esa necesidad aún.

De manera complementaria, las consultas con referentes vinculados al sector aportan elementos adicionales para el análisis, como la necesidad de contar con una mayor dotación de profesionales que puedan integrar tecnologías y favorecer su escalabilidad, la asistencia a las empresas de menor tamaño para la identificación de los modelos de negocio mejor adaptados a las particularidades de cada firma y la importancia de generar capacidades internas que permitan optimizar los procesos productivos y tecnológicos en marcha.

Gráfico 31 Obstáculos percibidos hacia la transformación digital



Fuente: Elaboración propia.

Con especial hincapié, se resaltó la necesidad de dotar al sector industrial de mayores capacidades en cuanto a la formulación y evaluación de proyectos de inversión, un elemento crítico para maximizar el comportamiento inversor—especialmente cuando se trata de inversiones en automatización que implican una erogación inicial de envergadura.

RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN EL SECTOR LÁCTEO

La CVLA se segmenta en tres grandes rangos con marcadas diferencias entre sí. Por un lado, el segmento de empresas R1-pequeñas o mipymes son firmas que procesan menos de 50.000 litros de leche diarios y se dedican fundamentalmente a la producción de quesos. En el extremo opuesto, al segmento R3-grandes lo componen firmas que procesan más de 250.000 litros de leche diarios y realizan una combinación de productos como la producción de quesos, leche larga vida, leche en polvo, entre otros. En el medio se ubican las empresas del R2-medianas, de las cuales algunas pueden asimilarse a mipymes y otras poseen características más cercanas a las grandes empresas.

A nivel institucional, existen organizaciones que agrupan firmas según un criterio de tamaño o afinidad regional. A modo de ejemplo, se pueden mencionar el Centro de Industria Lechera, la Asociación de las Pequeñas y Medianas Empresas Lácteas, la Junta Intercooperativa de Leche, las distintas cámaras regionales lecheras y la Fundación para el Desarrollo de la Lechería, entre las más importantes.

Este sector recibe servicios de asistencia técnica profesional de parte de un conjunto de entidades que cuentan con estructuras dedicadas a la lechería, como el INTA, el INTI—en particular el INTI Lácteos—, la Red CENTEC y numerosos institutos universitarios de investigación.

Desde la esfera pública, existe una Dirección Nacional Láctea, dependiente del MAGYP, cuya función es intervenir en la ejecución de políticas, planes, programas y recursos relacionados con los productores y la producción lechera, para procurar el equilibrio entre productividad, sostenibilidad y distribución territorial. El trabajo de esta dirección se complementa con las acciones que realizan los gobiernos provinciales, fundamentalmente a través de las secretarías de lechería de las provincias, las que dependen mayoritariamente de las carteras de producción.

Como puede observarse, existen múltiples organizaciones relacionadas con el sector industrial lácteo. Aun así, es frecuente encontrar espacios de mejora en la vinculación del trabajo institucional, muchas veces desarticulado, lo cual reduce el impacto de las políticas públicas implementadas. Fomentar una mayor sinergia y articulación entre las organizaciones de apoyo al sector lácteo nacional es una asignatura que todavía debe optimizarse.

La tarea no es sencilla. Existen disputas históricas entre los eslabones de la CVLA, en particular entre productores e industria. Estas pujas sectoriales atentan contra la implementación de proyectos transversales. Por ejemplo, no se pudo articular un sistema logístico común para la recolección de la materia prima (leche) como se hizo en otros países, con el consiguiente ahorro de costos. También existen diferencias en las perspectivas de negocio lácteo según el tamaño de las firmas, lo que dificulta la instrumentación de propuestas asociativas.

Respecto de las inversiones, se destaca que todos los rangos invierten en la medida de sus posibilidades. El objetivo es mejorar la productividad, la calidad y ofrecer un *mix* de productos que se adapte a la demanda de los mercados nacionales e internacionales. Las empresas grandes, donde aparecen las “nuevas grandes”, han adoptado tecnologías dedicadas en leches fluidas larga vida, quesos de mayor consumo y leche en polvo. Las pymes todavía persisten en una estructura de productos centrada en la elaboración de quesos, mayormente de pasta blanda.

Un elemento determinante para la transformación digital de la industria nacional, válido especialmente para el segmento de las mipymes lácteas, es contar con programas de financiamiento aplicables al tipo de inversiones que demanda la digitalización empresarial: incorporación de dispositivos tecnológicos, mejora en la conectividad o asesorías técnicas especializadas.

Por lo general, los instrumentos financieros disponibles son escasos, y no se prevén expectativas de mejora a corto plazo, en tanto persistan ratios inflacionarios elevados. Como complemento a la escasez, una de las principales limitaciones de las líneas de crédito disponibles es que no suelen contemplar las especificidades que demandan los proyectos de transformación digital, razón por la cual muchas veces las propuestas presentadas por las empresas suelen ser desestimadas.

Excepcionalmente, se pueden mencionar el instrumento “PAC Transformación Digital”, una iniciativa que permite a las pymes argentinas obtener un aporte no reembolsable de hasta el 70% del costo de un proyecto con recursos del Estado nacional y del BID, y la línea de “Créditos para la Transformación Digital” que lanzó el Banco de la Nación Argentina (BNA) en 2021. Sobre el programa PAC, se destaca como positivo que ha sido gestado para acompañar a las empresas en el camino hacia la TD-4.0, lo que facilitó el tránsito digital de casi 150 firmas a lo largo de 2021. No obstante, con una mirada más amplia, el capital total disponible en este fondo—del orden de los 700.000 dólares—se considera insuficiente para una efectiva transformación de la matriz productiva nacional.

Respecto de los créditos del BNA, si bien el monto total asignado resulta más abultado—aproximadamente 10 millones de pesos—y las condiciones crediticias se presentan favorables, los elevados tiempos de tramitación y la complejidad inherente a la gestión de los créditos solicitados en la banca pública nacional suelen ser barreras insuperables para muchas empresas y atentan contra el potencial transformador del instrumento.

Por consiguiente, para que las mipymes puedan mejorar la gestión de los negocios, incrementar la productividad y mejorar la eficiencia de los procesos bajo el paraguas que ofrecen las tecnologías 4.0, será necesario

agilizar el acceso al financiamiento empresarial y extender su cobertura no solo a la adquisición de bienes de capital, sino también al financiamiento—al menos parcial—de los gastos de asistencia técnica que insume el desarrollo de los proyectos de digitalización.

La transformación digital hacia tecnologías 4.0

Este concepto significa un profundo cambio de modelo de gestión, con alto impacto sobre todos los eslabones que integran la cadena de valor. Los datos del relevamiento permiten inferir la existencia de un amplio campo de oportunidades todavía sin transitar en el camino hacia una competitividad sustentable.

En las empresas lácteas más pequeñas (R1) predominan niveles de CTD 1 y 2. En las más grandes, se aprecia una evolución mayor, pero sin aplicación plena de tecnologías 4.0.

Resulta importante comprender que el espectro tecnológico 4.0 es muy amplio y con mucha dinámica evolutiva. La incorporación de IIOT puede optimizar la eficacia operativa y la producción industrial. A corto plazo, estos beneficios tienen mayores posibilidades de inserción en las empresas más grandes (R3).

La tecnología RFID⁵ puede ser de gran utilidad como herramienta para implementar trazabilidad en las empresas; en una primera etapa, centrada solo con información almacenada en el objeto, y en una segunda instancia, compartiendo dicha información en tiempo real.

A mediano plazo, las tecnologías *big data* se presentan como las más disruptivas. En este agrupamiento, se incluyen aquellas tecnologías destinadas a la captura, registro, comunicación, procesamiento y conservación de datos. En Europa ya se están utilizando, pero en la Argentina su empleo es marginal. Para que esto suceda, será necesario que las empresas lácteas—fundamentalmente las más grandes, que ya tienen sistemas ERP, como SAP—inviertan en estas tecnologías que mejorarían su *business intelligence*. Esto va a traer aparejado el uso de la nube industrial como plataforma para el almacenamiento de datos y la implementación de sistemas de ciberseguridad.

Está claro que la forma de producir está cambiando, con ciclos de vida de los productos cada vez más cortos, mayor competencia, productos individualizados con lotes más pequeños y procesos más complejos. Las que pueden sacar ventajas en primera instancia son las empresas más grandes, puesto que cuentan con equipamiento e infraestructura instalada acorde a las necesidades. En el caso de las mipymes, el volumen de las inversiones iniciales resulta relevante, razón por la cual están en desventaja relativa respecto de las grandes. Además, entre las empresas más pequeñas, priorizan otras urgencias asociadas a la inestabilidad macroeconómica nacional y la necesidad de supervivencia de las firmas.

Otra tecnología posibilitadora dentro de 4.0 es la implementación de sistemas ciberfísicos. En este caso sí pueden aplicarse en el corto plazo en todo el espectro de empresas—pequeñas, grandes y medianas—porque son de costo accesible y facilitan el control de procesos y de calidad. La incorporación de sensores y actuadores para el control de procesos ya sucede en muchas empresas pequeñas que permiten trabajar sobre pH, temperatura, flujo másico, presión, nivel de líquidos o sólidos, concentración de sólidos, color, CO₂, O₂, etc. Y en el corto plazo se verán los biosensores como una cosa normal a partir de su abaratamiento, los envases inteligentes y los envases activos, la realidad aumentada y las aplicaciones para alimentos que utilizan los

⁵ Radio-frequency Identification.

smartphones. La robótica colaborativa ya se introdujo en muchas empresas lácteas y se va a seguir incrementando en los próximos años, al igual que el mantenimiento predictivo.

Aportes para los responsables de las políticas públicas hacia la TD-4.0

En un mundo globalizado, donde la competencia ha crecido a niveles sin precedentes, los agentes se ven obligados a comportarse de manera estratégica a fin de lograr adaptarse a las condiciones que exigen los cambiantes mercados.

La implementación de políticas para la TD-4.0 en el sector lácteo requiere partir de reconocer la coexistencia al interior del sector procesador lácteo de dos grandes ecosistemas. Para cada uno de estos agrupamientos, existen múltiples directrices de acción, que abarcan desde el desarrollo de proveedores especializados en las diferentes partes del conjunto tecnológico que conlleva la TD-4.0 (sensorización de los procesos, integración de la información con el sistema de gestión empresarial, gestión logística y comercial, entre otras), hasta la formación de personal especializado en el uso de las nuevas tecnologías 4.0, la promoción de una oferta de servicios técnicos profesionales para cada firma y la transmisión del cambio a través del estudio de casos testigos.

Al tratarse de grupos diferentes, resulta necesaria la adopción de estrategias particulares adaptadas a cada tipo de empresa, según su rango productivo y los productos predominantes. Es aquí donde es fundamental la presencia de profesionales que acompañen a las firmas en el proceso de transformación digital, colaborando con las empresas a visualizar el negocio y en el armado de propuestas individuales para la transición digital.

Es así que las empresas de menor tamaño consiguen mejores resultados cuando centran sus esfuerzos en avanzar hacia la optimización de las inversiones ya realizadas y los procesos en marcha. En contraste, para las empresas de mayor tamaño, el desafío viene por el lado de acompañar un cambio cultural, lo cual acrecienta la necesidad de contar con personal preparado para la gestión de procesos de transformación en el marco de una evolución hacia la TD-4.0.

En consecuencia, la innovación no se restringe solo a trabajar sobre tecnologías, contrariamente, los mayores logros suelen alcanzarse cuando se trabaja sobre los recursos humanos. De aquí se desprende una premisa esencial: la innovación no emerge por sí misma, hay que realizar acciones deliberadas para que ocurra; es preciso superar los obstáculos que la restringen y comprender el fuerte protagonismo del factor humano en el éxito de cada una de las propuestas.

En este sentido, la formación de personal capacitado en el uso y en la gestión de nuevas tecnologías 4.0 –y cómo integrarlo en cada empresa acorde a su estatus tecnológico– se vuelve fundamental para transitar el camino hacia una mayor digitalización de los negocios.

Avanzar hacia una TD-4.0 no es un hecho aislado a la conducta o el desempeño de un empresario/a particular. Hoy se piensa en la innovación como un fenómeno sistémico, donde la interacción entre empresas, la asociatividad, las instituciones y los flujos de relaciones donde se difunde el conocimiento juegan un papel trascendental.

Ecosistema para la TD-4.0 en mipymes

En estos casos, la propuesta será encontrar “agentes de cambio” –o similares– que acompañen a las y los dueños de las empresas a través de asesoramiento profesional, cercano y personalizado para la evaluación de

las estrategias de negocios —“¿en qué negocio estoy o quiero estar?”—, sobre todo para colaborar con el sector empresarial de menor escala en el análisis de los perfiles de proyectos que presenten *a priori* un mayor ROI.

A modo de ejemplo, es probable que un productor de 15.000-20.000 litros de leche diarios le convenga elaborar quesos de valor agregado y utilizar un sistema de *e-commerce*⁶ acorde para conocer a sus clientes, previo a la inversión en mejoras de la gestión de la información que le podrían dar instrumentos IoT en sus tinas.

Del mismo modo, se considera valioso trabajar en la difusión y aplicación de conceptos básicos asociados a la mejora de procesos en calidad, alternativas para mejorar la productividad, la construcción de indicadores de gestión, la mejora en la eficiencia energética y en el uso del agua. Sobre esto último, existe un amplio campo de trabajo en el área de Producción Más Limpia.

Una iniciativa que ha demostrado resultados auspiciosos en la misión de estimular la innovación empresarial es la conformación de espacios asociativos entre empresas de un mismo estrato de producción para intercambiar ideas y compartir experiencias. Esta metodología, que suele ser de uso frecuente en unidades productivas del sector primario —por ejemplo, grupos CREA, Cambio Rural, entre otros—, en los últimos años se ha hecho extensiva también a los eslabones industriales de las principales cadenas de valor.

Los procesos de *learning by interacting* son métodos característicos de los sistemas de innovación actuales, donde el conocimiento constituye el recurso primordial a ser (co)construido y transmitido mediante un diálogo horizontal. La posibilidad de armar círculos empresariales, coordinados y asistidos por profesionales calificados en el uso y la aplicación industrial de tecnologías 4.0 —para lo cual se requiere dotar de financiamiento específico—, resulta una vía efectiva para facilitar el sendero hacia la transformación digital de las empresas.

En muchos casos, existen ciertas problemáticas empresariales que pueden ser resueltas a través de un adecuado servicio de soporte técnico a las industrias, sin necesidad de grandes inversiones. A modo de ejemplo, una de las fábricas de quesos relevadas en este estudio presentaba continuos reclamos de parte de sus clientes, relacionados con la calidad de sus quesos, fundamentalmente por la elevada heterogeneidad que mostraba la línea de producto. Al utilizar la metodología de causa-efecto, fue posible encontrar la raíz del problema —un cuello de botella en el saladero— y resolverlo con recursos tradicionales.

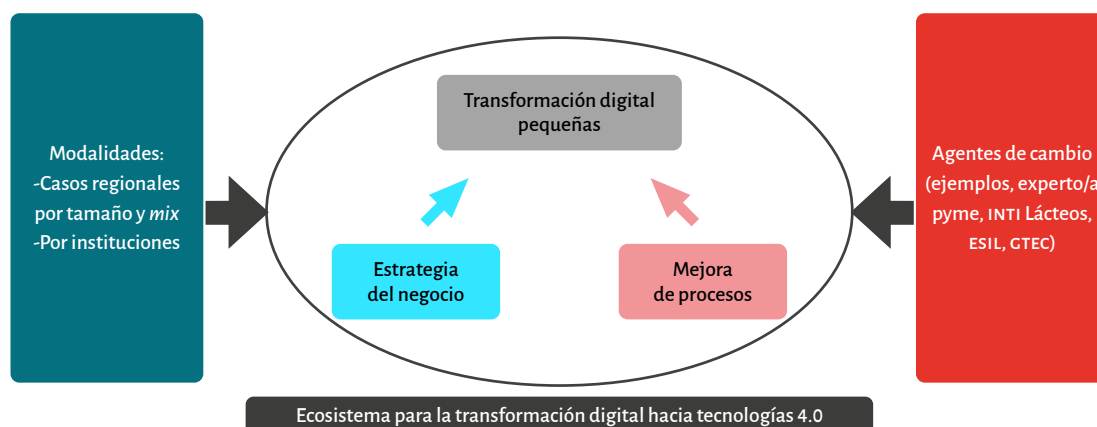
La figura 4 promueve la idea de dar soporte estratégico en los negocios o de mejora de los procesos para inducir una evolución hacia tecnologías 4.0. Para ello es necesario un agente de cambio que comprenda el negocio y pueda colaborar con la o el empresario, aportándole instrumentos simples como el CANVAS, herramientas para la mejora de los procesos o la optimización del uso de los recursos naturales, etcétera.

Las modalidades de intervención no deberían ser universales, sino que deben adaptarse a los diversos contextos. Las mejores experiencias en la materia sugieren que el trabajo con casos exitosos suele funcionar como un vehículo eficaz para la innovación empresarial, con alto potencial para generar una reacción al cambio en las empresas en un intento por tratar de implementar iniciativas similares a los casos que se utilicen como ejemplos.

Una alternativa razonable, tanto en términos de costos como de resultados, podría ser el respaldo financiero a proyectos asociativos promovidos por cámaras empresariales o asociaciones empresarias para el desarro-

⁶ La SEPyme ha implementado talleres sobre *marketing* digital y gestión logística.

Figura 4 Ecosistema para la TD-4.0 en mipymes



Fuente: Elaboración propia.

llo de inversiones en tecnologías blandas de impacto transversal. A modo de ejemplo, podría plantearse el caso del desarrollo de softwares comunes para trazabilidad de la leche y la producción, con beneficios extendidos para productores y empresas. Por otro lado, existen ejemplos exitosos también en el espacio de la gestión comercial, en particular en las áreas de *e-commerce* y administración de redes, así como en la gestión común de compra de insumos mediante plataformas que faciliten las negociaciones colectivas de precios. La factibilidad y el impacto favorable que se puede lograr con este tipo de inversiones demandarían contar con un fondo de inversión de aproximadamente 250.000 dólares.

Ecosistema para la TD-4.0 en empresas grandes y algunas medianas

Este agrupamiento presenta características distintas al anterior, puesto que se trata de empresas de mayor tamaño. En estas firmas, suele ser habitual encontrar inversiones en tecnologías 3.0 en muchas líneas de procesos, así como también la implementación de ERP. En estos casos, resulta necesario generar acciones que permitan promover un mayor usufructo de lo invertido.

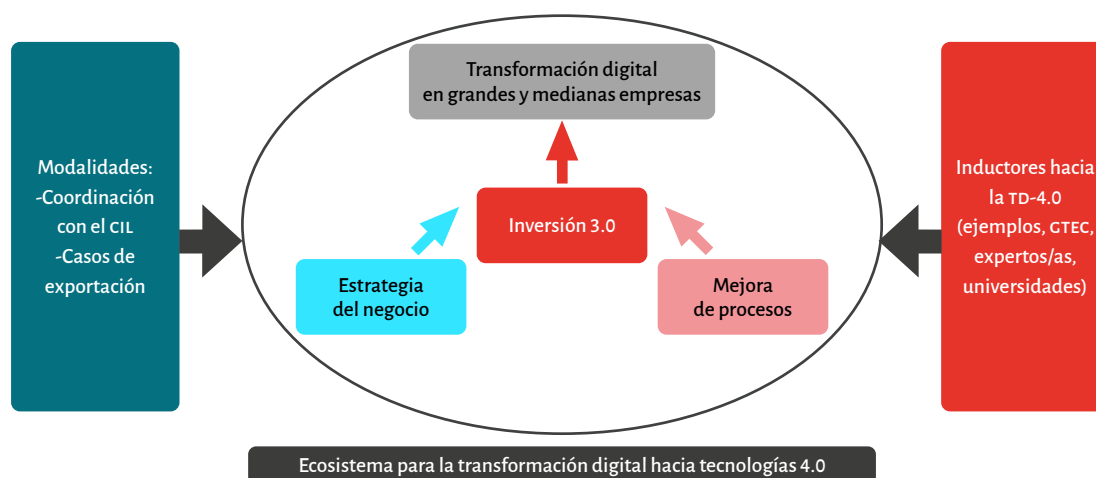
Las alternativas son múltiples y suponen muchas aristas, que van desde trazabilidad de los procesos y productos –gestión del riesgo–, la imagen ante el consumidor/a o cliente/a, la reducción de las pérdidas físicas en los procesos y el menor impacto ambiental, hasta la eficiencia energética y de consumo de agua y la reducción de los costos logísticos, entre otros.

Desde la figura 5 se pueden inferir posibles agentes inductores hacia la TD-4.0, junto a un esbozo de modalidades que darían soporte a las eventuales intervenciones.

El desafío aquí es más complejo, puesto que se requieren conocimientos profundos no solo acerca del negocio lácteo, sino también de cómo impactan las modificaciones propuestas sobre las instalaciones actuales, con el foco puesto en optimizar las inversiones ya realizadas.

Se trata de un perfil profesional que aporte una mirada integral de la empresa y sus procesos. En la actualidad, existen figuras como ingenieros/as industriales con capacidades en la gestión del cambio tecnológico, quienes suelen trabajar en conjunto con expertos/as digitales que proveen los saberes técnicos inherentes a todo proceso de digitalización.

Figura 5 Ecosistema para la TD-4.0 en grandes empresas



Fuente: Elaboración propia.

Lo importante en estos casos es que se requieren proyectos desarrollados según las particularidades de cada firma. A los proveedores de grandes equipos les será difícil integrar sus tecnologías con otras tecnologías disponibles en una empresa, de aquí que sea necesario trabajar en proyectos de TD-4.0 adaptados a la realidad de cada organización. La ventaja en este proceso y uno de los principales motores para el cambio es que la tecnología subyacente en 4.0 evoluciona muy rápidamente, lo cual tiende a abaratare.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se relevaron casi 200 empresas lácteas, de diferentes orientaciones comerciales, agrupadas en tres rangos de acuerdo con la escala productiva de los establecimientos. La investigación se focalizó en el análisis de la inserción actual de las tecnologías 4.0 en la industria láctea nacional, aunque se exploraron también las percepciones y las visiones empresariales relacionadas con el proceso de transformación digital en curso.

Los tres rangos explorados presentan características muy disímiles en cuanto al grado de evolución en su transformación digital. En general, se observa que las empresas grandes y algunas medianas realizan inversiones en la automatización de las líneas de alta producción para aumentar la productividad, de acuerdo con sus posibilidades de negocios y financieras. Estas empresas suelen operar con proveedores internacionales que ofrecen paquetes tecnológicos completos, en la mayoría de los casos subutilizados por las firmas ya que no se explotan todas las funcionalidades que ofrecen los SCADAS para avanzar hacia la esencia 4.0: análisis de los datos y su transformación en información para la acción preventiva y prospectiva.

Los sistemas ERP que se encuentran instalados en las empresas pertenecen a firmas reconocidas internacionalmente, aunque también existen algunas implementaciones procedentes de fuentes regionales. El análisis de las empresas que cuentan con ERP instalados y en funcionamiento permite extraer aprendizajes sobre los beneficios de las herramientas creadas para trabajar en entornos 4.0. No obstante, a pesar de su creciente utilización, por el momento ninguna empresa se encuentra operando en condiciones 4.0 de manera completa.

Con la mirada puesta en las empresas más pequeñas y algunas medianas, los datos reflejan que la inversión en automatización suele ser costosa. Por consiguiente, todavía existe un amplio margen de crecimiento para la incorporación de este tipo de tecnologías. Entre las principales razones que justifican la baja implementación de sistemas automatizados, se puede mencionar el retraso tecnológico que caracteriza a los sistemas de producción y gestión de las mipymes, la ausencia de una estrategia clara de negocios y las limitaciones para el acceso a financiamiento. Aun así, se avizoran espacios donde resulta factible dar un salto en la tecnificación y digitalización de las empresas, tales como la trazabilidad del proceso o del producto y la incorporación de herramientas de gestión comercial.

Una de las posibles vías conductoras hacia la TD-4.0 es la promoción y el desarrollo de proveedores locales y regionales que aporten soluciones escalables, para que las mipymes puedan ir conociendo y aplicando tecnologías 4.0 de acuerdo con sus posibilidades, tanto económicas como humanas.

El fuerte avance de las TIC y de la IIoT ha generado nuevos emprendedores conectados e integrados a las pymes a un costo relativamente más accesible. Es necesario promover su crecimiento mediante el aporte de los sectores de I+D de las universidades y centros afines.

El rol de la cultura empresarial, en particular la apertura de las firmas a las nuevas tecnologías y su impacto positivo sobre la competitividad del negocio, resulta una variable crítica para el éxito de las pymes. Para esto es importante trabajar en la brecha que existe hoy entre la cultura y la tecnología. Existe un terreno fértil para sembrar estos cambios, en particular en aquellas firmas que transitan actualmente un proceso de recambio generacional. Las nuevas generaciones suelen ser más resilientes a los procesos de cambio, y esto facilita la ruptura de las barreras culturales que atentan contra la innovación. Es aquí donde resulta importante organizar esquemas de difusión escalonados que generen un mayor acercamiento de las empresas al universo 4.0, primero de modo general y luego más especializado.

Además, será necesario apostar a un escenario de mayor asociativismo empresarial. En el caso de las mipymes, las oportunidades de negocio y las condiciones para el acceso a tecnología crítica resultan más plausibles en la medida en que las organizaciones trabajan de manera conjunta.

Recapitulando lo expuesto, para avanzar en el camino hacia la TD-4.0 será necesario construir políticas de intervención segmentadas y diferenciales, que partan de reconocer las diferencias y las características propias de los distintos estratos empresariales. Se requiere mostrar casos concretos, medir resultados y presentarlos al resto de las empresas, como estrategia para sensibilizar y luego ir escalando en cantidad. Es un proceso más lento, pero se logran resultados más sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ACCENTURE (2015). "Igniting growth through the Internet of Things in Latin America", Accenture.
- ALBRIEU, R., BASCO, A. I., BREST LÓPEZ, C., DE AZEVEDO, B., PEIRANO, F., RAPETTI, M. Y VIENNI, G. (2019). "Travesía 4.0: hacia la transformación industrial argentina", mayo, BID-INTAL y CIPPEC. Disponible en <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2019/06/Traves%C3%ADa-4.0-hacia-la-transformaci%C3%B3n-industrial-argentina.pdf>.
- ANDERSEN, J. (2017). "The Industrial Internet of Things will disrupt the dairy industry (for the better)", *Dairy Foods Magazine*.
- ASCÚA, R. A. (2021). "Industry 4.0 in manufacturing SMEs of Argentina and Brazil", *Journal of the International Council for Small Business*, vol. 2, N° 3, julio, Taylor & Francis Journals, pp. 203-222.
- AZIZ, F., SAMSUDIN, S., NAMBIAR, N., AZIZ, U., LI, E. Y ZHONG, R. Y. (2019). "Industry 4.0 in New Zealand dairy industry", *International Journal of Agile Systems and Management*, vol. 12, N° 2, pp. 180-197.
- AZTI (2019). "Diagnóstico 4.0. Industria Alimentaria", Biskaia.
- BARBERO, M. I. Y GUTMAN, G. (2008). "La industria láctea ante el proceso de reestructuración de la economía argentina en la década de 1990", *Estudios Sociales*, vol. 16, N° 31, México, CONACYT, CIAD, enero-junio, pp. 125-163.
- BERRA, C. L. (2018). "Relevamiento y evaluación de la competitividad de la industria láctea argentina, 2016-2018", presentación para el evento organizado por Fundación para la Promoción y el Desarrollo de la Cadena Láctea Argentina (FunPEL), Buenos Aires, 22 de marzo.
- BOZ, Z. (2021). "Moving Food Processing to Industry 4.0 and Beyond", IFT.
- CNI (2017). "Relatório Síntese da Pesquisa de Campo: Análise agregada dos resultados", Indústria 2027, Instituto Euvaldo Lodi, Brasília, IEL/NC.
- CRAVERO, R. (2019). "Desarrollo de un marco para una gestión sustentable de las pérdidas físicas en la cadena de valor láctea Argentina", tesis en desarrollo, UTN-FRSF.
- CRAVERO, R. (2020). "Caracterización de las pérdidas físicas en la cadena de valor láctea argentina: oportunidades y desafíos", *AJEA. Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN*, N° 5, Jornada de Intercambio y Difusión de los Resultados de Investigaciones de los Doctorandos en Ingeniería. Disponible en <https://doi.org/10.33414/ajea.5.660.2020>.
- DIRECCIÓN NACIONAL LÁCTEA (2019). "Estado de situación de la industria láctea argentina 2016-2018", MACYP. Disponible en <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/14685677-estado-de-situacion-de-la-industria-lactea-argentina-2016-2018>.
- DNIC (Dirección Nacional de Información Científica) (2020). "Encuesta I+D del Sector Empresario, Informe sectorial de resultados, Alimentos y Bebidas 2019", Subsecretaría de Estudios y Prospectiva, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- DSF (Dairy Sustainability Framework) (2019). "Dairy Sustainability Framework: Annual Review 2017-2018", UN Secretary General Climate Action Summit.
- ELKINGTON, J. (1997). "Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business", Oxford, Capstone Publishing.
- ERBES, A. ET AL. (2019). "Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe", Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/80), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- FADA (2020). "Empleo en las cadenas agroalimentarias", 7 de octubre. Disponible en <https://fundacionfada.org/infovisual/empleo-en-las-cadenas-agroindustriales/>.
- FEPAL (Federación Panamericana de Lechería) (2017). "Situación de la cadena láctea de América Latina y el Caribe en 2016", documento de circulación interna.
- GALETTO, A. (2018). "Diagnóstico competitivo del sector lácteo argentino", Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, Fundación para la Promoción y Desarrollo de la Cadena Láctea Argentina.
- GIRAUDO, J. (2018). "Competitividad Global del Sistema: desafíos hacia el futuro", presentación para el evento organizado por Fundación para la Promoción y el Desarrollo de la Cadena Láctea Argentina (FunPEL), Buenos Aires, 22 de marzo.
- INTA (2020). "Lechería argentina: evolución de indicadores económicos noviembre 2016-marzo 2020".
- ISZCZUK, A. C. D., VENTRIS, K. F. D., PINTO, G. B., SHIRABAYASHI, J. V., DOS SANTOS, M. A. R., DE SOUZA, R. C. T. Y DAL MOLIN FILHO, R. G. (2021). "Evoluções das tecnologias da indústria 4.0: dificuldades e oportunidades para as micro e pequenas empresas", *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, N° 5, pp. 50614-50637.

- MAGYP** (2019). "Cadenas de valor agroalimentarias. Evolución en el nuevo contexto macroeconómico 2016/2019", febrero. Disponible en <https://bit.ly/3cRY87o>.
- MINISTERIO DE HACIENDA Y FINANZAS PÚBLICAS** (2016). "Informes de cadenas de valor: la cadena láctea", Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo.
- MOTTA, J., MORERO, H. Y ASCÚA, R.** (2019). "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).
- OCDE Y FAO** (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2020). "OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029". Disponible en https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2020-2029_a0848aco-es.
- OCLA** (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina) (2021). "Datos clave lechería argentina 2020". Disponible en <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/18219202-lecheria-argentina-datos-clave-2020>.
- POWELL, D., LUNDEBY, S., CHABADA, L. Y DREYER, H.** (2017). "Lean Six Sigma and environmental sustainability: the case of a Norwegian dairy producer", *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 8, N° 1, pp. 53-64. Disponible en <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2015-0024>.
- RABOBANK** (2021). "Informe Lácteo Global", tercer trimestre, RaboResearch Food & Agribusiness, septiembre.
- RENTOKIL INITIAL** (2017). "Annual Report 2017", Londres.
- SECRETARÍA DE POLÍTICA ECONÓMICA Y PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO** (2016). "Informes de cadenas de valor. Láctea", año 1, N° 22, diciembre. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspe_cadena_de_valor_lactea.pdf.
- TETRA PAK** (2018). "Industria 4.0: abriendo la puerta a nuevas oportunidades para la industria de alimentos y bebidas", CENEM, Santiago.
- TETRA PAK Y UNIVERSIDAD DE LUND** (2020). "The future of dairy". Disponible en <https://www.tetrapak.com/content/dam/tetrapak/publicweb/gb/en/about/future-dairy-exec-summary.pdf>.
- UNEP-WBCSD** (1998). "Cleaner Production and Eco-efficiency, complementary approaches to sustainable development", United Nations Environment Programme y World Business Council for Sustainable Development Joint Publication. Disponible en <http://gpcpcenvs.nic.in/PDF/ecoefficiencyandCP.pdf>.

////////////////////

Anexos

ANEXO I

Listado de instituciones con potencial oferta para la transformación digital del sector de dispositivos médicos

ID	Centro tecnológico	Institución	Descripción (aspecto destacado)	Perfil/motivación	Forma de contacto
01	Centro Tecnológico SMT (CTSMT)	Cámara de Industrias Informáticas, Electrónicas y de Comunicaciones del Centro de Argentina (CIECCA)	Montaje de placas de <i>microchips</i> , series cortas	Institucional	http://www.centrosmt.com.ar/
02	Centro Tecnológico Metalúrgico (CETEM)	Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina, Universidad Nacional Arturo Jauretche y Universidad Nacional de San Martín (ADIMRA-UNAJ-UNSAM). Integra la Red ADIMRA	Compatibilidad electromagnética, procesos de conformado	Institucional	http://www.cetem.org.ar/
03	Centro de Innovación Tecnológica, Empresarial y Social (CITES)	Grupo Sancor Seguros	Creación de empresa de base tecnológica, servicios de innovación en bio y nanotecnologías, TIC e ingeniería	Institucional	http://cites-gss.com/
04	Centro de Desarrollo Tecnológico de Tierra del Fuego (CENTEC-TDF)	Consorcio público-privado formado por el gobierno de Tierra del Fuego, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (UNTDF) y Asociación de Fábricas Argentinas Terminales de Electrónica (AFARTE)	Laboratorio de software, metrología, calibración y seguridad eléctrica	Institucional	http://centectdf.org.ar/
05	Unidad de Desarrollo Integral y Tecnológico (UDITEC)	Convenio entre la Universidad Tecnológica Nacional (UTN)-Facultad Regional Bahía Blanca, Consorcio del Parque Industrial y Municipalidad de Bahía Blanca	Desarrollo de productos o procesos desde el diseño hasta el prototipo	Institucional	www.uditec.com.ar
06	Instituto Tecnológico El Molino (ITEC El Molino)	Cámara metalúrgica y otras instituciones público-privadas. Integra la Red ADIMRA	Servicios de ensayos, gestión de proyectos, diseño, calidad y reingeniería	Institucional	https://itec-elmolino.edu.ar/
07	Centro Tecnológico José Censabella (CT Censabella)	Cámara metalúrgica. Integra la Red ADIMRA	Capacitación, formación y asistencia técnica. Diseño y prototipado y formulación de proyectos	Institucional	http://centrotecnologicojc.org.ar/
08	Centro Tecnológico de Arteaga (CT Arteaga)	Cámara de Industriales Metalúrgicos y de Componentes de Córdoba (CIMCC) y Fundación para la Investigación y Desarrollo Industrial Argentino (FIDEIAR). Integra la Red ADIMRA	Fabricación, medición, diseño y desarrollo de prototipos y piezas para la industria metalúrgica y metalmecánica. Capacitación y gestión de proyectos	Institucional	http://ctda.com.ar/
09	Centro Tecnológico CEFOSE	Cámara de Industrias Metalúrgicas del Centro de la Provincia de Santa Fe (CIMCSF). Integra la Red ADIMRA	Capacitación en oficios, servicios tecnológicos de mecanizado e impresión 3D	Institucional	http://cefose.org.ar/
10	Centro de Investigación, Desarrollo, Innovación y Diseño en Ingeniería (CIDIDI)	Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FI-UBA) y gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (CCBA)	Modelado, simulación y diseño, prototipado, formulación y gestión de proyectos y asistencia en propiedad intelectual	Sistema CYT, universidad	http://laboratorios.fi.uba.ar/cididi/webcididi/
11	Centro Tecnológico Rafaela (CENTEC Rafaela)	Agencia de Desarrollo de Rafaela (ACDICAR)	Impresión 3D con metal para la fabricación de piezas funcionales, matrices y pequeñas series; centro de mecanizado para pequeñas piezas; equipo informático con software de simulación para elementos mecánicos, hidráulicos, automatismos y procesos; probador de seguridad eléctrica; analizador de consumo eléctrico; banco de prueba de sistemas hidráulicos, neumáticos, electrónicos y mecánicos (con sus combinaciones)	Institucional	https://acdicar.org/

12	Centro Tecnológico de Moldes y Matricerías (CETEMYM)	UTN, Cámara Argentina de Moldes y Matrices (CAMYM) y Ministerio de Industria de la Nación. Integra la Red ADIMRA	Diseño, simulación, ingeniería y mecanizado	Institucional	http://www.cetemy.com.ar/articulacion.html
13	Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN)	Fundación con el soporte de la Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT)	Incubación de empresas en nanotecnologías. Además, trabajan en electrónica impresa, polímeros, medición y diseño de productos.	Institucional	https://www.fan.org.ar/
14	Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA)	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP)	Análisis, evaluación y diseño de materiales, catalizadores y superficies, electroquímica, metalurgia, polímeros y cerámicos	Sistema cyT, universidad	http://intema.gob.ar/
15	Centro de Ensayos de Alta Tecnología (CEATSA)	Consorcio entre ARSAT S.A. e INVAP S.E.	Ensayos y mediciones ambientales para controlar la calidad de productos y sistemas de las industrias satelital, aeronáutica, electrónica, automotriz, defensa, energía y bienes de capital	Sistema cyT, universidad	http://www.ceatsa.com.ar/
16	Centro de Investigación y Desarrollo de Métodos y Técnicas para Empresas Industriales. Tecnología de Gestión de la Producción (TPC)	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)	Consultoría técnica para la mejora continua	Sistema cyT, universidad	https://www.inti.gob.ar/tecnologiasdegestion/
17	Héritas		Servicios de investigación en medicina de precisión	Empresarial	https://heritas.com.ar/
18	Centro Metropolitano de Diseño (CMD)	Centro con el apoyo del GCBA	Asistencia técnica y financiera en el área de diseño	Institucional	https://www.buenosaires.gob.ar/cmd
19	Centro Tecnológico Aeroespacial (GEMA, GFC y LACLIFYFA)	Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP)	Ensayos, evaluaciones de impacto y estudios de fluidos en el sector aeroespacial	Sistema cyT, universidad	http://www.cta.ing.unlp.edu.ar/
20	UBATEC S.A.	UBA, CCBA, Unión Industrial Argentina (UIA) y Confederación General de la Industria (CGI)	Brinda servicios de incubadora de empresas, vinculación tecnológica y administración de proyectos	Institucional	https://www.ubatec.uba.ar/
21	Centro para la Transferencia de los Resultados de la Investigación, Secretaría de Vinculación y Transferencia (CETRI Litoral)	Universidad Nacional del Litoral (UNL)	Asistencia técnica en Ensayos, asesoramiento, desarrollo, investigación concertada, gestión tecnológica y capacitación	Sistema cyT, universidad	https://www.unl.edu.ar/vinculacion/tipos-de-servicios-2/
22	Centro de Servicios Industriales (CSI)	ADIMRA	Brinda servicios de prototipado 3D, inspección dimensional, ingeniería inversa, diseño industrial, robótica y automatización, simulación por elementos finitos y herramientas de gestión	Institucional	http://www.adimra.org.ar/csi/inicio.do
23	Laboratorio de Robótica y Sistemas Embebidos (LRSE)	Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEYN-UBA)	Automatización, robótica y desarrollo de software	Sistema cyT, universidad	https://robotica.dc.uba.ar
24	Centro Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS)	CONICET	Agro y bioinformática, ingeniería de software, procesamiento de señales multimedia, aplicaciones automatizado y redes neuronales, lenguajes de computación, simulación y control de sistemas dinámicos, informática aplicada a la ingeniería de procesos, optimización y control, dinámica de fluidos computacional e hidrodinámica	Sistema cyT, universidad	http://www.cifasis-conicet.gov.ar/
25	Sociedad Argentina Pro Mejoramiento Continuo (SAMECO)		Institución líder en el tratamiento de los temas de la mejora continua aplicado a procesos, organizaciones, desarrollo de las personas y la sociedad	Institucional	http://sameco.org.ar/
26	Nodo IA Córdoba	Iniciativa conjunta entre la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación de la Universidad Nacional de Córdoba (FAMAF-UNC) y el Clúster TIC Córdoba	Centro de transferencias de tecnología, nodo sobre ciencias de datos y aplicaciones innovadoras basadas en inteligencia artificial (IA)	Sistema cyT, universidad	https://www.famaf.unc.edu.ar/la-facultad/institucional/secretar%C3%ADas/oficina-de-vinculaci%C3%B3n-tecnol%C3%B3gica/
27	Centro Tecnológico de Plásticos y Elastómeros (CTPE)			Institucional	http://www.ctpe.com.ar/

28	Fundación Sadosky	Institución público-privada conformada por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, la Cámara de Empresas de Software y Servicios Informáticos y la Cámara de Informática y Comunicaciones de la República Argentina (SCTPI-CESSI-CICOMRA)	Servicios y proyectos TIC, investigación y capacitación en ciencia de datos	Sistema cyT, universidad	http://www.fundacionsadosky.org.ar/
29	UTN Santa Fe	UTN. Integra la Red de Laboratorios (Reliau)	Servicios tecnológicos en ingeniería civil, eléctrica, sistemas de información, industrial y mecánica; ensayos; capacitación y prototipado	Institucional	https://www.frstf.utn.edu.ar/investigacion-y-vinculacion/vinculacion-tecnologica
30	UTN Venado Tuerto	UTN. Integra la Reliau	Servicios tecnológicos, especialmente ingeniería civil y electromecánica	Institucional	https://www.frvt.utn.edu.ar/Sec_Ciencia_y_Tecnologia.utn
31	UTN FR Delta	UTN. Integra la Reliau	Servicios tecnológicos (ensayos, bio/nano, medio ambiente y TIC) en ingeniería química, mecánica, eléctrica y sistemas de información	Institucional	https://www.frd.utn.edu.ar/subsec_vinctec
32	Centro de Industria X UIA-Accenture	UIA-Accenture Argentina	Asesoramiento y diseño de proyectos para la transformación digital, demostración física y virtual de tecnologías, capacitación	Empresarial	https://www.accenture.com/ar-es/services/industry-x-0/innovation-center-buenos-aires
33	Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INN-CNEA)	Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)	Ciencia de los materiales y nanotecnología	Sistema cyT, universidad	https://www.argentina.gob.ar/cnea/investigacion-y-desarrollo/materiales-y-procesos
34	INIS Biotech	Fundación del Instituto Leloir (FIL)	Testeo y mejoras de drogas, terapias, test de diagnóstico en salud e insumos de alimentos y agro	Institucional	http://www.inis-biotech.com.ar
35	Departamento de Informática en Salud del Hospital Italiano de Buenos Aires (DIS-HIBA)	HIBA	Investigación y transferencia en torno a posibles aplicaciones de IA a los procesos de atención médica. Posee dos programas específicos: Programa de Inteligencia Artificial en Salud (PIASHIBA) y Programa de Innovación Abierta	Sistema cyT, universidad	https://hiba.hospitalitaliano.org.ar/STAFF/index.php?clave_area=395
36	Incubando Salud	Fundación Barceló (FB)	Servicios de incubación, asesoramiento regulatorio y en propiedad intelectual, capital semilla	Institucional	https://www.incubandosalud.com/
37	Incubadora de la Cámara de Instituciones de Diagnóstico Médico (Incubadora CADIME)	CADIME	Servicios de incubación, asesoramiento regulatorio y en propiedad intelectual, capital semilla	Institucional	http://incubadoracadime.com.ar/
38	Ecosistema Emprendedor Córdoba (EECBA)		Servicios de vinculación con incubadoras e instituciones oferentes de servicios de asesoramiento técnico, regulatorio, financiero, etc.	Red institucional	http://eecordoba.org/
39	Grid Exponential (GridX)	Grupo Innovación, Sustentabilidad y Desarrollo (INSUD)	Servicios de capitalización y asesoramiento técnico, regulatorio, financiero y en propiedad intelectual	Institucional	https://www.gridexponential.com/
40	Incubadora de Empresas de la Universidad Nacional de Córdoba	UNC	Servicios de incubación, asesoramiento legal, técnico y en propiedad intelectual, transferencia tecnológica y vinculación.	Institucional	http://incubadoradeempresas.unc.edu.ar
41	Incubadora Bioloop	Instituto de Investigaciones Biotecnológicas de la Universidad Nacional de San Martín (IIB-INTECH-UNSAM)	Servicios de incubación, asesoramiento técnico, económico-financiero y en propiedad intelectual, transferencia tecnológica y vinculación	Institucional	http://www.iib.unsam.edu.ar/bioemprendedores/

ANEXO II

Principales empresas e instituciones entrevistadas del sector de maquinaria agrícola

Empresa/entidad	Entrevistado/a	Cargo
AAPRESID	Sergio Marinelli	Desarrollador de productos
Agrometal	Gustavo Purro	Asesor de servicios tecnológicos
Alumaq	Eduardo Manzano	Titular
Allochis	Alejandro Allochis	Titular
Arsemet	Fernando Martino	Gerente de producción
Aurovant	Leandro Sabinoso	CEO y fundador
CAFMA	Ricardo Fragueyro	Director ejecutivo
Caiman	Federico Luján	Gerente de operaciones
Cámara Argentina del Maní	Javier Martinetto	Prosecretario
Cámara Argentina de Impresión 3D y Fabricaciones Digitales	Irene Presti	Ex presidenta
Catalano	Rafael Catalano	Titular
Cestari	Juan Cestari	Titular
CIDETER	Carlos Braga	Gerente general
Docente/consultora	María Isabel Borghi	Experta en el sector, ex gerenta general de CIDETER
Consultor	Iván Ordóñez	Economista especialista en agronegocios
Consultor	Carlos Becco	Ingeniero agrónomo
Deep Agro	Iván Regali	Chief Communications Officer/cofundador
Dolbi	Elbio Dolzani	Presidente
Garro-Fabril	Jorge Rossi	Director
Giorgi S.R.L.	Oswaldo Giorgi	Presidente
INTA	Guillermo Marrón	Director Instituto de Ingeniería Rural
INTI	Alejandro Gariglio	Asesor en tecnologías de gestión
INTI	Hernán Vigier	Director de Planeamiento
INTI	Jorge Eliach	Coordinador del Departamento de Diseño y Desarrollo
MaqTec	Jose Mourelle	Director
Maquinarias OMBÚ	Danilo Gribaudo	Director
Mega Ingeniería	Marcelo Valfiorani	Socio
Metalfor	Adriano Berra y Daniel Brusa	Gerente industrial y director de ingeniería (respectivamente)
MACyP	Andrés Méndez	Director de Innovación, Buenas Prácticas y Tecnología Agrícola
Piersanti	Valeria Piersanti	Gerente comercial
Prodismo	Alejandro Pedrosa	Titular
Space Sur	Alberto Pérez Casinelli	Fundador y CEO
UTN San Francisco	Oscar Rete	Secretario de Vinculación Tecnológica
Yomel	Silvina Médica/Matías Finocchietti	Directora de Producción/gerente de Administración y Finanzas
Zoom Agri	Fernando Martínez de Hoz	Titular

ANEXO III

Listado de instituciones con potencial oferta para la transformación digital del sector de maquinaria agrícola

ID	Centro tecnológico	Institución	Descripción (aspecto destacado)	Forma de contacto
01	Centro Tecnológico Metalúrgico (CETEM)	Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina, Universidad Nacional Arturo Jauretche y Universidad Nacional de San Martín (ADIMRA-UNA)-UNSAM). Integra la Red ADIMRA	Compatibilidad electromagnética, procesos de conformado	http://www.cetem.org.ar/
02	Centro Tecnológico CIDETER	Comunidad de Capacitación Mecánica Automotriz y Motos (CECMA). Clúster empresarial de maquinaria agrícola, gobierno de Córdoba y de Santa Fe. Comunas y municipios: Armstrong, Marcos Juárez, Las Rosas, Las Parejas, Fuentes y Firmat	Servicios tecnológicos de diseño para la maquinaria agrícola y agrocomponentes	https://cecma.com.ar/
03	Instituto Tecnológico El Molino (ITEC El Molino)	Cámara metalúrgica y otras instituciones público-privadas. Integra la Red ADIMRA	Servicios de ensayos, gestión de proyectos, diseño, calidad y reingeniería	https://itec-elmolino.edu.ar/
04	Centro Tecnológico José Censabella (CT Censabella)	Cámara metalúrgica. Integra la Red ADIMRA	Formación y capacitación; asistencia técnica; diseño y prototipado; formulación de proyectos	http://centrotecnologicojc.org.ar/
05	Centro Tecnológico de Arteaga (CT Arteaga)	Cámara de Industriales Metalúrgicos y de Componentes de Córdoba (CIMCC) y Fundación para la Investigación y Desarrollo Industrial Argentino (FIDEIAR). Integra la Red ADIMRA	Fabricación, medición, diseño y desarrollo de prototipos y piezas para la industria metalúrgica y metalmeccánica. Capacitación y gestión de proyectos	http://ctda.com.ar/
06	Centro Tecnológico CEFOSE	Cámara de Industrias Metalúrgicas del Centro de la Provincia de Santa Fe (CIMCSF). Integra la Red ADIMRA	Capacitación en oficios, servicios tecnológicos de mecanizado e impresión 3D	http://cefose.org.ar/
07	Centro de Investigación, Desarrollo, Innovación y Diseño en Ingeniería (CIDIDI)	Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FI-UBA) y GCBA	Modelado, simulación y diseño, prototipado, formulación y gestión de proyectos y asistencia en propiedad intelectual	http://laboratorios.fi.uba.ar/cididi/webcididi/
08	Centro Tecnológico Rafaela (CENTEC Rafaela)	Agencia de Desarrollo de Rafaela (ACDICAR)	Impresión 3D con metal para la fabricación de piezas funcionales, matrices y pequeñas series; centro de mecanizado para pequeñas piezas; equipo informático con software de simulación para elementos mecánicos, hidráulicos, automatismos y procesos; probador de seguridad eléctrica; analizador de consumo eléctrico; banco de prueba de sistemas hidráulicos, neumáticos, electrónicos y mecánicos (con sus combinaciones)	https://acdicar.org/
09	Centro Tecnológico de Moldes y Matricerías (CETEMYM)	Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Cámara Argentina de Moldes y Matrices (CAMYM) y Ministerio de Industria de la Nación. Integra la Red ADIMRA	Diseño, simulación, ingeniería y mecanizado	http://www.cetemym.com.ar/articulacion.html
10	Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA)	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP)	Análisis, evaluación y diseño de materiales, catalizadores y superficies, electroquímica, metalurgia, polímeros y cerámicos	http://intema.gob.ar/
11	Centro de Investigación y Desarrollo de Métodos y Técnicas para Empresas Industriales. Tecnología de Gestión de la Producción (TPG)	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)	Consultoría técnica para la mejora continua	https://www.inti.gob.ar/tecnologiasdegestion/
12	INDEAR	BIOCERES	Brinda servicios de I+D para el desarrollo de productos para el agro y la industria	https://www.indear.com/

13	Instituto de Desarrollo Industrial, Tecnológico y de Servicios (IDITS)	Asociación civil sin fines de lucro con el soporte del gobierno de la provincia de Mendoza	Servicios de diagnóstico, evaluación y capacitación para el sector industrial y servicios	https://www.indear.com/
14	Centro Metropolitano de Diseño (CMD)	Centro con el apoyo del gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA)	Asistencia técnica y financiera en el área de diseño	https://www.buenosaires.gob.ar/cmd
15	Centro Tecnológico para la Sustentabilidad (CTS-UTN)	UTN Facultad Regional Avellaneda (FRA)	Facilita el desarrollo y la transferencia de tecnología a través de la capacitación y asistencia técnica	http://www.cts.fra.utn.edu.ar/
16	UBATEC S.A.	UBA, GCBA, Unión Industrial Argentina (UIA) y Confederación General de la Industria (CGI)	Brinda servicios de incubadora de empresas, vinculación tecnológica y administración de proyectos	https://www.ubatec.uba.ar/
17	Centro para la Transferencia de los Resultados de la Investigación, Secretaría de Vinculación y Transferencia (CETRI Litoral)	Universidad Nacional del Litoral (UNL)	Asistencia técnica en ensayos, asesoramiento, desarrollo, investigación concertada, gestión tecnológica y capacitación	https://www.unl.edu.ar/vinculacion/tipos-de-servicios-2/
18	Centro de Servicios Industriales (CSI)	ADIMRA	Brinda servicios de prototipado 3D, inspección dimensional, ingeniería inversa, diseño industrial, robótica y automatización, simulación por elementos finitos y herramientas de gestión	http://www.adimra.org.ar/csi/inicio.do
19	Red ADIMRA	Unidad de Vinculación Tecnológica (UVT-ADIMRA)	Servicios tecnológicos, formación, vinculación tecnológica e incubación de empresas	http://www.adimra.org.ar/reddecentros/inicio.do
20	UVT Foro de Ciencia y Tecnología para la Producción (ForocyTP)	ForocyTP. Asociación civil sin fines de lucro	Formulación y gestión de proyectos, administración de fondos	http://www.forocytp.org.ar/institucional/quienes-somos/servicios-2/
21	UVT ARGENTEC S.R.L.	Argenconsult, UVT-OVTT	Formulación, gestión y evaluación de proyectos y planes de negocio; proyectos de ingeniería	http://www.argenconsult.com.ar/
22	Laboratorio de Robótica y Sistemas Embebidos (LRSE)	Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEYN-UBA)	Automatización, robótica y desarrollo de software	https://robotica.dc.uba.ar
23	Centro de Validación de Tecnologías Agropecuarias (CEDEVA)	Gobierno de Formosa	Mejoramiento de cultivos (biotecnología), desarrollo de fibras vegetales para diseño industrial y desarrollo de equipamiento para agro	https://www.formosa.gob.ar/cedeva
24	Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC)	Ministerio de Desarrollo Productivo del gobierno de Tucumán	Mejoramiento de cultivos, evaluaciones energéticas, ensayos, análisis y mediciones industriales	http://www.eeaoc.org.ar/
25	Sociedad Argentina Pro Mejoramiento Continuo (SAMECO)	Organización sin fines de lucro	Líder en el tratamiento de los temas de la mejora continua aplicado a procesos, organizaciones, desarrollo de las personas y la sociedad	http://sameco.org.ar/
26	Nodo IA Córdoba	Iniciativa conjunta entre la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación de la Universidad Nacional de Córdoba (FAMAF-UNC) y el Clúster TIC Córdoba	Centro de transferencias de tecnología, nodo sobre ciencias de datos y aplicaciones innovadoras basadas en inteligencia artificial (IA)	https://www.famaf.unc.edu.ar/la-facultad/institucional/secretar%C3%ADas/oficina-de-vinculaci%C3%B3n-tecnol%C3%B3gica/
27	Dirección General de Asistencia Técnica (DAT)	Secretaría de Industria, Agregado de Valor e Innovación del Ministerio de la Producción de la provincia de Santa Fe	Servicios en ensayos	http://www.dat.gov.ar/
28	UTN Santa Fe	UTN. Integra la Red de Laboratorios (Reliau)	Servicios tecnológicos en ingeniería civil, eléctrica, sistemas de información, industrial y mecánica; ensayos; capacitación y prototipado	https://www.frfsf.utn.edu.ar/investigacion-y-vinculacion/vinculacion-tecnologica
29	UTN Venado Tuerto	UTN. Integra la Reliau	Servicios tecnológicos, especialmente ingeniería civil y electromecánica	https://www.frvt.utn.edu.ar/Sec_Ciencia_y_Tecnologia.utn
30	UTN FR Delta	UTN. Integra la Reliau	Servicios tecnológicos (ensayos, bio/nano, medio ambiente y TIC) en ingeniería química, mecánica, eléctrica y sistemas de información	https://www.frd.utn.edu.ar/subsec_vinctec
31	Frontec. Tecnologías Aeroespaciales	INVAP S.E.	Mapas de agricultura por ambiente y monitoreo de la situación de cultivos on line en tiempo real	http://www.frontec.net/

ANEXO IV

Perfil de personas entrevistadas del sector lácteo

Categorías de entrevistas	Rol	Cantidad
Industriales lácteos	Dueño/a o gerente/a	22
Referentes mipymes lácteas	Asesores/as de empresas	19
Asociaciones y universidades	Generación de conocimiento y profesionales	17
Expertos/as en 4.0	Conocen el tema e integran sistemas hacia la transformación digital	16
Proveedores	Equipos y servicios	25

Nota: A pedido de las personas entrevistadas, no se detalla ni su nombre ni el de las empresas a las que pertenecen para resguardar su identidad.

La principal característica de estas entrevistas es que se pudo contactar a un espectro variado y relevante de las y los integrantes de la cadena de valor láctea argentina industrial. Esto enriqueció la percepción de los tres grandes rangos de procesadores relevados, ya que conviven realidades muy diferentes, lo cual es vital contemplar en las políticas públicas.

AUTORAS Y AUTORES

Arno, Francisco	ADIMRA <i>franciscoarno7@gmail.com</i>
Baruj, Gustavo	CIECTI/UNLZ <i>gbaruj@gmail.com</i>
Canosa, Tomás	ADIMRA <i>tomascanosa@gmail.com</i>
Cravero, Ricardo	Consultor experto UTN Santa Fe <i>ricardo@qinnova.com.ar</i>
Drucaroff, Sergio	UIA/CAB <i>sergio.drucaroff@gmail.com</i>
Garrapa, Mario	INTA Santa Fe <i>garrappa.mario@inta.gob.ar</i>
Páez, Roxana	INCUVA-INTA Rafaela <i>paez.roxana@inta.gob.ar</i>
Vázquez, Darío	UNSAM-CONICET <i>rdvazq@gmail.com</i>



LIBROS CIECTI
Diciembre 2023

Este libro recoge un conjunto de investigaciones—finalizadas en marzo de 2022—que identifican algunas características destacadas de las tecnologías asociadas con los procesos de transformación digital y la industria 4.0. Estos trabajos aportan una aproximación real a las particularidades específicas que adopta la demanda de transformación digital en tres sectores productivos de la Argentina: dispositivos médicos, maquinaria agrícola y procesamiento de productos lácteos.

Los estudios aquí reunidos surgen a partir de un requerimiento de la División de Competitividad, Tecnología e Innovación del Banco Interamericano de Desarrollo por obtener información sobre una muestra diversa de sectores productivos, para contar con insumos y antecedentes que nutran las iniciativas vinculadas con la reactivación y la transformación digital del sector productivo del país, en general, y su potencial aplicación a programas de apoyo a las pymes argentinas, en particular.

Mediante el recorrido de cada capítulo se espera revelar de qué manera la transformación digital impacta en los sectores analizados y los avances que han experimentado en este sentido, así como también visibilizar las instituciones más relevantes que participan del proceso en apoyo a las empresas de cada sector y revelar los obstáculos más significativos que dificultan una mayor evolución en esta transformación. De tal modo, confiamos que esta compilación sirva como insumo para la reflexión y el debate con el fin último de diseñar y elaborar instrumentos de política pública.

