

INDUSTRIA 4.0

Oportunidades y desafíos

para el desarrollo productivo
de la provincia de
Santa Fe



NACIONES UNIDAS

CEPAL



POR UN DESARROLLO
SOSTENIBLE CON IGUALDAD



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



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



www.cepal.org/es/publications



www.cepal.org/apps

Industria 4.0

Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo
de la provincia de Santa Fe



Este documento fue preparado por Analía Erbes, Graciela Gutman, Pablo Lavarello y Verónica Robert, Consultores de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del Acta Complementaria N°. 8 entre la CEPAL y el gobierno de la provincia de Santa Fe. Fue realizado bajo la coordinación técnica de Salomé Girándola y la supervisión general de Martín Abeles, Director de la Oficina de la CEPAL en Buenos Aires, y de Alicia Ciciliani, Ministra de la Producción de la provincia de Santa Fe. Contó con la colaboración de Violeta Guitart, Matías Mancini y Juan Jose Pita. Se agradece por su valiosa colaboración al equipo de funcionarios y técnicos del gobierno de la provincia de Santa Fe, especialmente del Ministerio de la Producción.

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

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2019/80
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2019
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.19-01011

Esta publicación debe citarse como: A. Erbes y otros, "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), 2019.

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

Índice

Introducción	7
I. ¿De qué hablamos cuando hablamos de industria 4.0? El caso de la provincia de Santa Fe	9
A. Política Industrial 4.0: distintos abordajes a nivel nacional.....	9
B. Política Industrial en Santa Fe	16
C. Trayectoria sectorial y convergencia tecnológica 4.0 en Santa Fe	20
II. El sector de software y servicios informáticos en la provincia de Santa Fe: potencialidades como proveedor especializado de tecnologías I4.0	25
A. La industria 4.0 en el sector de SSI a nivel internacional: interacción entre el dominio digital y la producción.....	26
B. El sector de SSI en la Argentina: estructura de mercado y principales actores	29
1. Motores del crecimiento sectorial y el contexto de políticas públicas: una apuesta a las políticas sectoriales	29
2. Características y evolución reciente del sector	30
3. Orientación estratégica, mercados domésticos versus mercados globales	35
C. El sector de SSI en Santa Fe. Estructura y evolución	40
1. Evolución reciente del sector de SSI en Santa Fe	40
2. Infraestructura de CyT. Articulación entre las políticas nacionales y regionales para el sector	43
D. Trayectorias tecnológicas en el sector de SSI y construcción de una oferta local de productos y servicios para la I4.0 en Santa Fe.....	44
E. Limitantes y desafíos para el sector de SSI de Santa Fe	48
F. Políticas para el sector y capacidades público-privadas existentes como plataforma de apoyo para el desarrollo y la incorporación de tecnología 4.0	50
1. Instrumentos de fomento vigentes. Grado de uso y percepción de las empresas	50
2. Propuestas para el diseño de políticas en el sector de SSI, orientadas a las I4.0.....	51

III. Biotecnología en salud humana: nuevos desafíos en la frontera tecnológica.....	55
A. Industria 4.0 en la industria biofarmacéutica mundial.....	56
1. Principales tecnologías 4.0 en el sector.....	56
B. Buenas prácticas internacionales para la implementación de la manufactura avanzada en biofármacos.....	58
C. Estructura del sector biofarmacéutico en la provincia de Santa Fe y principales trayectorias tecnológicas	62
1. Estructura y evolución del sector biofarmacéutico en Santa Fe.....	62
2. Principales actores dinamizadores de la trama local	64
3. Trayectorias tecnológicas biofarmacéuticas en Santa Fe	65
E. Grado de adopción de las tecnologías 4.0 en la trama local	67
1. Adopción de paquete tecnológico de <i>Big Data</i> , computación en la nube y genómica a partir de plataforma de servicios	67
2. Convergencia e integración de tecnologías preexistentes en Industria 4.0 a partir de plataformas de diagnósticos in vitro	68
3. Adopción parcial de herramientas 4.0 y manufactura avanzada en el marco del bioprocesamiento en continuo.....	68
F. Articulación con el sistema de CyT local, provincial y nacional, público y privado	68
1. Parque Tecnológico del Litoral Centro (PTLC-SAPEM)	69
2. Laboratorio de Cultivos Celulares (LCC) como difusor de nuevas tecnologías en bioprocesos, analítica y edición génica	70
G. Principales limitantes y desafíos al avance de las tecnologías 4.0 en el sector	70
H. Propuestas para el diseño de política para la adopción de Industria 4.0 en el sector de Biofarma: áreas de intervención e instrumentos	71
IV. La industria de maquinaria agrícola en Santa Fe como <i>driver</i> de las tecnologías 4.0	75
A. La Industria 4.0 en la maquinaria agrícola a nivel internacional: interacción entre el dominio digital y la producción.....	76
1. Trayectoria tecnológica previa y oportunidades de la I4.0 en la maquinaria agrícola.....	76
2. Desafíos y límites para la convergencia tecnológica: el papel de los estándares.....	79
3. Referencia internacional de políticas e instituciones orientadas a la promoción de la tecnología 4.0 en la maquinaria agrícola.....	80
B. La industria de la maquinaria agrícola en la Argentina y la gravitación de Santa Fe como principal área de expansión.....	83
1. La industria de maquinaria agrícola en la Argentina: estructura de mercado y principales actores	83
2. Trayectorias tecnológicas heterogéneas en la industria de maquinaria agrícola: adopción de técnicas de agricultura de precisión.....	85
3. La industria de la maquinaria agrícola en Santa Fe.....	87
C. Evolución reciente del sector de maquinaria agrícola en la Argentina y en la provincia de Santa Fe	89
D. Trayectoria tecnológica previa y grado de adopción de las tecnologías 4.0	93
1. Difusión de la agricultura 3.0.....	93
2. Proveedores de agricultura de precisión y tecnologías 4.0	94
3. Vínculo entre las empresas de agricultura de precisión y la maquinaria agrícola	95
4. Empresas de servicios basados en conocimiento (SBS).....	96

E.	Políticas para el sector y capacidades público-privadas existentes como plataforma de apoyo para el desarrollo y la incorporación de tecnología 4.0 en la provincia de Santa Fe	97
F.	Limitantes y desafíos de política para la maquinaria agrícola de Santa Fe	100
G.	Propuestas para el diseño de políticas para la Industria 4.0 en maquinaria agrícola	102
V.	El complejo lácteo santafesino: heterogeneidad en la adopción de las nuevas tecnologías asociadas a la Industria 4.0	105
A.	Especificidades sectoriales y nuevas tecnologías asociadas al complejo lácteo	106
1.	Tecnologías 4.0 en el tambo	107
2.	Tecnologías 4.0 en las industrias lácteas	109
B.	Promoción de tecnologías 4.0 en el complejo lácteo. Experiencia internacional	111
C.	El complejo lácteo en la Argentina. Estructura y evolución reciente en la provincia de Santa Fe y en el país	114
1.	Estructura actual del complejo lácteo en la Argentina.	114
2.	El complejo lácteo en la provincia de Santa Fe	116
D.	Trayectorias tecnológicas en el complejo lácteo santafesino	119
E.	Grado de adopción de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteo de Santa Fe	121
F.	Capacidades público-privadas en Santa Fe, plataformas de apoyo para el desarrollo y la incorporación de tecnología 4.0 en el complejo lácteo	125
G.	Desafíos y cuellos de botella en la difusión de la I4.0 en el complejo lácteo de la provincia	128
H.	Propuestas para el diseño de política orientadas al complejo lácteo de Santa Fe	130
VI.	Lineamientos generales para la difusión de tecnologías 4.0 en la provincia de Santa Fe	133
	Bibliografía	139
	Anexos	145
	Anexo 1.	146
	Anexo 2.	148
	Cuadros	
Cuadro 1	Industria 4.0: principales tecnologías según dominio de aplicación	11
Cuadro 2	Casos de análisis y definición de trayectorias tecnológicas	48
Cuadro 3	Obstáculos asociados a la expansión del sector según las dificultades del tipo de usuario	49
Cuadro 4	Propuestas de políticas transversales y focalizadas, según trayectoria	51
Cuadro 5	Industria biofarmacéutica: estrategias y trayectorias tecnológicas	61
Cuadro 6	Empresas biofarmacéuticas en la Argentina, por tipo de empresa y provincia, 2018	62
Cuadro 7	Empresas biotecnológicas en la provincia de Santa Fe	64
Cuadro 8	Áreas y herramientas de políticas para el sector de biotecnología en salud humana	73
Cuadro 9	Estructura industrial, inserción externa, concentración y trayectoria tecnológica	83
Cuadro 10	Áreas de política según organismo y nivel de intervención nacional, provincial y local	104
Cuadro 11	Estratos de industrias lácteas según procesamiento diario de leche, 2018	115
Cuadro 12	Principales empresas de la industria láctea en Santa Fe, 2018	118
Cuadro 13	Áreas y herramientas de política para el sector lácteo de la provincia de Santa Fe	132
Cuadro A.1	Política Industrial 4.0: acciones de política y ámbitos de implementación	148

Gráficos

Gráfico 1	Evolución del empleo y número de empresas, 1997-2017.....	31
Gráfico 2	Evolución del tamaño medio de las empresas del sector de SSI, 1996-2017	31
Gráfico 3	Distribución por tamaño de las empresas de SSI, 1996 y 2017.....	32
Gráfico 4	Evolución de la cantidad de empresas por tamaño, 1996-2016	32
Gráfico 5	Facturación promedio por empleado (dólares), 2018	33
Gráfico 6	Participación de las diferentes actividades en las ventas totales del sector, promedio 2017-2018	34
Gráfico 7	Estructura de costos de las empresas del sector, 2018	34
Gráfico 8	Actividades innovativas en las empresas del sector, 2018.....	35
Gráfico 9	Balanza comercial del sector, 2002-2016	36
Gráfico 10	Participación de las distintas actividades en los ingresos desde el exterior, promedio 2017-2018.....	36
Gráfico 11	Mercados externos, según participación en el volumen de ingresos desde el exterior, promedio 2017-2018	37
Gráfico 12	Principales sectores compradores de productos de SSI argentinos	38
Gráfico 13	Cantidad de empresas en el sector de software, 1996-2016	40
Gráfico 14	Cantidad de empresas en el sector de software, 1996-2016	41
Gráfico 15	Evolución del empleo en el sector de software, Santa Fe, 1996-2018.....	41
Gráfico 16	Empleo en el sector de software, por actividades, Santa Fe, 2016-2018.....	42
Gráfico 17	Cantidad de empresas en el sector de Software, Santa Fe, 1996-2017	42
Gráfico 18	Exportaciones de productos biotecnológicos para salud, total Santa Fe y participación en total país, 2007-2015	63
Gráfico 19	Distribución geográfica del sector de fabricación de maquinaria agropecuaria (CIIU 2921): empleo registrado y empresas, 2004-2016	87
Gráfico 20	Industria de la maquinaria agrícola: participación de la provincia en el total nacional, 2003	88
Gráfico 21	Exportaciones por rubro y origen, promedio 2017-2018	88
Gráfico 22	Evolución de las unidades producidas por segmento de la industria	89
Gráfico 23	Evolución de los puestos de trabajo registrados en la industria de maquinaria agrícola (CIIU 2921) en Santa Fe	90
Gráfico 24	Unidades vendidas en el mercado local (nacionales e importadas)	91
Gráfico 25	Exportaciones por segmento de la industria, 2006-2018	92
Gráfico 26	Exportaciones de productos lácteos, total país y origen Santa Fe	119

Recuadros

Recuadro 1	Infraestructura y capacidades en CTI en la Provincia de Santa Fe: evidencia reciente	18
Recuadro 2	Tecnología e innovación en los complejos productivos de software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y lácteo.....	21
Recuadro 3	Modos de inserción internacional en la industria del software	39
Recuadro 4	Trayectorias sectoriales tecnológicas en la industria biofarmacéutica en la Argentina	60
Recuadro 5	La dinámica al interior de la trama santafesina de maquinaria agrícola y su impacto en la difusión de la I4.0	101
Recuadro 6	Proveedores de tecnologías I4.0 para el tambo.....	108
Recuadro 7	Proveedores de tecnologías 4.0 para la industria láctea	110

Diagrama

Diagrama 1	Interacción entre los dominios de la Industria 4.0	22
------------	--	----

Introducción

La denominada Industria 4.0 surge en los países desarrollados en la segunda década de los años 2000 como respuesta de política industrial frente a una nueva fase en la revolución de las tecnologías de la información y comunicación. El tipo de proceso productivo que se desarrolla y expande desde entonces se basa en los llamados sistemas “ciberfísicos”, en los cuales los procesos de producción (sean físicos o biológicos) son controlados o monitoreados por algoritmos integrados a Internet. Los nuevos sistemas ciberfísicos se apoyan en la modelización digital de los procesos de producción y en el intercambio de datos generados en el propio proceso de fabricación. Este intercambio puede darse entre productos y máquinas (por ejemplo, mediante sensores que facilitan la trazabilidad de la producción), entre distintas máquinas (por ejemplo, entre máquinas y robots que operan en proximidad) o entre diferentes actores de la cadena de producción (por ejemplo, entre las empresas y sus clientes mediante plataformas de gestión de compras y entregas que facilitan el control de inventarios en tiempo real y la gestión de abastecimiento).

Las tecnologías que emergen en este contexto ofrecen una capacidad sin precedentes de reorganización de los procesos productivos. Tienden, además, a redefinir las fronteras sectoriales y a modificar las formas de competencia prevaletentes en un amplio espectro de sectores. La velocidad con que se suceden estas transformaciones plantea un desafío formidable para la política industrial y tecnológica, especialmente en aquellas regiones —como la provincia de Santa Fe— donde la manufactura tiene una importante gravitación en la estructura productiva. El objetivo de este proyecto es, precisamente, contribuir al diseño de políticas públicas que atiendan estos nuevos desafíos en la provincia de Santa Fe, dando cuenta de los riesgos que enfrenta el sistema productivo provincial frente a la dirección y velocidad del cambio tecnológico mencionado.

El trabajo de campo realizado, que incluyó entrevistas a informantes clave, empresas e institutos tecnológicos, además de distintas instancias de gobierno nacional y provincial, se enfocó en cuatro complejos productivos: **software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y lácteo**. Estos complejos no solo se distinguen por su peso en el empleo y la producción santafesina, o por su fuerte articulación con el sistema de ciencia y tecnología (provincial y nacional). Se

destacan, sobre todo, por su elevada exposición al impacto de las nuevas tecnologías. Las empresas pertenecientes a estos cuatro complejos han logrado diferentes grados de avance en el desarrollo de tecnologías complementarias a la Industria 4.0 en la provincia de Santa Fe. Algunos de ellos, incluso, operan en niveles cercanos a la frontera tecnológica internacional (como es el caso de la biotecnología en salud humana, la agricultura de precisión vinculada con la industria de maquinaria agrícola o las grandes usinas lácteas). Pero las brechas que restan por cerrarse son, en general, muy amplias, y están atravesadas por una fuerte incertidumbre, propia de todo proceso de transición tecnológica.

La provincia de Santa Fe se ha destacado históricamente por un mayor grado de diversificación sectorial (en relación con otras provincias de base agropecuaria), además de contar con una infraestructura densa en materia de ciencia y tecnología, que le permitió posicionarse competitivamente, entre otros sectores, en la elaboración de productos agroindustriales. Para mantener ese perfil de especialización, y potenciar sus componentes más dinámicos, incluyendo sus importantes capacidades tecnológicas, la manufactura provincial debe intensificar el ritmo de incorporación de sensores y actuadores en distintas máquinas y fases de los sistemas productivos, aumentar su conectividad, estimular la utilización de la computación en la nube, y reforzar las capacidades necesarias para el aprovechamiento de la información generadas bajo las nuevas formas de fabricación. El estudio que se presenta a continuación analiza cada uno de estos requerimientos, y las políticas públicas que pueden contribuir a su realización, en el contexto sectorial y geográfico específico de los cuatro complejos elegidos.

El documento se organiza de la siguiente manera. El capítulo 1 presenta la experiencia internacional en materia de política industrial 4.0 y analiza su relevancia a la luz del desarrollo productivo y de las capacidades de ciencia y tecnología de la provincia de Santa Fe. El capítulo 2 analiza el sector de software y servicios informáticos de la provincia de Santa Fe como proveedor especializado de tecnologías 4.0 que, como tal, plantea desafíos transversales al resto de las actividades analizadas (que dependen de los servicios informáticos para poder avanzar en su propia transformación). El tercer capítulo se centra en el sector de biotecnología en salud humana, analizando el grado de penetración y potencial de incorporación de la Industria 4.0 en las empresas del sector. El capítulo 4 se ocupa de la industria provincial de maquinaria agrícola, la actividad con mayor potencial para adoptar las tecnologías 4.0, identificando los riesgos que enfrenta y las oportunidades que se le presentan frente al avance tecnológico. El capítulo 5 se concentra en el complejo lácteo, tanto en su fase primaria como de transformación industrial, analizando su trayectoria tecnológica y situación frente al nuevo escenario tecnológico. Finalmente, el capítulo 6 presenta las principales conclusiones, incluyendo propuestas para el diseño de una política industrial y tecnológica 4.0 orientada a los cuatro complejos productivos seleccionados.

I. ¿De qué hablamos cuando hablamos de Industria 4.0? El caso de la provincia de Santa Fe

La noción de Industria 4.0 remite originalmente al “Plan Industria 4.0” de Alemania, que en los últimos años ha influido fuertemente en la forma en que un número creciente de países centrales, y también en desarrollo, lleva a cabo sus políticas industriales y tecnológicas. En este capítulo se analizan algunas de estas experiencias procurando identificar las principales diferencias, tensiones y desafíos para tener en cuenta en países semi-industrializados como la Argentina a la hora de diseñar e instrumentar una política que persiga la incorporación de las tecnologías 4.0 en su entramado productivo. En ese marco se identifican los principales antecedentes de este tipo de políticas en el país, incluyendo algunas iniciativas incipientes en el propio campo de la Industria 4.0 de los últimos años, para luego analizar las capacidades institucionales y científico-tecnológicas específicas de la provincia de Santa Fe con vistas al fortalecimiento de las políticas de fomento a los cuatro complejos productivos seleccionados (software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y lácteo).

A. Política Industrial 4.0: distintos abordajes a nivel nacional

El concepto de Industria 4.0 recoge las respuestas estratégicas de los países desarrollados frente a lo que ciertos autores y organismos internacionales han popularizado como “la cuarta revolución industrial” (Schwab, 2016)¹, basada en el carácter más ubicuo y móvil del internet, lo que permitiría la difusión de sistemas ciber-físicos del llamado “internet de las cosas” (IoT).

¹ Desde esta perspectiva, así como la primera revolución industrial, que se basó en la mecanización del siglo XVIII con la fuerza hidráulica y de vapor, habría dado lugar a la Industria 1.0; la segunda revolución industrial, entre el siglo XIX y parte del siglo XX, basada en la electricidad y la línea de montaje, a la Industria 2.0; la tercera revolución industrial, que comenzó en la década del sesenta con los semiconductores y las computadoras mainframe, a la industria 3.0; la Industria 4.0 sería el producto de una cuarta revolución industrial, basada en el carácter más ubicuo y móvil del internet, lo que permitiría la difusión de sistemas ciber-físicos del llamado “internet de las cosas” (IoT).

Se trata, con independencia de caracterización histórica, de la difusión del paradigma de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) a la manufactura y la producción. A diferencia de la difusión de estas tecnologías en las transacciones comerciales, su difusión en los procesos de producción involucra la digitalización y monitoreo de procesos físicos, químicos y biológicos que se encuentran sujetos a otros paradigmas tecnológicos (como lo son el de la metalmecánica, la microelectrónica, la biotecnología y la nanotecnología).

La mayoría de los estudios sobre la Industria 4.0 se concentran en la interacción entre los dominios digitales y los dominios físicos (BCG, 2018; CEPAL, 2018), y señalan los aumentos de productividad obtenidos a través de la reducción de los tiempos de producción y de circulación a partir de una mayor flexibilidad de la organización de la producción. Son pocos los estudios que incorporan la interacción de éstos con el dominio biológico, en donde la nueva genómica y las nuevas tecnologías de (bio) procesos posibilitan una reducción de los tiempos (y costos) de la investigación y el desarrollo (I+D) y la producción, al mismo tiempo que permiten una personalización de la medicina. Así, las principales tecnologías de la Industria 4.0 pueden ser agrupadas en los tres dominios sobre los que operan: el digital, el físico y el biológico (cuadro 1).

La Industria 4.0 se basa en los llamados “sistemas de producción ciberfísicos”. En estos, los procesos de producción sean físicos o biológicos, son controlados o monitoreados por algoritmos estrechamente integrados con Internet. Para ello, se apoyan en una modelización digital de los procesos de producción y en el intercambio de datos en el proceso de fabricación, entre productos y máquinas y/o entre diferentes actores de la cadena de producción (Bidet-Mayer, 2016). En la intersección de los distintos dominios asumen un rol central la analítica de grandes datos (Big Data Analytics), la computación en la nube y la inteligencia artificial. Esta nueva fase del paradigma tecno-productivo de las TIC ofrece una promesa de reducción del tiempo (y costos) de circulación para avanzar sobre los tiempos de producción, generando un aumento de la rentabilidad a partir de la reducción del tiempo en el cual los medios de producción (materias primas, maquinarias) que se encuentran en estado latente.

Luego, es en estas tecnologías clave que se desata la disputa entre distintos grupos de diferentes industrias por el acaparamiento de los datos y su transformación en servicios como herramienta para la apropiación de una mayor parte del excedente liberado por la reducción de los tiempos (y costos) de producción y circulación. El potencial de aumento de la productividad de las tecnologías de la I4.0 se relaciona con la transferencia de datos entre dispositivos inteligentes y su utilización como insumo en algoritmos y “*machine learning*”, y apunta a la reducción en los tiempos (y costos) de circulación y en los tiempos muertos, mediante una gestión predictiva de la producción y la distribución. Ello supone una creciente interconexión (entre los distintos componentes del proceso productivo, y entre éstos y los proveedores, los procesos de logística y los clientes), que requiere la existencia de un lenguaje común. Es allí donde las plataformas, constituidas por redes de comunicación, estándares y protocolos, tienen un rol clave, en tanto se establecen como intermediarias y son las responsables de garantizar esas conexiones y permitir que dos o más elementos interactúen.

Cuadro 1
Industria 4.0: principales tecnologías según dominio de aplicación

Dominio de aplicación	Tecnología	Definición
Digital	<i>Big Data</i> y computación en la nube	La mayor parte del trabajo de computación hoy ya es realizado en forma remota en la nube, reduciendo la necesidad de almacenamiento y procesamiento en las computadoras y dispositivos locales.
	Computación en el borde/niebla	A través de distintas redes de comunicación con distinto alcance espacial y potencia, acercan a los dispositivos las capacidades de cómputo en la nube y facilitan el procesamiento y almacenamiento, así como los servicios de red entre los equipos terminales y los centros de datos.
	Inteligencia Artificial	Apoyada en los datos generados por la IoT, posibilita el análisis predictivo y la identificación de patrones (intervenciones preventivas), el prescriptivo (intervenciones correctivas) y el adaptativo (autonomía sobre la base de un aprendizaje continuo)
	Cadena de bloques (<i>Blockchain</i>)	Basadas en libros digitales mayores (ledgers) distribuidos y encriptados, agregarían transparencia, inmutabilidad e integridad a los millones de transacciones de la IoT, principalmente en las cadenas de valor o en situaciones en las que los objetos cambian de propietario.
Físico	Internet de las cosas y sensores	Se conectan dispositivos inteligentes dotados de sensores y actuadores, que a medida que operan, generan datos que mediante algoritmos y <i>machine learning</i> permiten optimizar el proceso de gestión de la producción y distribución (ejemplo: mantenimiento predictivo, customización).
	Vehículos autónomos o semiautónomos	Maniobrados sin intervención humana o con intervención humana reducida. Los mismos incluyen tanto los automóviles y camiones como drones de pulverización (UAV). La utilización de GPS y datos espaciales combinado con sensores posibilita a los vehículos autónomos seguir un trayecto de acuerdo con ciertos parámetros.
	Robótica avanzada	Avances en inteligencia artificial, visión a partir de máquinas, sensores, motores e hidráulica están haciendo posible que los robots no solo realicen tareas cada vez más complejas sino que los mismos se adapten y operen en condiciones caóticas.
	Manufactura aditiva (Impresión 3D)	Avances en inteligencia artificial, visión a partir de máquinas, sensores, motores e hidráulica están haciendo posible que los robots no solo realicen tareas cada vez más complejas sino que los mismos se adapten y operen en condiciones caóticas.
Biológico	Nueva Genómica	La rápida reducción de los costos de la secuenciación del ADN hace que exista una gran magnitud de datos genéticos disponibles, haciendo que se acelere el proceso de analizar estos datos para descubrir cómo estos genes determinan ciertos rasgos o mutan causando enfermedades.
	Edición Génica (CRISPR/Cas9)	Herramientas de ingeniería genética que permiten cortar y editar de manera precisa y direccionada el ADN. Estas tecnologías no solo brindan oportunidades de mayor productividad en la investigación y desarrollo de nuevas drogas, al identificar y editar aquellas partes del ADN de una célula que tienen mayor capacidad de producción de ciertas proteínas.
	Pasaje a continuo y sistemas descartables de bioprocesos	Procesos continuos como alternativa a la producción en lotes, permiten operar flexiblemente con reactores más pequeños, manteniendo la estabilidad de los insumos en el proceso. Sistemas de reactores descartables (single use), en vez de tanques de acero inoxidable posibilitan economías de escala (cambios rápidos y limita contaminación cruzada).

Fuente: Elaboración propia a partir de McKinsey, 2013; CEPAL, 2018; Schwab, 2016.

Las plataformas abarcan diversos modelos de negocios, que tienen en común principalmente el aprovechamiento de los beneficios de los efectos de red. En particular, las plataformas industriales permiten el control digital de las distintas etapas del proceso productivo a través de la integración de sensores y microchips a la maquinaria, y de rastreadores en los procesos logísticos, que se encuentran integrados a través de internet. Esta forma de organizar la producción se denomina Internet Industrial de las Cosas (IIOT, en inglés), y permite que los distintos componentes del proceso productivo se transmitan información y se integren con la información comercial de la empresa, e incluso que se tomen decisiones sin necesidad de la intervención de personas (Casalet, 2018; Srnicek, 2017).

Un efecto interesante del desarrollo y la expansión de este nuevo paradigma es que tiende a redefinir las fronteras sectoriales y como consecuencia de ello las formas de competencia prevalecientes. Puede, por ejemplo, desatar nuevas disputas entre distintos grupos de diferentes

industrias por el acaparamiento de los datos obtenidos en el proceso de producción y su transformación en nuevos servicios como herramienta para la apropiación de una mayor parte del excedente. Lo que impone la necesidad de reorientar los ejes en torno a los que se diseñan e implementan las políticas industriales y tecnológicas, algo que ya puede observarse en la experiencia internacional (CEPAL, 2018).

Las iniciativas de política industrial 4.0 más relevantes por su grado de avance son la Industry 4.0 de Alemania y la Industrial Internet of Things de Estados Unidos. En un tercer lugar, aunque en un grado más incipiente de difusión, se encuentra China, con su programa Made in China 2025. El caso de Italia (Industria 4.0) también merece destacarse, por su focalización en las pymes y su capilaridad territorial.

Alemania cuenta con una posición de liderazgo en las industrias de maquinaria e ingeniería de plantas y como proveedor de equipamiento para las fábricas. Frente a la digitalización dominada por grandes plataformas con origen en Estados Unidos, el gobierno alemán comenzó tempranamente a crear iniciativas estratégicas y políticas para mantener su liderazgo en esas actividades manufactureras. Dichas iniciativas se institucionalizaron en una acción estructurante, la denominada “Plataforma Industria 4.0”, que se propuso coordinar distintas acciones en la consolidación del liderazgo alemán en la ingeniería mecánica, maquinaria e ingeniería de planta. Las acciones de política I4.0 se financiaron a partir de acuerdos público-privados e incluyeron el apoyo a la infraestructura de I+D. Dentro de esa infraestructura, se destaca el papel de la red de institutos tecnológicos Fraunhofer, que opera como soporte institucional para la promoción de redes y la cooperación entre socios industriales y la estandarización mediante el establecimiento de protocolos comunes de comunicación. La PI4.0 busca promover la adopción de las tecnologías 4.0 entre las pequeñas y medianas empresas metalmeccánicas (Mittelstand), un segmento clave en la explicación de la fortaleza y competitividad sistémica alemana. Más allá del foco estratégico en ese segmento empresarial, los grandes grupos como ABB, Bosch, Telekom, FESTO, SAP, Siemens, Thyssen Krupp, Trumpf, Volkswagen y Wittenstein tuvieron una participación importante en los grupos de trabajo.

La difusión de un estándar surgido de un consenso implica cambios en la arquitectura de las interfaces que involucra la organización productiva y la gestión de las empresas, con especial impacto en las organizaciones internas de las pymes y los modelos de negocios. La profundidad de los cambios en curso ha llevado a que en diversos rubros, los grupos de trabajo posterguen las rivalidades entre empresas competidoras en las que la emergencia de plataformas globales puede poner en riesgo la fortaleza alemana de las pymes.

A diferencia de Alemania, que concentra su ventaja competitiva en la manufactura, **Estados Unidos** cuenta con ventajas en la denominada “economía de plataformas”, cuya expansión se orienta a los sectores de servicios². La estrategia se basa en complementar su liderazgo en materia de plataformas digitales con el desarrollo de un entramado industrial fuertemente estructurado en el dominio de la computación en la nube, la inteligencia artificial y los grandes datos. La misma es promovida desde una iniciativa pública para la denominada “manufactura avanzada” en un esquema colaborativo con el sector privado (Advanced Manufacturing Partnership, AMP) y en el que se ha creado una red de institutos tecnológicos también a partir de asociaciones público-privadas: Manufacturing Centers of Excellence (MCE), National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) y Manufacturing Technology Testbeds (MTT). El apoyo a ciertos “campeones nacionales” incluye a consorcios de las grandes empresas multinacionales de electrónica y telecomunicaciones³ y a aquellos que dominan la plataforma de nube⁴. Para proveer una nube unificada para usos de inteligencia y militares, la política

² En este modelo, las plataformas de servicios se articulan con la manufactura a partir de un sistema de producción en el que empresas como Lyft y Airbnb organizan la distribución de servicios de transporte o de alquileres sobre la base de prestación de actividades de intermediación sin modificar la base técnica preexistente.

³ General Electric es un actor fundamental en la difusión del concepto *Industrial Internet of Thing (IIoT)* y en la creación del consorcio *Industrial Internet Consortium (IIC)* en 2014 junto con AT&T, Cisco, IBM e Intel (Diab, Harper, Thingwise, & Sobel, 2017)

⁴ Como lo ilustran los grandes (y polémicos) contratos con Amazon de la CIA y el Departamento de Defensa (DoD Ver (Economist, 2019)

industrial de Estados Unidos busca combinar las grandes misiones con la difusión de tecnologías IoT en la manufactura. Las actividades no se acotan al sector manufacturero, sino que incluyen actividades propias de los sectores de servicios y primario: energía, salud humana, agricultura, aviación, minería, transporte, ciudades inteligentes (smart cities).

En **China** la adopción de la I.4.0 debe comprenderse en el marco de una situación de liderazgo emergente en el campo de las plataformas digitales, con grandes jugadores globales, cierto rezago en materia de capacidades tecnológicas en la manufactura, y una estrategia nacional de catching up tecnológico basada en la adopción deliberada de tecnologías importadas. Se destacan dos planes del estado chino: Made in China 2025 (MIC2025) y la Internet Plus Strategy. El MIC2025 es un plan estratégico orientado al ascenso tecnológico en las cadenas globales de valor y a convertirse en un país con capacidades manufactureras en industrias de media tecnología. En la segunda fase (2026 a 2035) dicha estrategia apunta a continuar el ascenso en sectores manufactureros de alta tecnología, para convertirse en el período 2036-2049 en uno de los países líderes en el diseño de nuevos productos, controlando la totalidad de las fases de sus cadenas de valor (Li, 2017). Con una expansión global apalancada en su gran mercado interno, la estrategia Internet Plus busca desarrollar su propia red de telefonía móvil 5G dando un salto adelante (leap frog) en materia de infraestructura de telecomunicaciones, un factor que hoy se encuentra en el centro de la rivalidad global con los Estados Unidos. Los nacientes liderazgos en tecnologías de comunicación le permiten a China alcanzar las demandas de los sistemas manufactureros ciberfísicos, dado que uno de sus principales componentes como la IoT requiere no solo alta velocidad de transmisión de datos, sino también confiabilidad, cobertura geográfica y baja latencia que las redes 4G no logran cumplir (Cheng, Chen, Tao, & Lin, 2018).

Italia, por último, es otro caso interesante, en particular desde la perspectiva de la Provincia de Santa Fe, dada su focalización en las pymes y el territorio. Si bien no cuenta con el apoyo presupuestario de los casos estadounidense y alemán, su iniciativa la "Fabbrica del Futuro", que promueve actividades de vigilancia tecnológica y el desarrollo de determinados proyectos de investigación público-privados, en combinación con el programa "Cluster Tecnológico Nacional; Fabrica inteligente"⁵ (CFI, 2013), se orientó a la identificación de espacios de cooperación y especialización regional a partir de una predefinición de seis regiones, como la producción especializada para la región de Módena, la producción modular para Bergamo, o la robótica para Nápoles, entre otras. Luego de estas experiencias, el gobierno italiano lanzó en el año 2017 un plan nacional denominado Industria 4.0 que, manteniendo un abordaje de intervención basado en acciones horizontales y sustentado en instrumentos existentes, buscó la coordinación de los principales actores basado en una estrategia "desde abajo" (Ministero dello Sviluppo Economico, 2017). El plan se enfocó en apoyar las capacidades e I+D de las firmas, la formación de recursos humanos en I.4.0 a partir de Institutos Técnicos Superiores y apuntaló el desarrollo de infraestructuras de redes de comunicación, así como la adopción de estándares de IoT (ya sean "abiertos" o cerrados) definidos por grandes empresas multinacionales. El plan tiene la virtud de avanzar capilarmente sobre el territorio, pero, quizás por cuestiones presupuestarias, el impulso a las capacidades de adopción de las nuevas tecnologías es aún incipiente y la forma de adopción de estándares y protocolos tiende a ser pasiva, lo que puede a la postre tener efectos negativos sobre el tejido industrial y en la disputa por la apropiación del excedente con grandes jugadores globales.

De la revisión de estos cuatro casos se infiere que una de las principales acciones de política I.4.0 es la organización del esfuerzo de I+D alrededor de los desafíos que enfrenta la manufactura frente a las nuevas tecnologías digitales. Las oportunidades que brindan las nuevas tecnologías requieren la convergencia entre trayectorias tecnológicas previas basadas en modelos de aprendizaje proveedor-

⁵ Cluster Tecnológico Nazionale "Fabbrica Intelligente".

usuario localizadas, con las nuevas tecnologías I4.0, e implican un nuevo tipo de articulación con la infraestructura de CyT.

En todos los casos es posible identificar una estrategia colaborativa en I+D manufacturero, con los “Institutos Manufactureros” como nodos articuladores, representados en Alemania por los Institutos Fraunhofer y en Estados Unidos por la nueva red de institutos para la nueva manufactura (NNMI⁶). En Italia el apoyo a los institutos tecnológicos es más débil presupuestariamente, y se basó en un esquema de financiamiento por proyecto a partir de capital de riesgo y la promoción a las inversiones intangibles en I4.0 a través de desgravación impositiva. Los institutos tecnológicos juegan un rol clave en la medida que gran parte de los sectores manufactureros están comprendidos por empresas pequeñas y medianas (pyme), cuyo tamaño limita la posibilidad de contar con departamentos de I+D propios e impide desarrollar capacidades de prototipado y escalado industrial⁷.

Ahora bien, la propia experiencia de Alemania indica que no alcanza con el apoyo al desarrollo de los centros tecnológicos. Resulta necesario, además, reforzar los instrumentos de financiamiento y plantear un horizonte de protección selectiva si se pretende que las pymes adopten este tipo de tecnologías⁸. Por ello, en todos los casos la adopción de estas tecnologías involucra instrumentos de promoción fiscal a las firmas manufactureras (y a la industria de capital de riesgo). El uso de créditos fiscales a la I+D o la amortización acelerada para la inversión de tecnologías (tangibles e intangibles) asociadas a la I4.0.

Otro factor decisivo es el de formación de recursos humanos, técnica e ingenieril, para la adopción de las tecnologías 4.0, y el desarrollo de procesos y rutinas que sean incorporadas en los sistemas productivos. En el sistema de innovación alemán, por ejemplo, la formación involucra a las organizaciones empresarias, los sindicatos y las universidades en la definición de los planes de estudio.

Este conjunto de acciones (apoyo a los centros tecnológicos, incentivos fiscales, capacitación de recursos humanos) fue acompañado en los casos revisados con diversos grados de focalización sectorial y de gestión selectiva del mercado interno. El foco sectorial de las políticas obedece, explícita o implícitamente, al tipo de especialización que se busca preservar o potenciar. En el caso de Alemania, es claro que se busca reforzar la competitividad de la ingeniería mecánica, la electrónica y otras industrias proveedoras especializadas que enfrentan los desafíos de la digitalización. En los Estados Unidos y China existe mayor horizontalidad en el tipo de sectores promovidos: se apoya la transferencia de tecnología, no solo a las industrias metalmeccánicas y electrónicas, sino también a sectores usuarios como la agricultura y la energía, con especial énfasis en el control de las plataformas digitales.

Es en este último aspecto que, a excepción de Italia, que opta por la “adopción de estándares abiertos”, en el resto de los casos analizados existe un abordaje estratégico de la estandarización. Como se mencionó, el avance de la Internet Industrial de las Cosas requiere interoperabilidad entre distintas máquinas, y para ello deben compartir protocolos comunes de comunicación. Estos protocolos que posibilitan un “lenguaje común” en la interpretación de los datos, requieren procesos de estandarización. Aún si los estándares son de carácter abierto, están sujetos a distintas “interpretaciones” en las que se priorizan determinadas funciones por sobre otras, que sumados a los efectos de las economías de red pueden llevar a que ciertas industrias logren controlar los paquetes

⁶ Red Nacional para la Innovación Manufacturera, en inglés National Network for Manufacturing Innovation.

⁷ Inspirados en la experiencia de los institutos Fraunhofer, los institutos italianos funcionan como establecimientos de prueba y escalado de las tecnologías, colaborando en el test y prueba de prototipos y procesos. En Italia se aborda una estrategia menos ambiciosa y estructurada en redes de institutos, concentrándose en siete clústers especializados en el que compiten y cooperan distintos centros tecnológicos.

⁸ Si bien estas empresas cuentan en general con ciertas capacidades de ingeniería mecánica (o electrónica), el personal técnico comparte su tiempo de trabajo entre las operaciones de desarrollo, producción (y no pocas veces de postventa). Luego, no se encuentran en una posición para llevar adelante I+D y/o adoptar nuevas tecnologías y procesos a menos que los costos y las ganancias de eficiencia estén totalmente demostradas y tengan un horizonte de financiamiento de mediano plazo para adoptarlas.

tecnológicos de las nuevas tecnologías. En tal sentido, si la adopción de las nuevas tecnologías a nivel intra-organizacional presenta desafíos en los que la promoción de las redes de institutos manufactureros, el apoyo a las pymes y el foco en la formación de la fuerza de trabajo exigen acciones de política a nivel nacional y subnacional, la estandarización requiere resolver tensiones intersectoriales que muchas veces se dirimen en el espacio global de competencia. Como señalan algunos trabajos, esto origina importantes tensiones entre el aseguramiento de la interoperabilidad y su impacto sobre la autonomía y el alcance de las capacidades de las firmas y de las infraestructuras de I+D locales.

- Un primer tipo de tensión surge cuando en un contexto de incertidumbre tecnológica, la selección temprana de un estándar puede desplazar prematuramente a un conjunto de opciones tecnológicas más adecuadas (Foray, 1989). Esta tensión es de particular interés en el marco de este estudio, por ejemplo, en el caso de la maquinaria agrícola cuando se impone un estándar global como parte de la estrategia de grandes empresas proveedoras de una gama de equipos, y desplaza a otras soluciones tecnológicas más apropiadas para los contextos y las técnicas locales de cultivo (siembra directa). Los estándares globales en maquinaria agrícola no incluyen por el momento funciones que posibiliten la recepción de información por parte de un implemento y su actuación sobre el tractor. De esta manera, el estándar difundido permite que las grandes firmas globales proveedoras de equipos obtengan una gran cantidad de datos útiles para su estrategia de fidelización comercial de sus clientes (a partir de los servicios de postventa), pero no brinda soluciones adecuadas a las prácticas agronómicas locales, que sí son desarrolladas, por ejemplo, por proveedores locales de agricultura de precisión.
- Un segundo tipo de tensión, asociado con el ejemplo previo, se refiere a que no siempre los efectos de red son globales. Puede haber redes locales preexistentes (específicas a un sector, industria o región) en los que ya se han desarrollado protocolos de comunicación específicos como es el caso de la agricultura de precisión en Argentina. Las firmas de una determinada región pueden estar interesadas en la interacción con otras firmas co-localizadas. En este marco, las retroalimentaciones positivas que posibilitan los procesos de aprendizaje se encuentran acotadas localmente y dan lugar a protocolos y formatos de mensaje anclados en las estructuras insumo-producto regionales. Cuando dichas estructuras buscan integrarse en las redes globales, a partir de sus propias arquitecturas operan mecanismos auto-reforzantes que generan altos costos de migración (en términos de aprendizajes previos) de una red local a una global. Para las firmas proveedoras locales de bienes y servicios complementarios, como las empresas de agricultura de precisión o los proveedores de automatización, así como para los usuarios industriales, la incertidumbre respecto a la evolución de la tecnología debe ser compensada por las ganancias en eficiencia (resultantes de una mayor interoperabilidad), que en ocasiones, no son visibles de antemano.

Los elementos analizados, plantean importantes desafíos y ventanas de oportunidad para una política industrial que busca combinar procesos de adopción de nuevas tecnologías a partir de distintas condiciones de capacidades locales y de articulación en el marco de redes locales (Antonelli, 2002) (Robert & Yoguel, 2010). Esto dependerá no solo de las capacidades de las firmas locales en la adopción de tecnologías 4.0 a través de la incorporación de sensores o la automatización de procesos, y del grado de conectividad de los distintos nodos en la trama, sino también de la forma en que dicha capacidad de receptividad de las nuevas tecnologías 4.0 implique la adopción de un paquete tecnológico importado de manera "integral" y "cerrado". Las posibilidades de "apertura" de un paquete tecnológico, permiten desarrollar y gestionar localmente ciertas tecnologías clave (aunque existan componentes importados en los mismos) como es el caso de los servicios de automatización a pymes locales, que no cuentan con las condiciones de equipamiento ni de infraestructura para adoptar un paquete tecnológico integral. De la misma manera, la adopción de protocolos de comunicación entre tractores e implementos agrícolas

que no incluyen las funciones relevantes para el contexto local, limitan el acceso a soluciones más adecuadas para las condiciones en las que se desarrolla la agricultura en diferentes regiones del país, entre ellas la provincia de Santa Fe. En tal sentido, la adopción pasiva de un estándar puede bloquear el desarrollo local de estas tecnologías.

En general, el desarrollo local de soluciones tecnológicas 4.0 se verá mediado por la vulnerabilidad de las redes productivas preexistentes, que será mayor o menor, dependiendo del peso de determinados actores globales en la trama local y del control que éstos tengan sobre los activos clave complementarios (por ejemplo la producción de tractores, de sistemas de PLC, o el manejo de las redes de distribución, entre otros). También dependerá de la capacidad de utilizar la política pública en sus distintas escalas para apoyar la formación de capacidades locales en las nuevas tecnologías, y de gestionar estratégicamente los tiempos para la adopción de estándares a través de las acciones en materia de compra pública, marco regulatorio y autoridades de normalización. El rol de los institutos tecnológicos anclados en el territorio es clave para la capacitación de las empresas locales en materia tecnológica y en protocolos de comunicación, como también la participación de las empresas y de las cámaras empresariales, en las asociaciones internacionales donde se definen los estándares.

En este marco, el diseño de una política industrial de alcance provincial requiere identificar (a) aquellas actividades locales, como es el caso de la agricultura de precisión o las empresas proveedoras de soluciones locales de automatización, centrales en la difusión de las nuevas tecnologías de la I4.0 y que muchas veces trascienden el alcance provincial, para luego identificar; b) qué áreas de intervención se encuentran a disposición del nivel provincial en materia de apoyo a las capacidades tecnológicas de las firmas o a la infraestructura de CyT, tales como los centros e institutos tecnológicos localizados en la provincia, c) cuáles son las áreas de intervención que requieren una articulación con el nivel nacional en materia de financiamiento de la I+D, marcos regulatorios y/o política comercial como es el caso de la estrategia de propiedad intelectual o de estándares; y d) en torno a qué instrumentos o instancias público-privadas debería articularse con otras provincias para potenciar los esfuerzos y complementariedades de la especialización teniendo en cuenta que Santa Fe comparte su base metalmeccánica con la provincia de Córdoba y en menor medida con Entre Ríos, y que empresas locales de biotecnología se insertan en redes que trascienden los límites provinciales.

B. Política industrial en Santa Fe

Desde mediados de la década de los 2000, la Argentina reforzó un conjunto de instrumentos e instituciones orientados a generar oportunidades y capacidades tecnológicas en la industria manufacturera. Se destacan, en ese marco, la re-jerarquización presupuestaria del CONICET, la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y un conjunto de proyectos en áreas de I+D en tecnologías satelitales y digitalización a partir de la CONAE, que en varios aspectos resultaban convergentes con los desafíos planteados por la Industria 4.0 en materia de infraestructura. La ley de Promoción a la Industria de Software, tal como se discute en el segundo capítulo de este estudio, generó una masa crítica de firmas en esta industria emergente capaces de apuntalar el escalamiento tecnológico y la diversificación en las industrias manufactureras. Estos avances en distintas áreas ministeriales tuvieron importantes problemas de implementación y coordinación, limitando las posibilidades de los procesos de aprendizaje tecnológico en el marco de una estrategia de industrialización (Lavarello y Sarabia, 2015; Abeles y otros, 2017).

A partir del año 2016, con el cambio de administración, la política industrial y tecnológica entró en una suerte de impasse en el marco de una menor jerarquía tanto institucional como presupuestaria. En particular, se evidenció una contracción real del presupuesto destinado a ciencia y tecnología que, incluso, alcanzó a programas con fondos de organismos internacionales que habían sido de gran relevancia en su rol como instrumentos orientados a la generación de oportunidades de CyT y al apoyo

a las capacidades de las empresas, fundamentalmente pymes⁹. En forma paralela, a partir del año 2017 surgen desde el Ministerio de Producción y Empleo iniciativas que buscan, por un lado, generar instancias de apoyo a la industria a partir del compe nacional y, por el otro, responder a los desafíos de la revolución tecnológica en la manufactura, como es el caso de la promoción a la economía del conocimiento y en particular a la denominada Industria 4.0. A inicios de 2019 se estableció el Plan Industria Argentina 4.0¹⁰, que define un marco regulatorio general de impulso a las nuevas tecnologías, y se crean un Comité Ejecutivo y un Consejo asesor para el diseño y ejecución de los programas específicos. Entre los objetivos principales del Plan se destaca el fomento del diálogo público-privado en torno a las oportunidades abiertas por las nuevas tecnologías, el estímulo a la creación de ecosistemas productivos regionales, y la promoción de la mayor "sensibilización" para la adopción de las nuevas tecnologías. Si bien el plan coloca a la Industria 4.0 como objetivo específico de política, al momento de editar este documento no trasciende aún el plano enunciativo. Su importancia concreta y efectividad dependerán de las políticas y el financiamiento específico que se establezcan bajo su órbita.

Por otro lado, en mayo de 2019 se sancionó la ley de creación del Régimen de Promoción de la Economía del Conocimiento¹¹ que estará vigente desde el 1 de enero de 2020 hasta el 31 de diciembre de 2029 y que reemplaza al otrora Régimen de Promoción de la Industria del Software vigente hasta 2019. Este nuevo régimen identifica a la Industria 4.0 como objeto específico de promoción abarcando, además del software y los servicios informáticos y digitales, las siguientes tecnologías y sectores: biotecnología, nanotecnología, industria aeroespacial y satelital, inteligencia artificial, robótica, internet de las cosas, sensores, manufactura aditiva. Entre las principales medidas se establecen incentivos fiscales sobre impuestos a las ganancias y contribuciones patronales, a cambio de la realización de mejoras en la calidad de los servicios, productos y/o procesos; de la inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y/o capacitación de los empleados en dichas actividades, o de las exportaciones de bienes y servicios de las actividades promovidas.

En contraste con la experiencia internacional, el programa no establece ni menciona formas de articulación entre las empresas con las instituciones de la ciencia, la tecnología y la innovación productiva, ni discrimina por tipo de empresa, contemplando indistintamente el acceso a los beneficios a empresas pequeñas, medianas y grandes, incluidas las multinacionales¹². Sin perjuicio de ello, es de destacar que a principios del año 2019, prácticamente en paralelo con la sanción de la mencionada Ley se creó, bajo la órbita del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), una Dirección de Industria 4.0. Esta Dirección se construyó sobre la base de las capacidades del área de diseño industrial y busca articular con el resto de las áreas y divisiones regionales. Hasta el momento, la iniciativa ha avanzado en diagnósticos y sensibilización de empresas, y aspira a impulsar "habilitadores tecnológicos" en Industria 4.0. Si bien cuenta con recursos limitados, en caso de consolidarse, esta nueva Dirección puede constituirse en un buen punto de partida para una política transversal hacia este sector.

⁹ Entre las líneas de promoción más afectadas se identifican los Aportes No Reembolsables (ANR) como el FONTAR y FONARSEC de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Asimismo, se desactivó el Programa de Acceso al Crédito y Competitividad (PACC), que otorgaba ANR para proyectos de incorporación de tecnología y mejora de productividad de pymes, o programas específicos de asistencia financiera (FONApyme que brindaba financiamiento a menor tasa que la de mercado para proyectos de inversión y capital de trabajo).

¹⁰ Resolución Conjunta 1/2019 del Ministerio de la Producción y Trabajo y el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología.

¹¹ Ley Nº 27.506 sancionada el 22 de mayo de 2019 y Decreto de reglamentación 408/2019 del Poder Ejecutivo Nacional.

¹² Únicamente se distingue a las microempresas como un caso diferenciado de las demás categorías de firmas.

Por su parte, la Provincia de Santa Fe cuenta, en términos relativos, con una infraestructura de ciencia, tecnología e innovación (CTI) muy bien posicionada en el plano nacional. Desde la creación de la Dirección General de Ciencia y Tecnología (DPCyT) en 1990 hasta la elevación de las actividades de CTI a rango ministerial (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva) en 2015, la generación de conocimiento científico y tecnológico y la apropiación y transferencia de ese conocimiento por parte de y hacia la estructura socio-productiva santafesina ha sido un objetivo sostenido en el tiempo.

En este sentido, la institucionalidad de la CTI ha tendido no solamente a fortalecer los procesos endógenos de generación de conocimientos y desarrollo de innovaciones, sino también a reforzar las articulaciones para que ese conocimiento sea social y productivamente útil, lo que constituye un muy buen punto de arranque para la incorporación de las tecnologías asociadas a la I4.0. Por ejemplo, 301 (11,7%) de las 2572 instituciones de ciencia y tecnología de la Argentina se encuentran en la provincia de Santa Fe. De esas instituciones, 187 son universidades o constituyen institutos universitarios estatales¹³. De manera similar, 3.182 (10,6%) de los 30.046 investigadores y becarios en I+D registrados en el país corresponden a la provincia (fuente: SICYTAR; datos de 2015). Santa Fe también se destaca por la fuerte presencia de centros tecnológicos público-privados, en general vinculados con asociaciones empresarias, que actúan en estrecha articulación con el sector privado (entre ellos CIDETER y el Centro Tecnológico de El Trébol), y otros organismos públicos como la Dirección Provincial de Asistencia Técnica (DAT), dependiente del Ministerio de Producción provincial.

La consolidación de la infraestructura de CyT de la provincia de Santa Fe fue acompañada por el desarrollo de capacidades en la gestión de las políticas productivas y tecnológicas provinciales, en el que se reconocen dos etapas fundamentales, marcadas por la puesta en funcionamiento de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación. Desde su creación en el año 2013 y su puesta en funcionamiento en el año 2014, la Agencia comenzó a gestionar gran parte de los instrumentos vigentes hasta entonces, al mismo tiempo que sumó nuevos instrumentos que, en conjunto, configuran un sistema de apoyo al desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas, que involucran a distintos tipos de beneficiarios, y que convocan expresamente a individuos, empresas e instituciones que busquen mejorar la competitividad del sistema productivo santafesino. Además, dada su estructura de cogobierno del cual también participan el sector científico y el sector productivo, la Agencia funciona como articulador de los distintos organismos que forman parte de la infraestructura en CyT de la provincia, dotando al sistema de un mayor volumen de vínculos e intercambios de conocimientos.

Recuadro 1

Infraestructura y capacidades en CTI en la Provincia de Santa Fe: evidencia reciente

El desarrollo institucional en CTI de Santa Fe reconoce distintas etapas con importantes especificidades: (i) En 1990 se sanciona a nivel nacional la Ley de Innovación Tecnológica (23.877), se otorgaron en Santa Fe créditos y subsidios orientados a mejorar la competitividad de las pymes y Mipymes, formar recursos humanos y promover el desarrollo de nuevas empresas intensivas en conocimiento. (ii) En 2007, en simultáneo a la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva nacional, se crea en la provincia la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, la cual complementa los programas nacionales con aportes provinciales que permitieran financiar proyectos de ciencia y tecnología (iii) En 2013 se crea la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación que pasa a ser la encargada, a partir de su puesta en funcionamiento en 2014, de la gestión de gran parte de los instrumentos provinciales orientados a fomentar el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas en la provincia. Desde 2014, los **proyectos financiados** por la Agencia se incrementaron sostenidamente, tanto en montos como en cantidad. Se destaca la fuerte presencia de la Universidad Nacional del Litoral como Unidad de Vinculación Tecnológica que gestiona los fondos y las presentaciones realizadas, especialmente en los programas de Innovación

¹³ Entre los principales se destacan los departamentos y facultades de las Universidades Nacionales de Rosario (UNR) y del Litoral (UNL) y de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Aplicada en PyMes e Innovación Productiva. Esto pone de manifiesto el rol fundamental que ocupa esta institución en la articulación entre el sistema público de financiamiento a la innovación y el sistema productivo provincial, más allá de las capacidades de gestión e investigación propias de la UNL. Dicha construcción institucional ha permitido avanzar en el desarrollo de infraestructura y formación de recursos humanos en CTI en la provincia, con articulación con el sector productivo provincial

En materia de **recursos humanos**, residen en Santa Fé el 10,6% de los investigadores y becarios argentinos en I+D (fuente: SICYTAR; datos de 2015). En relación con la población total provincial los datos muestran que de cada mil habitantes de Santa Fe, 0,94 eran investigadores o becarios en I+D, por encima de lo observado para el total nacional (0,7‰). Se destaca como uno de los rasgos más significativos, la relación que existe entre el campo disciplinar de formación y las características del perfil productivo. Los recursos humanos en ciencias médicas y de salud, en ciencias agrícolas y en ingeniería y tecnología tienen una mayor importancia relativa entre los investigadores formados en Santa Fe que en el total nacional

Cuando se consideran los **proyectos presentados para ser financiados por instrumentos nacionales** los resultados muestran que en 2015, la cantidad de proyectos científicos en Santa Fe daba cuenta del 9% del total nacional, proporción que muestra un incremento cuando se considera como punto de partida el año 2008, donde la participación de la provincia en el total era del 8%. Por el contrario, la importancia relativa de los proyectos tecnológicos de la provincia en el total nacional muestra una reducción de 7 pp. entre 2008 y 2015, alcanzando en este último año una proporción cercana al 18,5%. En cuanto a la importancia de la provincia en los montos financiados el comportamiento que se observa es similar al de la cantidad de proyectos: aumenta entre 2008 y 2015 (de 8,5% a 10,8%) en lo relativo a proyectos científicos, pero disminuye fuertemente cuando se consideran los proyectos tecnológicos (de 21,7% a 8,1%).

Tanto **en términos disciplinares como en la radicación institucional de los proyectos científicos** se evidencia una distribución similar a la observada para el conjunto de Argentina. Las ciencias naturales y exactas nucleaban, en 2015, el 48% de los proyectos científicos que se desarrollaban en la provincia de Santa Fe, y el segundo lugar era ocupado por ingeniería y tecnologías con algo más del 32%. En el otro extremo, los proyectos relacionados con ciencias sociales y especialmente humanidades eran los de menor importancia relativa. Por su parte, **las universidades públicas** desempeñan un rol fundamental como ámbito de ejecución de los proyectos financiados, ya sea directamente o a través de los organismos de ciencia y tecnología que se asientan en ellas. En particular, en 2015, 63,7% de los proyectos científicos se ejecutaban en OCT-universidades, mientras que un 30% adicional estaba radicado en las universidades.

En cuanto a los **proyectos tecnológicos**, los datos de SICYTAR revelan que el 17,7% de aquellos presentados entre 2005 y 2015 estaban radicados en Santa Fe (978 proyectos). Con esta proporción la provincia se ubica como la tercera más importante en la presentación y financiamiento de estos proyectos. Se destacan principalmente los proyectos con montos que van desde los 50 mil a los 125 mil pesos (22,1%) y los del tramo siguiente, entre 125 mil y 500 mil pesos (20,3%). La participación de los proyectos con montos superiores a un millón de pesos superaba levemente al promedio nacional (17,8% vs. 16,4%).

Si bien los organismos públicos han tenido participación en el desarrollo de estos proyectos financiados, se destaca principalmente la intervención de las **empresas y de las personas físicas**. Así, del total de proyectos financiados entre 2009 y 2015, el 80,7% correspondía a empresas y un 15,2% a personas físicas; el 4,1% restante se distribuía entre universidades, organismos de ciencia y técnica y consorcios público-privados.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema público de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en la provincia se completa con organismos gubernamentales de CyT de alcance nacional (centros CONICET, los centros regionales de INTA y organismos relacionados con el INTI) y los organismos públicos de ciencia y tecnología en Universidades (especialmente, centros CONICET en universidades). Una mención especial merece las propias empresas que se dedican al desarrollo de ciencia y tecnología. De acuerdo con los datos provistos por el Sistema de Información de Ciencia y Tecnología Argentino (SICYTAR), para la Argentina en su conjunto pueden identificarse 424 firmas que presentan proyectos y acceden a financiamiento para actividades tecnológicas y de innovación. De ese total, 78 firmas (18,4%) pertenecen a la provincia de Santa Fe. Cifras similares se observan al analizar la adjudicación de proyectos tecnológicos. Siempre en función de los datos de SICYTAR, 17,7% de los proyectos presentados entre 2005 y 2015 estaban radicados en la provincia de Santa Fe, la tercera más importante en la presentación y financiamiento de estos proyectos.

La importancia que adquiere este tipo de proyectos en Santa Fe, junto con la vitalidad de las empresas y la densidad de las instituciones de CTI, pone de manifiesto dos cuestiones centrales. Por un lado, la existencia de capacidades tecnológicas para identificar, desarrollar e implementar procesos de mejora e innovación en el sector productivo, las cuales no se concentran únicamente en los organismos públicos de CyT sino que también están presentes en un núcleo importante del sector privado. Por otro, revela los esfuerzos que lleva a cabo una parte del sector productivo provincial para incrementar su competitividad a partir de la incorporación de tecnología y el desarrollo de conocimientos.

C. Trayectoria sectorial y convergencia tecnológica 4.0 en Santa Fe

La importancia relativa de las actividades relacionadas con la producción de lácteos, maquinaria agrícola, software y servicios informáticos y sustancias químicas aplicadas a la agricultura y a la salud humana y animal, no solamente radica en su participación actual en la estructura productiva de la provincia, sino en el desarrollo de capacidades tecnológicas realizado a través del tiempo, como lo evidencia el análisis del recuadro 2. Ante el contexto de avance e incorporación de nuevas tecnologías en los modelos de negocios de las empresas, es esperable que sean estas mismas actividades las que puedan constituir el punto de partida para la penetración de estos cambios tecnológicos recientes en la estructura productiva provincial

Algunos datos ilustran la importancia de estos sectores en la provincia de Santa Fe. Por ejemplo, el complejo de maquinaria agrícola de la provincia concentra más del 40% del empleo del sector a nivel nacional (12.184 puestos de trabajo en 2017) y el 41,3% de las empresas (211 sobre 511 en el año 2016). Santa Fe, junto a Buenos Aires y Córdoba, explican el 93% del empleo registrado del sector (OEDE, 2018) y aglutinan el 90% de las empresas fabricantes (OEDE, 2016). Asimismo, la provincia de Santa Fe se destaca por las exportaciones de sembradoras: entre 2017 y 2018 el 82,5% de las exportaciones de sembradoras nacionales tuvieron origen en Santa Fe. La acumulación de capacidades metalmecánicas basadas en aprendizajes tecnológicos en los que la interacción con usuarios locales y con la infraestructura de Ciencia y Tecnología nacional localizada en la provincia ha sido clave en la construcción de sus ventajas competitivas. Asimismo, la adopción de dispositivos de agricultura de precisión a partir de acuerdos comerciales con proveedores locales facilitó la difusión de la agricultura 3.0 en la provincia a un ritmo acelerado.

Con relación al complejo lácteo, la provincia de Santa Fe ocupa un lugar central en el país: ha sido en los últimos años la principal productora de leche cruda, muestra elevados parámetros relativos de productividad, concentra a buena parte de las mayores usinas lácteas, y es la principal exportadora de productos de esta industria. De los diez mayores productores de leche del país, cinco poseen tambos en Santa Fe y cuatro de las cinco empresas multinacionales que operan en la industria láctea se encuentran en la provincia.

También es importante mencionar que la provincia de Santa Fe es el tercer distrito en cantidad de empresas de biotecnología en salud humana, detrás de la Ciudad de Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires (Gran Buenos Aires). En el año 2018 había unas 8 empresas de este sector en Santa Fe, un 12% del total relevado en el país, y a su vez 6 nuevas empresas biofarmacéuticas (NEB), un 20% del total nacional (Gutman G. 2018). Se observa también que fue el segundo distrito con mayor captación de fondos nacionales de ciencia y tecnología destinados a empresas con proyectos en el área de biotecnología para salud humana (16%)²⁴

Por otro lado, el sector de software y servicios de la provincia acompañó la evolución del sector a nivel nacional, marcado por un fuerte crecimiento en los últimos 20 años, y en buena medida enfocado

²⁴ Según datos elaborados por el Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR) a partir de la información del Sistema de Información de Ciencia y Tecnología Argentino (SICYTAR).

en la exportación de servicios de bajo contenido tecnológico. Sin embargo, se identifica una oferta de productos y servicios informáticos orientados hacia segmentos verticales de manufactura local, en particular aquellos vinculados con el perfil productivo de Santa Fe, como alimentos y bienes de capital. El hecho de que la provincia se posicione como una de las regiones del país con mayor desarrollo industrial permite pensar que la difusión de las tecnologías de la Industria 4.0 pueda conllevar un doble beneficio para la región. Por un lado, permitiría aumentar los niveles de productividad de la industria manufacturera santafesina a partir de la adopción de tecnología. Por otro lado, es una oportunidad para fortalecer el desarrollo del sector del software al orientar su especialización hacia productos de mayor sofisticación y mejorar la competitividad de las empresas del sector en la provincia.

El potencial de penetración y difusión que las tecnologías 4.0 tienen sobre los modelos de producción y de negocios de estos cuatro sectores, y el nivel de exposición que presentan frente a estos avances, son dos elementos que refuerzan la importancia que estas actividades tienen en la configuración productiva de la provincia de Santa Fe. La figura 1 sintetiza en alguna medida los argumentos en esta dirección, considerando el rol específico que le cabe a cada actividad, y las tecnologías involucradas en cada uno de los tres dominios de actuación.

Recuadro 2

Tecnología e innovación en los complejos productivos de software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y lácteo

El análisis de los proyectos financiados a través de instrumentos nacionales como el Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR), el Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC) y el Fondo de Promoción de la Industria del Software (FONSOFT), en el período que se extiende entre 2004 y 2016, permite identificar una serie de elementos relevantes relacionados con la participación relativa de los sectores productivos que se abordan en el presente estudio en los fondos para la innovación. En particular cuando se considera la cantidad de proyectos, se destacan los relacionados con software y servicios informáticos (23%) y los de maquinaria agrícola (17,8%). En estos casos, es importante realizar dos comentarios adicionales. Por un lado, una parte significativa de los proyectos de tecnología e innovación de SSI son respuestas específicas a necesidades de gestión de empresas de otros sectores, por lo que cualitativamente sobresale este perfil entre los desarrollos financiados. Por otro lado, entre los proyectos incluidos en otros sectores, varios de ellos están indirectamente relacionados con maquinaria agrícola, en tanto generan productos adaptables o desarrollan capacidades tecnológicas que pueden ser aprovechadas por este mismo sector. En este sentido, el impacto de y sobre la actividad en términos de cantidad de proyectos es más significativo que lo que su participación directa representa.

En lo que respecta a los montos financiados, el sector de mayor importancia relativa es el de química aplicada a las actividades agrícolas y a la salud humana y animal (23%). Este resultado se explica no solamente por la importancia de estas actividades en la estructura productiva provincial, sino también por la envergadura de los proyectos desarrollados. En el otro extremo, el SSI, quees la actividad con el mayor número de proyectos apoyados, el financiamiento recibido es marcadamente inferior (7%). En ambos casos, este comportamiento se asocia estrechamente con los montos promedio de los proyectos en cada una de las actividades consideradas.

En el período analizado, los años 2009, 2011 y 2013 fueron los de mayor cantidad de proyectos financiados en la provincia, con un total de 127, 135 y 147 desarrollos, respectivamente. Se plantean algunas diferencias entre los sectores considerados. Así, el máximo de proyectos apoyados a lo largo de esos años en lácteos fue de 5 en 2013; en maquinaria agrícola 34 en 2009; en química 18 en 2015, y en SSI 43 en 2011. En términos de evolución, no es posible establecer un patrón de comportamiento definido y, por el contrario, se evidencian oscilaciones importantes en términos de la cantidad de proyectos apoyados como de los montos promedio de financiamiento.

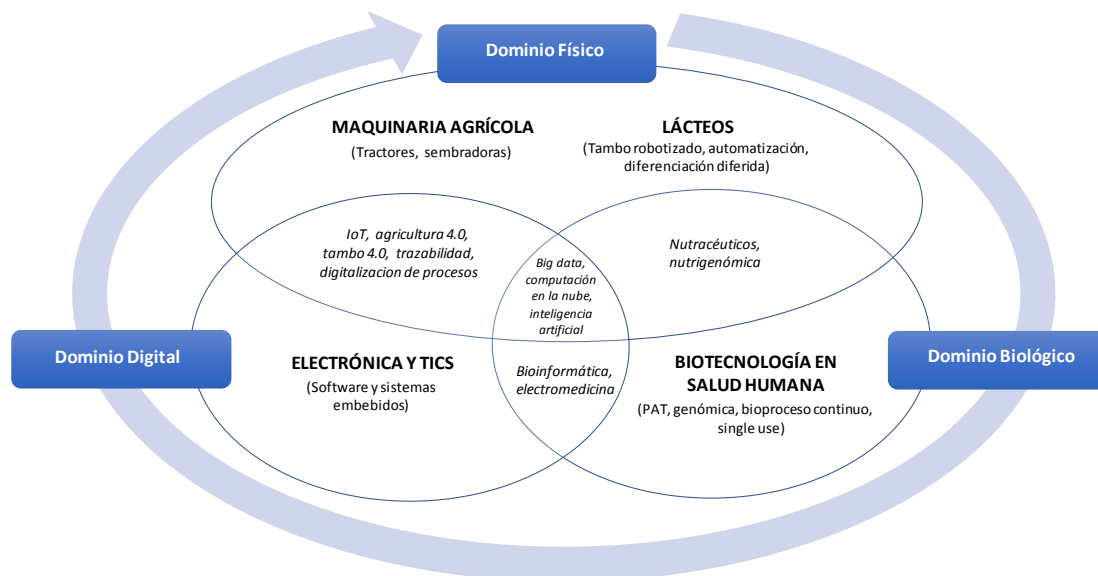
La heterogeneidad entre los sectores se extiende también al interior de cada una de las actividades. Esto implica que no todas las empresas de maquinaria agrícola (ni del resto de las ramas) han llevado a cabo proyectos tecnológicos pasibles de ser financiados por los instrumentos nacionales. Por el contrario se observa un importante grado de recurrencia en la obtención del financiamiento. En parte, esto puede asociarse con el mismo grado diferencial de desarrollo de capacidades tecnológicas que permite la repitencia de algunos actores en el acceso a estos beneficios pero, al mismo tiempo, excluye sistemáticamente a quienes no han desarrollado las capacidades necesarias. Hecho que refleja la tensión entre asegurar la escala mínima de capacidades tecno-productivas y favorecer el acceso a

capacidades tecnológicas a nuevas empresas. En este sentido, es destacable el rol de la Agencia Santafesina que, a través de programas específicos, promueve y apoya el desarrollo de capacidades que les permitan a nuevos agentes competir por el acceso a fondos nacionales para la innovación.

La heterogeneidad entre sectores se extiende también al interior de cada una de las actividades. Esto implica que no todas las empresas de maquinaria agrícola (ni del resto de las ramas) han llevado a cabo proyectos tecnológicos pasibles de ser financiados por los instrumentos nacionales. Por el contrario se observa un importante grado de recurrencia en la obtención del financiamiento. En parte, esto puede asociarse con el mismo grado diferencial de desarrollo de capacidades tecnológicas que permite la repitencia de algunos actores en el acceso a estos beneficios pero, al mismo tiempo, excluye sistemáticamente a quienes no han desarrollado las capacidades necesarias. Hecho que refleja la tensión entre asegurar la escala mínima de capacidades tecno-productivas y favorecer el acceso a capacidades tecnológicas a nuevas empresas. En este sentido, es destacable el rol de la Agencia Santafesina que, a través de programas específicos, promueve y apoya el desarrollo de capacidades que les permitan a nuevos agentes competir por el acceso a fondos nacionales para la innovación.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 1
Interacción entre los dominios de la Industria 4.0



Fuente: Elaboración propia.

El primer elemento que permite pensar en estas ramas sectoriales como vectores de cambio tecnológico es el nivel de desarrollo de capacidades alcanzado, el cual no solamente permite identificar las tecnologías relevantes, sino también adaptarlas a las necesidades específicas de los distintos actores. Como se sostuvo anteriormente, este desarrollo es un elemento diferenciador de estas actividades frente a otras que también tienen importancia cuantitativa en la estructura productiva de Santa Fe.

En segundo lugar, son actividades que por sus propias características o por la dinámica desarrollada a través del tiempo, ya han logrado cierto grado de desarrollo tecnológico en tecnologías complementarias a la Industria 4.0 y, en algunos casos, operan en niveles cercanos a la frontera tecnológica internacional. En los capítulos siguientes indagaremos si se ha avanzado en desarrollos que

faciliten la convergencia entre tecnologías digitales, físicas y biológicas que les permitan resolver problemas estructurales en cada una de estas actividades productivas.

Una parte significativa de esa convergencia debería explicarse por la misma interacción entre estas actividades que se encadenan productivamente pero que también se retroalimentan en la producción de conocimiento específico. Así, por ejemplo, electrónica y TICs (dominio digital) son componentes centrales en los procesos de automatización y digitalización de la maquinaria agrícola y de la producción láctea (dominio físico).

En tercer lugar, el carácter general de gran parte de las tecnologías desarrolladas en este nuevo marco otorga posibilidades de aplicación que exceden a aquel en el que estas se originan. Del análisis realizado a partir de los proyectos de tecnología e innovación surge que una parte de los desarrollos vinculados a maquinaria agrícola pueden ser aplicables a otros materiales de transporte (remolques, vehículos de gran porte). Algo similar ocurre con software, donde con pequeñas adaptaciones un mismo producto puede ser aprovechado en distintas actividades y clientes.

En los capítulos siguientes se indagará, a partir de estudios sectoriales y en contraste con la experiencia internacional, si las capacidades en las tecnologías específicas han alcanzado grados mínimos de convergencia con las tecnologías asociadas a la Industria 4.0, y cuáles son los cuellos de botella que es necesario tener en cuenta a la hora de plantear una política de Industria 4.0 a nivel provincial.

II. El sector de software y servicios informáticos en la provincia de Santa Fe: potencialidades como proveedor especializado de tecnologías I4.0

La importancia que el sector de software y servicios informáticos tiene en el marco de este estudio, radica fundamentalmente en su rol como industria difusora de tecnología y conocimiento hacia los demás sectores de la economía provincial, especialmente en la industria manufacturera y en la agroindustria. La actividad del sector de SSI en la provincia de Santa Fe sigue a grandes rasgos las mismas tendencias que a nivel nacional: una orientación compartida entre la demanda doméstica y la demanda internacional. La primera liderada por el sector bancario y financiero y la segunda por el propio sector de SSI (bajo el modelo de *outsourcing* global). Ambos modelos compiten por recursos humanos, que aunque de calidad, resultan relativamente escasos. Si bien, la demanda internacional, concentrada en servicios de baja o media calidad, atenta contra el desarrollo de un perfil tecnológico sofisticado de las empresas de SSI locales y presiona para la formación de recursos humanos con capacidades básicas (como las tecnicaturas), el hecho de que la provincia se posicione como una de las regiones de país de mayor desarrollo industrial permite pensar que la difusión de las tecnologías de la I4.0 pueda conllevar un doble beneficio. Por un lado, permitiría aumentar los niveles de productividad de la industria manufacturera santafesina a partir de la adopción de tecnología. Por otro lado, es una oportunidad para fortalecer el desarrollo del sector del software al orientar su especialización hacia productos de mayor sofisticación y mejorar la competitividad de las empresas del sector en la provincia. Estas posibilidades, no obstante, no están libres de obstáculos, como la existencia de una demanda internacional poco sofisticada que compite por recursos humanos escasos, y otros que serán discutidos a lo largo del capítulo.

El presente capítulo se propone analizar la dinámica reciente del sector de SSI en la provincia de Santa Fe en relación con la evolución del sector en la Argentina, su orientación actual y las competencias tecnológicas y organizacionales de sus empresas. El objetivo es conocer las capacidades del sector para responder a las transformaciones derivadas de la emergencia de las tecnologías de la Industria 4.0 y las

demandas que podrían derivarse de su difusión. Interesa especialmente identificar obstáculos tanto: (i) a la difusión de las tecnologías 4.0, como (ii) a la construcción de una oferta local de tecnologías que responda a las especificidades de la industria doméstica, que orienten el diseño de política industrial. Este trabajo se basa, por un lado, en fuentes secundarias de organismos públicos nacionales, provinciales, cámaras e investigaciones previas, y por el otro, en el trabajo de campo a partir de entrevistas a informantes clave, empresas e institutos tecnológicos, además de distintas instancias de gobierno.

El capítulo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se explica la intersección entre software e Industria 4.0. Es decir, cómo el dominio digital está reconfigurando procesos industriales al poner en el centro de la escena al procesamiento de grandes volúmenes de información generados en los procesos de producción, distribución y consumo de bienes manufacturero y las políticas que están desplegando países desarrollados para aprovecharlo, (sección A). En segundo lugar, se presenta la evolución del sector de software y servicios informáticos en la Argentina (sección B), y en particular en la provincia de Santa Fe (sección C). En la sección D se analizan los modelos de empresas de software de la provincia con orientación a la provisión de servicios y tecnologías propias de la I4.0 con el objetivo de identificar el potencial para su desarrollo. Luego, se identifican los principales obstáculos y desafíos de política para el sector de software y servicios informáticos de Santa Fe (sección E) Finalmente, en la sección F se presentan las opciones de política industrial que permitan sobrellevar los obstáculos identificados.

A. La Industria 4.0 en el sector de SSI a nivel internacional: interacción entre el dominio digital y la producción

El software es considerando una tecnología de propósito general, utilizado en todas las industrias y actividades (Arora, Ashish y Gambardella, Alfonso, 2006; Bresnahan y Trajtenberg, 1995; Motta, Morero y Borrastero, 2017), a su vez, se lo considera una *enabling technology*, por sus efectos directos e indirectos en la introducción de innovaciones complementarias (Motta y otros, 2017). El sector SSI es lo que la literatura identifica como sector difusor del progreso tecnológico, porque su desarrollo no solo tiene implicancias sobre la productividad agregada sino también directamente a través de los sectores usuarios. Estas ganancias de productividad y la posibilidad de introducción de innovaciones asociadas y complementarias se intensifican cuando proveedores y clientes se encuentran en un mismo espacio geográfico, lo que permite intensificar los aprendizajes cruzados y las interacciones *user-producer*. Por otra parte, muchas empresas de software venden sus productos directamente a usuarios finales y otras construyen modelos de negocios basados en servicios provistos por plataformas el software en diversos ámbitos, desde comercio electrónico hasta finanzas.

De ello se desprende que estudiar el sector de SSI es un proceso mucho más complejo que el que puede resultar de un análisis sectorial tradicional. Esto se debe a que un análisis del sector debería incluir no solo a las empresas de software sino también a las organizaciones que incorporan a su modelo de negocios herramientas de las TIC, datos e internet. Hoy en día, cada vez más empresas utilizan tecnologías que entremezclan el mundo físico y el digital. Pero esto no siempre fue así. Tradicionalmente, la industria concentró sus esfuerzos en la producción de bienes, y sin prestar demasiada atención a la recopilación de datos sobre producción, proveedores, procesos logísticos y/o clientes (Srnicek, 2017). En una primera etapa, la informatización se concentró en las actividades administrativas y contables. Recién a partir de la organización de la producción en cadenas de valor en el contexto de creciente terciarización, las necesidades de coordinación se agudizaron, a la vez que las TIC reducían los costos de uso de los mercados al establecer interfases de comunicación digital entre empresas (Langlois, 2005). En este contexto emergieron los sistemas CRM (*Customer Relationship Management*) y *Supplier Relationship Management* (SRM) que junto a otros módulos orientados a procesos específicos (como gestión de Recursos Humanos) luego fueron integrados en la solución más amplia de los sistemas ERP (*Enterprise Resources Planning*). En paralelo, nuevas herramientas digitales

también se ponían a disposición de la manufactura, como herramientas de control numérico, los sistemas para el diseño asistido por computadora y los sistemas de control SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Sin embargo, ambos procesos de informatización transitaron caminos separados, a la vez que la información generada se utilizaba y desechaba. Con altos costos de almacenaje y procesamiento, el valor de la información debía ser extraído de inmediato.

Recién a partir de la combinación de fenómenos como la caída en los precios de hardware, de conectividad y de almacenamiento de datos es que la digitalización del proceso productivo ganó relevancia. La I4.0 estrictamente ha permitido conectar muchas tecnologías que ya se encontraban disponibles (Casalet, 2018), aunque ahora buscan la integración entre los sistemas diversos (desde los administrativos y contables y los sistemas industriales), de modo de extraer valor económico a un mayor volumen de datos extraídos automáticamente de los procesos productivos, así como de distribución y consumo. Estos factores, sumados a la necesidad de eficientizar la industria en un contexto de salida de crisis económica global, permitieron que lo que se denomina Industria 4.0 fuera establecido por los gobiernos de países líderes como horizonte para su política industrial. Este proceso, lejos de estar liderado por *start-ups* de software, ha sido protagonizado por grandes firmas industriales y de hardware (Siemens, Rockwell, AVEVA, Schneider) en alianza con empresas de la nueva economía de las plataformas especializadas en la gestión en la nube de grandes volúmenes de datos (IBM, Amazon, Google) (Srnicek, 2017).

El término plataforma suele asociarse a lo que se denomina plataformas austeras, caracterizadas por mantener en su poder el menor número posible de activos físicos. Los ejemplos clásicos son firmas como Uber y Airbnb. No obstante, las plataformas abarcan a muchos otros modelos de negocios, que tienen en común principalmente el aprovechamiento de los beneficios de los efectos de red. Son infraestructuras digitales que permiten que dos o más grupos interactúen, posicionándose como intermediarios que unen diferentes usuarios (incluyendo objetos). Constituyen un modelo de negocios presente en múltiples ámbitos, incluyendo el industrial (Srnicek, 2017). Las plataformas industriales permiten el control digital de las distintas etapas del proceso productivo a través de la integración de sensores y microchips a la maquinaria, y de rastreadores en los procesos logísticos, que se encuentran integrados a través de internet. Esta forma de organizar la producción se denomina *Industrial Internet of Things* (IIoT). El IIoT permite que los distintos componentes del proceso productivo se transmitan información, se integre con la información comercial de la empresa, e incluso se tomen decisiones, sin necesidad de la intervención de personas (Casalet, 2018; Srnicek, 2017). Esta integración permite aumentar la calidad de los productos y reducir tiempos y costos de producción, como ser costos laborales, energéticos y de mantenimiento.

En general, el IIoT se incorpora a fábricas ya existentes, cuya maquinaria fue adquirida a distintos productores en distintos momentos del tiempo y que, en muchos casos, no tienen conexión ni entre sí ni con los procesos de gestión administrativa y/o logísticos. De esta forma, para garantizar la interconexión entre los distintos componentes del proceso productivo, y entre estos y los proveedores, los procesos de logística y los clientes, es necesaria la existencia de un lenguaje común. Ahí es donde entran las plataformas industriales, constituidas por redes de comunicación y estándares y protocolos, que son las responsables de garantizar esas conexiones. Actualmente, las empresas líderes en plataformas de IIoT son firmas manufactureras establecidas en el sector en alianza con firmas líderes en tecnología. Mindsphere de Siemens, Predix de General Electric, EcoStruxure como resultado de la fusión entre Schneider y Aveva, son algunas de las plataformas industriales de más peso en el mercado. Suelen estar basadas en alguna nube (Amazon, Google, Alibaba) y realizar alianzas con firmas líderes en tecnología (como IBM) o en gestión administrativa (como SAP o Accenture). La comunicación industrial se maneja mayoritariamente bajo los estándares abiertos Profinet y Profibus, que es la evolución de Modbus, el desarrollado en los 70s por Modicon. La complejidad de los sistemas incluyendo múltiples proveedores de PLC (*Programmable Logic Controller*), es decir dispositivos electrónicos

programables de control industrial, múltiples redes (alámbricas o inalámbricas), conexión a internet, etc. condujeron a las empresas más importantes de la industria a desarrollar este nuevo protocolo.

Como se vio en el capítulo I los países centrales han desplegado un conjunto amplio de estrategias para promocionar estas tecnologías dentro de sus territorios y para competir en el mercado global a partir de una nueva oferta de bienes de capital intensivos en conocimiento. Además, esta nueva oferta de bienes se combina con servicios asociados, como los de mantenimiento y soporte, o los de almacenaje de información en la nube y procesamiento de datos en modelos y simulaciones orientadas a facilitar la toma de decisiones. Esto está permitiendo que los países centrales se mantengan competitivos en segmentos industriales de alto conocimiento y generen nuevos nichos de especialización en tecnologías altamente dinámicas como servicios asociados a la nube (de almacenamiento y procesamiento de información), mientras que aumentan sus posibilidades de valorizar activos informacionales al explorar con nuevos y más potentes algoritmos y bases crecientes de datos industriales.

Las políticas de estos países se han orientado a la difusión de las nuevas tecnologías en empresas industriales pymes. Por ejemplo, como parte de la promoción de la economía digital en el 7mo programa marco (2008-2014), la Unión Europea desplegó múltiples políticas orientadas a la integración digital pyme en cadenas globales de valor. Mientras que en el contexto del programa Horizonte 2020 se promovió la I+D orientada a *enabling technologies*, incluyendo el desarrollo de prototipo y proyectos bajo la forma de consorcios público-privados, en áreas como cloud computing, robótica y simulaciones. Del mismo modo, en los Estados Unidos las políticas estuvieron orientadas bajo la misión de retomar el liderazgo industrial en sectores de alta tecnología, con especial foco sobre analítica de grandes datos (*big data analytics*), y tecnologías de avanzada de sensorización y control.

Hoy la mayor parte de las empresas que provee los dispositivos electrónicos por excelencia para la automatización industrial (PLC) son empresas de origen norteamericano, alemán o francés. Sin embargo, como veremos más adelante, debido a la especificidad de los procesos industriales en sus contextos productivos de planta, la posibilidad de llegada de estas grandes empresas globales con sus productos en países en desarrollo requiere de un conjunto firmas, consultores distribuidores, adaptadoras de la solución estandarizada.

Esto abre un potencial para países de menores ingresos, porque, en primer lugar la adopción de la tecnología requiere de socios locales que construirán capacidades al momento de la difusión, y, en segundo lugar, porque esto mismo cierra la brecha para que las empresas locales puedan eventualmente ofrecer soluciones tecnológicas propias más apropiadas (con menos funcionalidades y menos costos) a determinados contextos productivos.

B. El sector SSI en la Argentina: estructura de mercado y principales actores

1. Motores del crecimiento sectorial y el contexto de políticas públicas: una apuesta a las políticas sectoriales

A partir de 2002, el sector ingresó en una etapa de crecimiento abrupto. Se verificaron incrementos en el empleo, las ventas y las exportaciones muy por encima del crecimiento registrado en el resto de la economía (Barletta y otros, 2013). Así, luego de más de 15 años de crecimiento sostenido, hoy se posiciona en la estructura productiva argentina como un sector relevante por su contribución al empleo, facturación y generación de divisas.

Su relevancia no sólo debe considerarse en términos cuantitativos, sino también cualitativos. El sector de SSI presenta algunos atributos propios que lo hacen particularmente atractivo en una estrategia de complejización del perfil tecnológico y productivo del país o de una región específica.

Como se mencionó, se trata de un sector de elevada transversalidad en la medida en que otros sectores productivos y ramas de actividad son usuarios directos de sus desarrollos.

En segundo lugar, se trata de una industria que registra un alto valor agregado, aunque con diferencias significativas entre las diferentes actividades a lo largo de la cadena de valor. El sector de SSI es un sector que utiliza intensivamente mano de obra de alta calificación, y paga salarios elevados en comparación con otras ramas productivas.

En tercer lugar, es un sector altamente integrado internacionalmente. En particular, el creciente proceso de *outsourcing* de desarrollo de software a nivel global ha incrementado las posibilidades para países emergentes. Los modos de inserción, sin embargo, no se restringen a este modelo y es posible también insertarse internacionalmente a través de la exportación de productos y servicios de alto valor.

Por último, a pesar de ser un sector de creciente concentración productiva y económica, existen segmentos de bajas barreras a la entrada, en la medida en que los requerimientos de capital se orientan fundamentalmente al capital de trabajo (salarios) que suele ser financiado por los clientes en los modelos de negocios orientados a desarrollos a medida (el modelo más frecuente dentro de la industria). En otros segmentos, como el desarrollo de productos propios, las necesidades de capital pueden ser mucho más elevadas restringiendo el ingreso a un grupo más reducido de empresas.

Hasta comienzos de la década de los 2000, el sector informático en la Argentina estaba orientado al mercado interno, con bajo dinamismo en el número de empresas, empleo y evolución de las ventas (Chudnovsky y López, 2006). La mayor parte de las empresas usuarias, principalmente del sector bancario y de servicios públicos, contaban con grandes departamentos de sistemas para el desarrollo de soluciones tecnológicas *in house*. Por otra parte, las empresas locales de menor tamaño relativo (industriales y de comercio) mostraban todavía un bajo nivel de penetración de estas tecnologías, que cubrían en la mayor parte de los casos con soluciones enlatadas de origen extranjero, principalmente orientadas a facilitar la gestión administrativa (Borello, Robert y Yoguel, 2006; Chudnovsky, López y Melitsko, 2001; López, 2003; Perazzo, Delbue, Ordoñez y Ridner, 1999).

Sin embargo, las señales hacia un crecimiento basado en la inserción externa se profundizaron con la devaluación y la creciente demanda internacional de *outsourcing*. Aunque no solo se necesitaron señales externas, sino también políticas públicas, que justificadas en el valor estratégico del sector impulsaran su desarrollo. Este contexto de políticas nacionales, aunque también tuvieron importante incidencia las provinciales (Borrastero, 2015) y las locales (Robert y Moncaut 2018), resultó clave no solo para explicar su crecimiento, sino también la consolidación de un perfil productivo sectorial orientado a la exportación a través de la certificación de calidad y la I+D (Barletta y otros, 2015).

Dentro del contexto de política sectorial sobresale la Ley del Software, aprobada en el 2004 con vigencia por 10 años, renovada en 2014, con prórroga hasta el 2019 y recientemente reemplazada por la nueva Ley de la Economía del Conocimiento³⁵, aprobada el 22 de mayo de 2019.

La ley de 2004, que es la que aún está en vigencia y dio forma al sector, otorga los siguientes beneficios a las empresas registradas en el régimen:

- Desgravación de hasta el 60% del impuesto a las ganancias.
- Bono fiscal de hasta el 70% de las contribuciones patronales pagadas (el bono no incluye el pago de asignaciones familiares)
- Obtención de un certificado de no retención de IVA.

Siempre que cumplieran con dos de los siguientes requisitos:

- La facturación anual de las actividades promovidas debe representar más del 50% de la facturación anual total.
- Se debe acreditar que más del 50% del personal y de la masa salarial se afectan a las actividades promovidas y que no se disminuye la nómina de empleados durante la vigencia de la promoción.
- Las empresas deberán acreditar dos de las siguientes condiciones: calidad (certificación con alguna norma de calidad); exportaciones (más del 8% de la facturación promovida); promover I+D (3% o más de los gastos promovidos de la empresa).

A su vez, la ley de 2004 también creó: (i) el FONSOFT, que opera bajo la órbita de la Agencia Nacional para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología (ANPCyT) y el entonces Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, para financiar proyectos de investigación y desarrollo, (ii) la Fundación Sadosky, una organización público privada orientada a la transferencia tecnológica y (iii) daba espacio para la creación diversos planes de capacitación de recursos humanos, mejora en procesos y nuevos emprendimientos.

La nueva ley sancionada en 2019, extiende el alcance de los beneficios a un universo más amplio de firmas en el que se incluye a otros sectores, como los servicios profesionales, se flexibilizan los requisitos necesarios para acceder a los beneficios y se extiende a nuevas empresas, es decir firmas que cuentan con menos de un año de operación y que hasta ahora quedaban excluidas. También aumenta el piso de beneficios otorgados a las empresas de menor tamaño relativo.

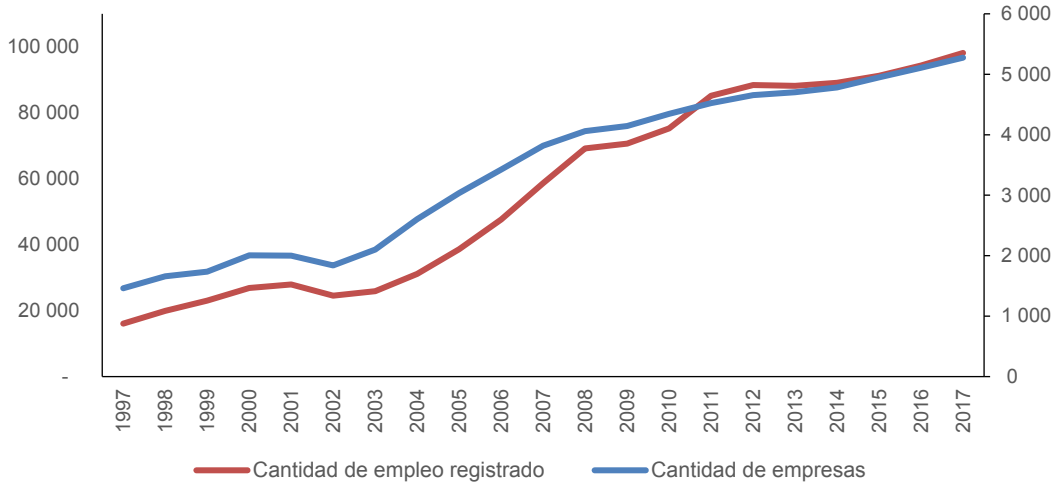
Además de estas leyes de alcance nacional, diferentes provincias y regiones promovieron acciones específicas, entre ellas la atracción de capitales extranjeros, como el gobierno de la provincia de Córdoba (J. Motta, Morero y Borrastero, 2016) o para el desarrollo local de la mano de *clusters*, polos o parques tecnológicos vinculados a universidades locales y orientados a la informática, como Tandil (Robert y Moncaut, 2018), Santa Fe y Rosario (Lahitte, 2004), Mar del Plata (L. Mauro, Calá, Belmartino, y Bachmann, 2018), entre otros.

2. Características y evolución reciente del sector

El sector de software y servicios informáticos argentino está compuesto por más de 5000 empresas (datos a 2017 último año disponible, según estadísticas del OEDE) que emplean a cerca de 100.000 trabajadores registrados (gráfico 1).

³⁵ Esta ley aún no se encuentra reglamentada y la vieja ley de software continúa activa a la fecha.

Gráfico 1
Evolución del empleo y número de empresas, 1997-2017

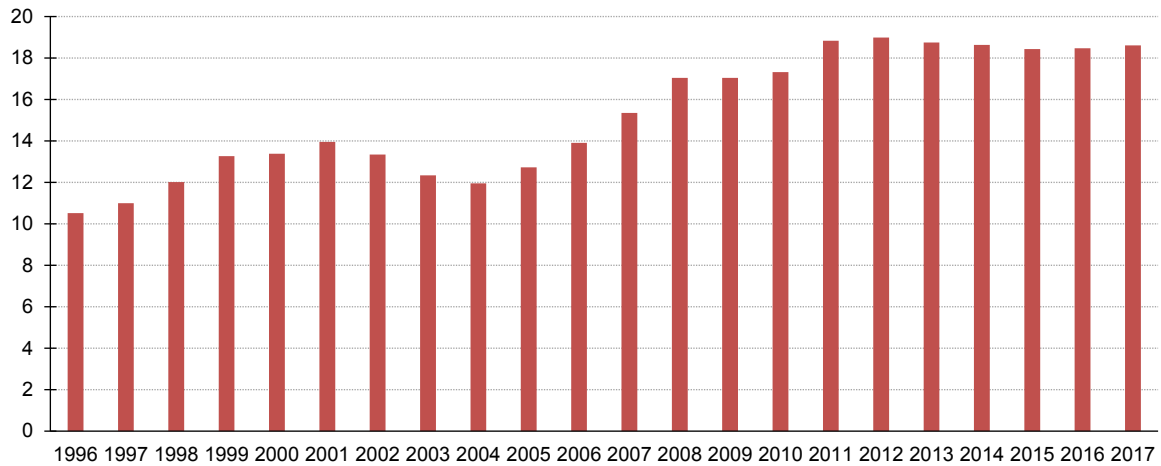


Fuente: Elaboración propia sobre la base de OEDE.

El sector mostró un crecimiento fuerte y sostenido durante los últimos 20 años, multiplicándose por 4 el número de empresas y por 7 el número de empleos registrados. Este incremento, como refleja el gráfico, se intensifica desde el 2003 y se suaviza a partir del año 2012. También se observa una desaceleración en el aumento del empleo en el año 2008 como consecuencia de la crisis internacional.

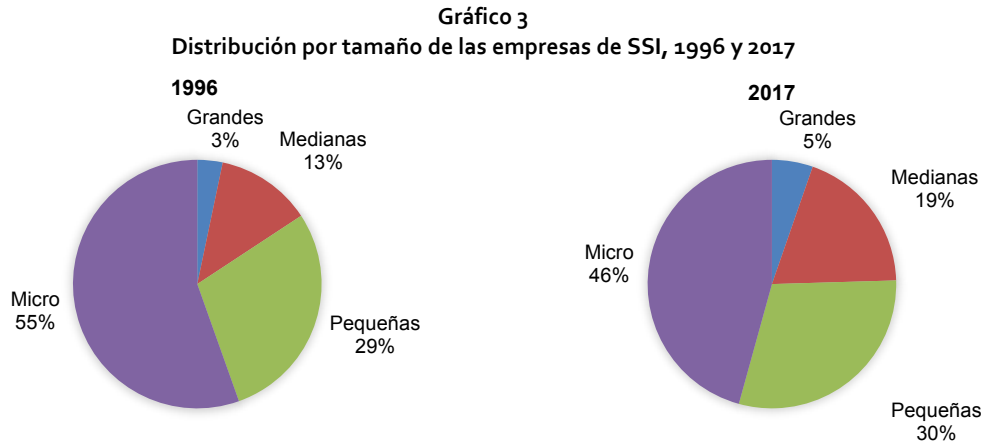
El crecimiento del sector no fue uniforme en términos regionales. La relativa escasez de recursos humanos formados en la Ciudad de Buenos Aires disparó su crecimiento en ciudades del interior del país. El análisis de la evolución comparada del empleo y del número de empresas permite deducir la existencia de una suave tendencia a la concentración del sector a lo largo del tiempo, con un incremento consistente en el tamaño promedio de las empresas (de 11 en 1997 a 18 en 2017), en especial entre 2004 y 2012 (gráfico 2).

Gráfico 2
Evolución del tamaño medio de las empresas del sector de SSI, 1996-2017

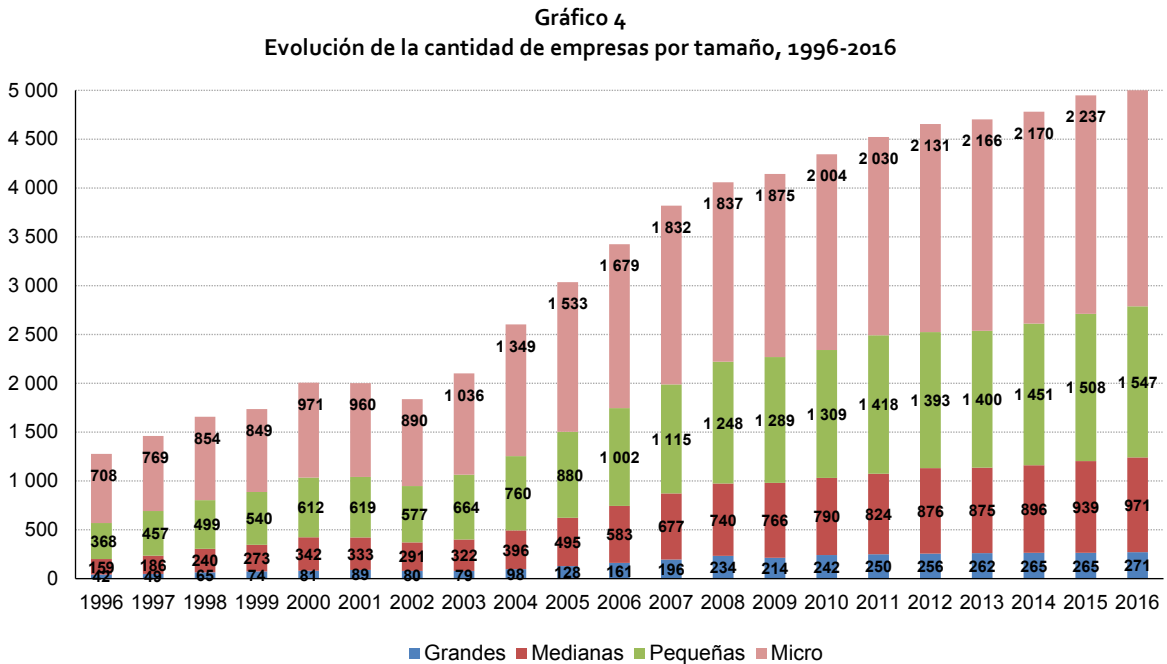


Fuente: Elaboración propia sobre la base de OEDE.

Lo mismo se observa en la distribución de las firmas por tamaño (gráfico 3). Mientras que en 1997 más del 84% de las firmas del sector eran pequeñas o microempresas, en 2017 dicho porcentaje ascendía a 76%. Por su parte, las empresas grandes pasaron de representar el 3% del total en 1997 al 5% en el 2017. El crecimiento en la cantidad de empresas de mayor tamaño resulta indicativo de la posibilidad de permanencia y crecimiento de empresas en el sector, en un esquema que favorable. Del mismo modo, en la evolución año a año, puede observarse especialmente el crecimiento de las empresas de tamaño mediano (gráfico 4).



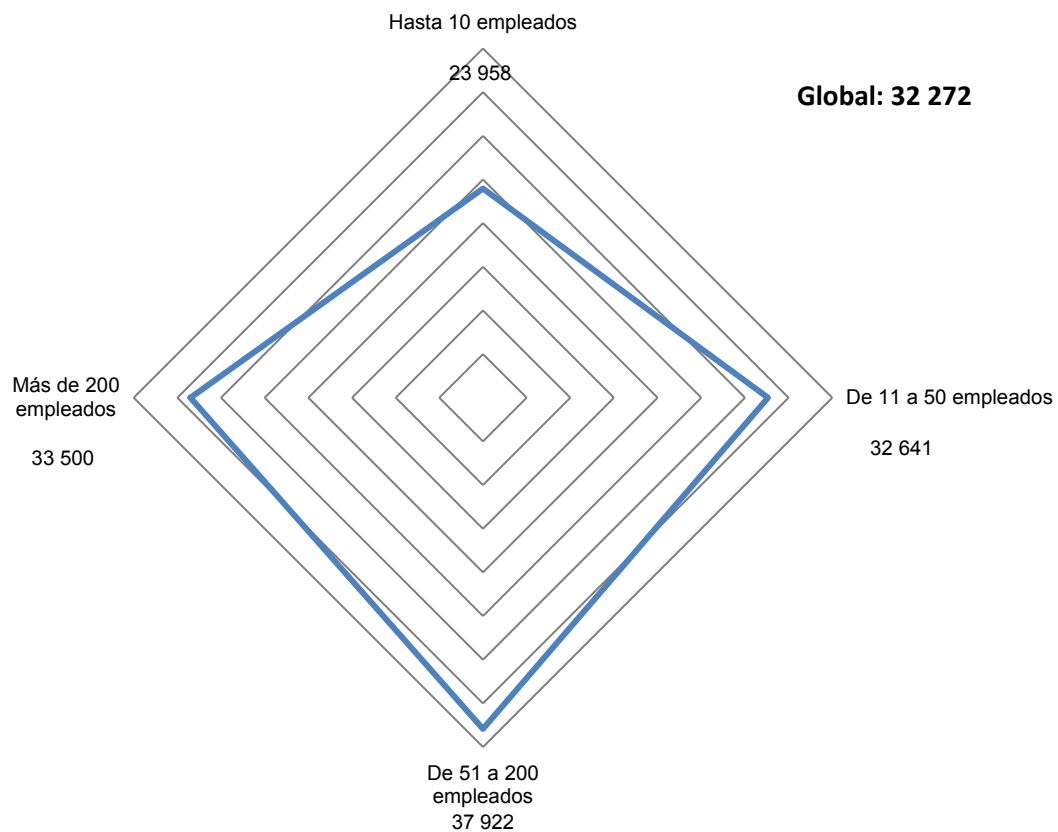
Fuente: Elaboración propia sobre la base de OEDE.



Fuente: Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, MTEySS sobre la base de SIPA.

La facturación por empleado varía significativamente de acuerdo con el tamaño de la firma (gráfico 5). Mientras que las empresas más pequeñas (de hasta 10 personas empleadas) facturan en promedio 24.000 dólares al año, las más grandes facturan más de 33.500 dólares al año. Sin embargo, cabe destacar que son las empresas de tamaño mediano las que presentan mayor volumen de facturación (en el orden de 38.000 dólares al año). Esto es consistente con que estas empresas no concentran sus ventas en servicios de programación a medida, sino que son las que cuentan con desarrollos propios y productos que comercializan en la Argentina y en el extranjero, sobre los que también proveen servicios de adaptación y posventa.

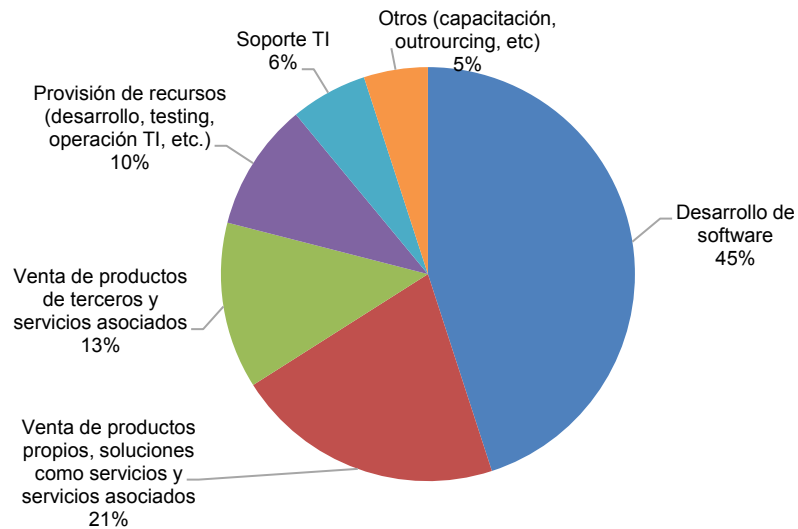
Gráfico 5
Facturación promedio por empleado (dólares), 2018



Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

En el gráfico 6 puede observarse que el sector concentra la mayor parte de actividad en el desarrollo de software a medida, con más del 45% de las ventas. En segundo lugar, se encuentra la venta de productos propios y servicios asociados (21%) y en tercer término la venta de productos de terceros y servicios asociados (13%). El resto de las actividades representan menor importancia relativa y entre ellos se encuentran actividades vinculadas con el *outsourcing* y otras de servicios complementarios.

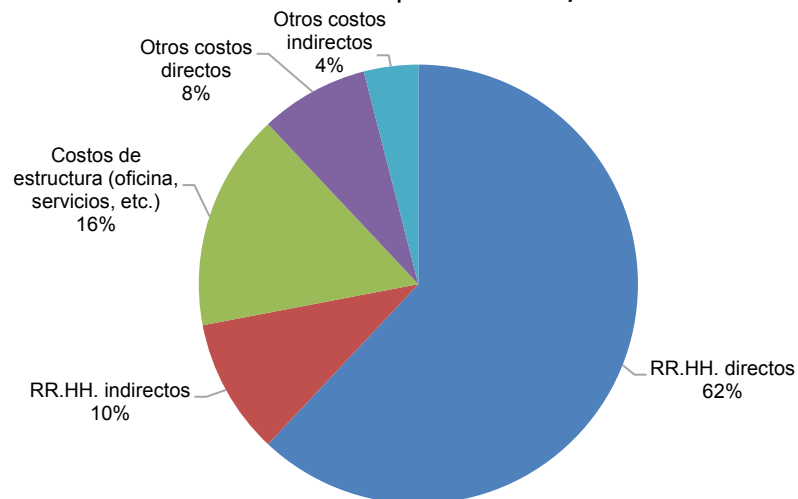
Gráfico 6
Participación de las diferentes actividades en las ventas totales del sector, promedio 2017- 2018



Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

La localización de las firmas muestra una elevada concentración regional en las zonas metropolitanas y grandes conglomerados urbanos. Las empresas localizadas en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C.A.B.A.) dan cuenta del 71% de las firmas de más de 5 ocupados y más del 83% del empleo. Le siguen en orden de concentración Córdoba, Rosario y los partidos del Gran Buenos Aires. No obstante, recientemente se verifica una mayor participación de otras regiones y ciudades de menor tamaño (entre ellas cabe mencionar a Santa Fe en el litoral, Mendoza y San Luis en el noroeste, Jujuy en el noroeste, Tandil y Mar del Plata en la Provincia de Buenos Aires, y diversas ciudades en Entre Ríos) en la mayor parte de los casos vinculado a la existencia de universidades con carreras de grado o tecnicaturas en informática.

Gráfico 7
Estructura de costos de las empresas del sector, 2018

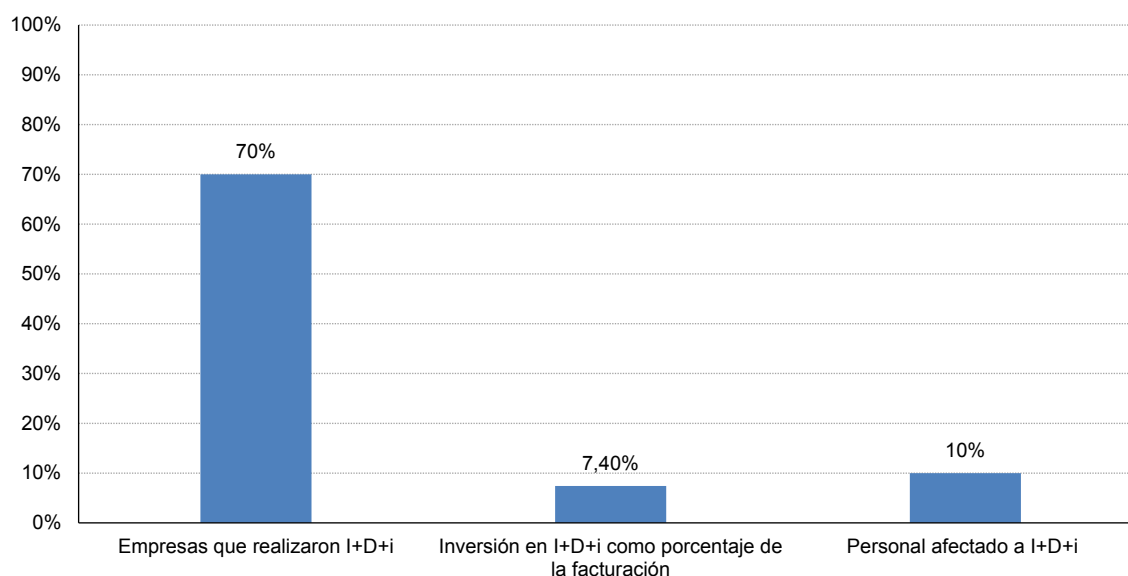


Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

Esto se relaciona con la estructura de costos del sector, donde los recursos humanos representan un porcentaje elevado de los mismos (gráfico 7). En el gráfico previo se muestra que el sector SSI es intensivo en mano de obra. Los salarios y otros gastos asociados al personal el representan el 72% de los costos de las empresas, considerando recursos humanos directos e indirectos. En este contexto, existe una fuerte competencia por los recursos humanos entre las empresas del sector que es el factor clave para su desarrollo. Los salarios muestran niveles más elevados que el promedio de la industria aunque en los últimos años han ido cayendo en términos relativos a otros sectores productivos. Esta evolución podría ser explicada por una mayor oferta de trabajadores y al mismo tiempo por la baja incidencia de sindicatos en la actividad. Los trabajadores informáticos no contaban hasta hace poco con un sindicato propio y los niveles de afiliación son muy bajos en la actualidad. Los aumentos salariales en el contexto inflacionario reciente tendieron a ser negociados de forma individual y no colectiva, dentro de una tendencia a la alta rotación de trabajadores entre empresas.

En lo que refiere a los esfuerzos de innovación, se trata de un sector dinámico, la mayoría de las empresas realiza gastos de investigación y desarrollo, con una inversión promedio del orden del 7% de la facturación (gráfico 8). Esto contrasta fuertemente con un valor promedio inferior al 1% en la actividad industrial argentina.

Gráfico 8
Actividades innovativas en las empresas del sector, 2018



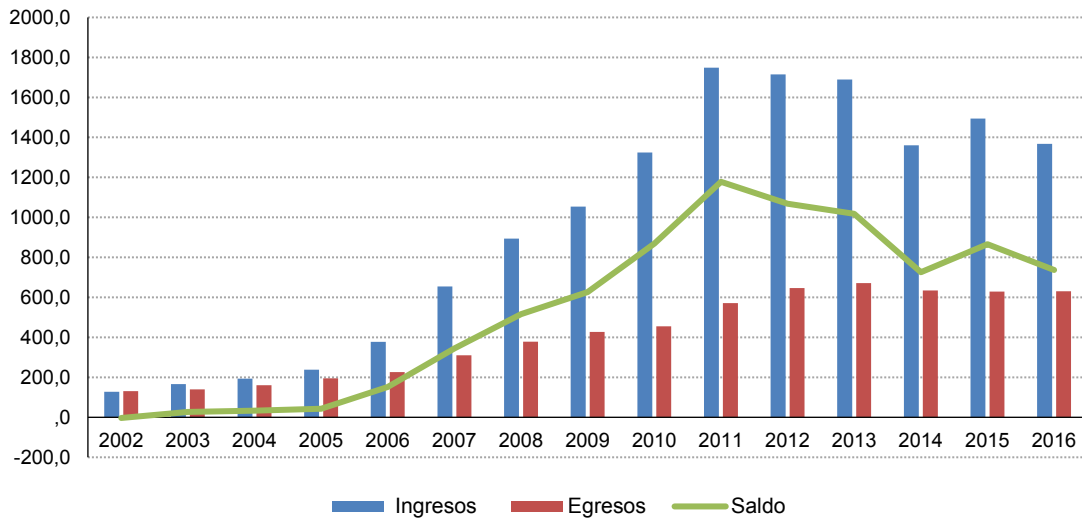
Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

3. Orientación estratégica, mercados domésticos versus mercados globales

Uno de los aspectos característicos del crecimiento del sector se asocia a la expansión en el mercado internacional bajo el modelo de *outsourcing* de desarrollo de software, cuestión que también puede observarse en la especialización dentro de las posibles actividades y subactividades dentro del sector. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), las exportaciones del sector mostraron una tasa de crecimiento promedio anual de más del 12% en el período 2007-2017, y en el año 2016, la balanza comercial del SSI arrojaba un saldo positivo de 800 millones de dólares (gráfico 9).

El peso de sector de software y servicios informáticos se incrementó consistentemente a lo largo del período, pasando de representar medio punto de las exportaciones totales en el año 2005 a significar de 2,5 puntos de esta en el año 2017.

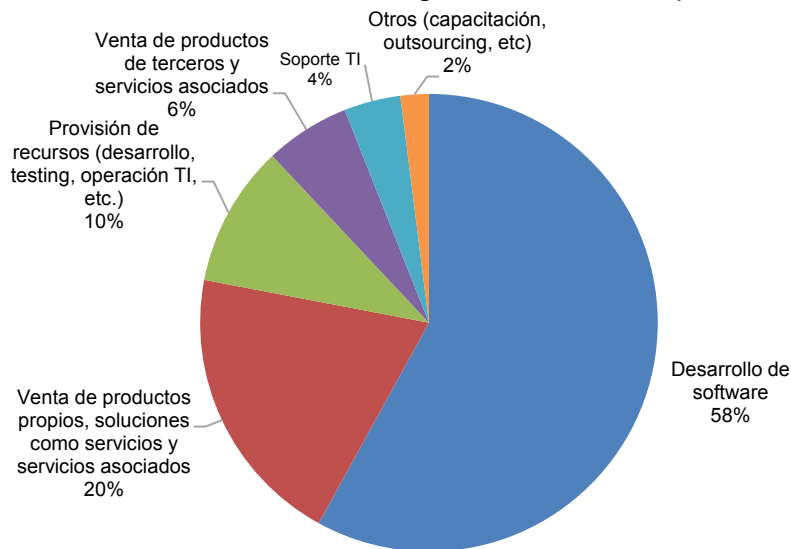
Gráfico 9
Balanza comercial del sector, 2002-2016



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Cuentas Internacionales. Balanza de Pagos, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

El análisis de la especialización dentro de las ventas al exterior (gráfico 10) permite observar que se intensifican las ventas de servicios de desarrollo a medida, así como la colocación de recursos para tareas específicas como *testing*. Las ventas de productos de terceros y servicios asociados se reducen en tanto se trata de actividades desplegadas para venta local de productos extranjeros.

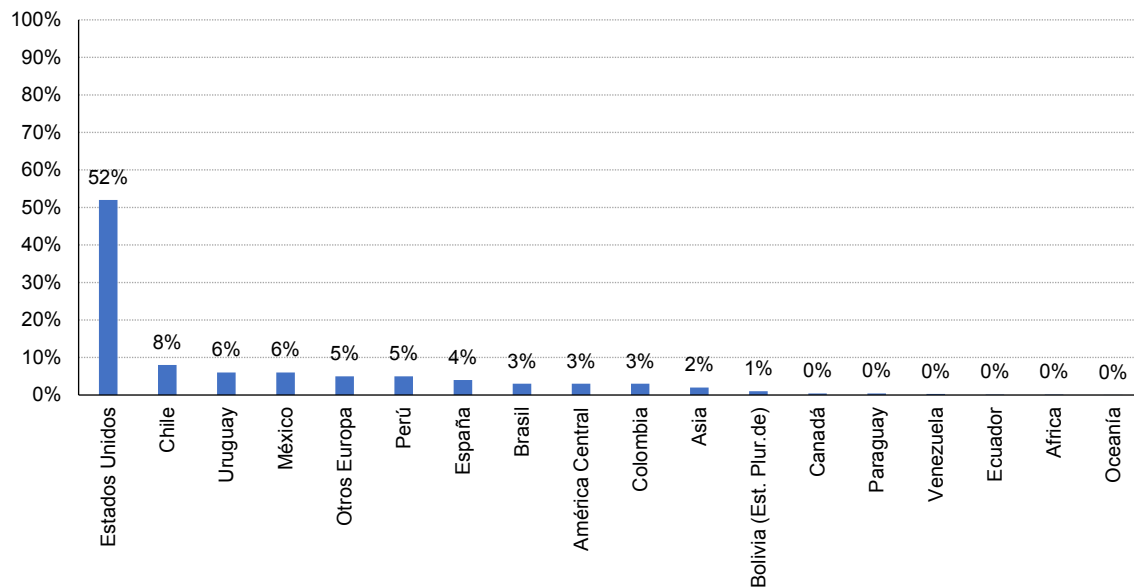
Gráfico 10
Participación de las distintas actividades en los ingresos desde el exterior, promedio 2017-2018



Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

El primer destino de las exportaciones del sector son los Estados Unidos, que concentran prácticamente la mitad de las ventas externas (posición que ha sostenido a lo largo del tiempo). Los destinos que le siguen en peso son mayormente países latinoamericanos, entre ellos Chile (8%), Uruguay (6%) y México (6%), seguido por España junto a otros países europeos. La importancia de los destinos latinoamericanos ha sido creciente en los diez años que le siguieron a la crisis internacional.

Gráfico 11
 Mercados externos, según participación en el volumen de ingresos desde el exterior, promedio 2017-2018

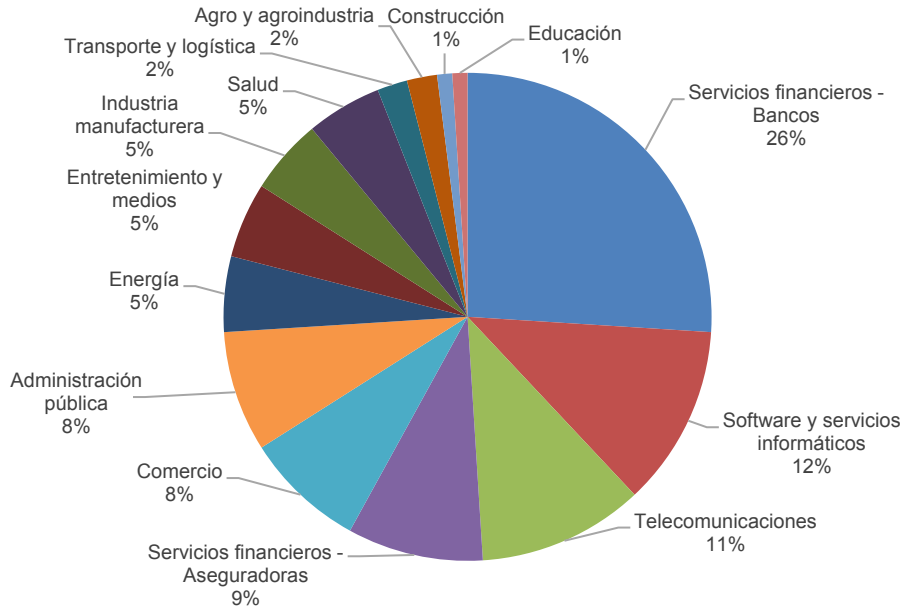


Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

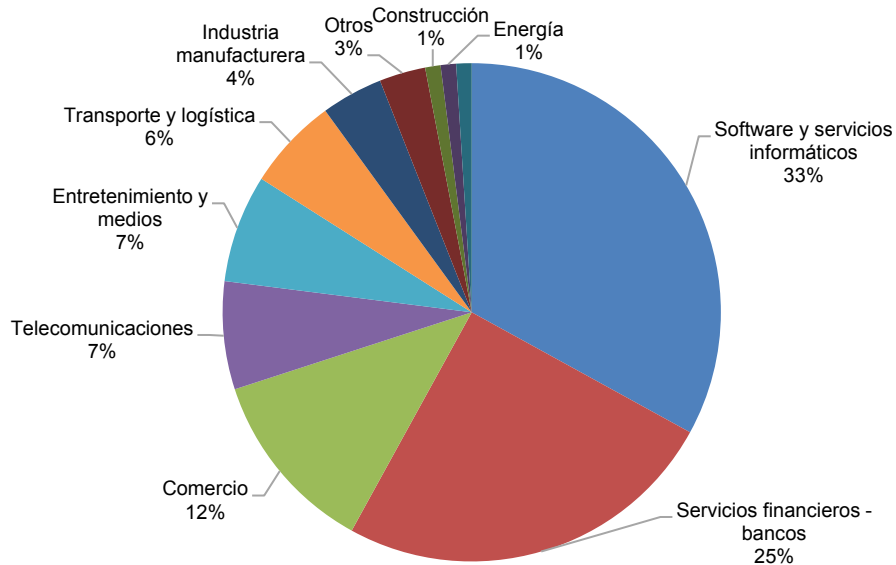
En los gráficos 12A y 12B se muestra cuáles son los principales sectores compradores de productos de SSI argentinos. En el mercado local, las empresas de Servicios Financieros (que incluye bancos, aseguradoras, servicios de pago electrónico, etc.) constituyen el sector que más software consume. Representan más de un cuarto de la facturación de las empresas de SSI. En segundo lugar, está el propio sector SSI (12%), seguido por las empresas de Telecomunicaciones (con un 11% de la facturación).

Gráfico 12
Principales sectores compradores de productos de SSI argentinos

A. Principales clientes por sector (verticales), según participación en las ventas, promedio 2017-2018



B. Principales clientes por sector (verticales) de acuerdo con su participación en los ingresos desde el exterior, promedio 2017-2018



Fuente: Observatorio Permanente de la Industria de Software y Servicios Informáticos de la Argentina (OPSSI).

En cambio, en el mercado internacional predomina el comercio intrasectorial (el principal demandante de software argentino es el mismo sector SSI con una participación de aproximadamente el 33% de las exportaciones), lo que da cuenta de la importancia de los procesos globales de *outsourcing* de desarrollo y las modalidades de inserción de las empresas argentinas en la cadena global del sector

(recuadro 3). En el segundo lugar del ranking de clientes del exterior se encuentra el sector de Servicios financieros (25%) y en tercero el comercio (12%). Cabe destacar que la demanda de software desde la industria manufacturera representa solo el 4% de las exportaciones.

Recuadro 3

Modos de inserción internacional en la industria del software

La literatura identifica diferentes formas de participación en el mercado global de software, de acuerdo con los tipos y modalidades de contratación. Tales formas determinan en cierta medida los márgenes para negociación del precio y consecuentemente la apropiación de mayor valor. Los dos modelos paradigmáticos de contratación son i) tiempo y materiales, y ii) precios fijos.

En el primero de ellos se negocia de antemano un valor por la hora-hombre de trabajo, el cual, en conjunto con la estimación de las horas requeridas para el desarrollo del software (o customización), determinan el monto de la contratación. En este caso las posibilidades de apropiación de valor por parte del proveedor son menores, ya que las actividades de gestión del proceso de desarrollo, la arquitectura y el diseño de las funciones del software (todas actividades intensivas en conocimientos tácitos) son ejercidas por el cliente. Es decir, este tipo de contratos corresponde a eslabones de la cadena de producción de software que requieren fundamentalmente de capacidades de programación, las cuales están más difundidas dada su codificación y, por lo tanto, presentan menores barreras a la entrada de competidores. Por otro lado, los riesgos derivados de la gestión de proyectos (como errores en la estimación de los tiempos de desarrollo) y de la incertidumbre del mercado en este tipo de contratos también recaen sobre el contratante.

En cambio, en el segundo modelo se fija un monto por una solución completa en funcionamiento. Aquí, además del desarrollo del software, la gestión del proceso (y, en ocasiones, la arquitectura del software) le corresponde al contratado. Por lo tanto, se trata de un tipo de contrato que requiere de la disponibilidad de ciertos conocimientos tácitos en materia de gestión de proyectos por parte del contratado. Tales conocimientos implican ciertas barreras a la entrada que le otorgan a la empresa contratada mayores posibilidades de apropiar valor. En este tipo de contratos los riesgos de gestión recaen sobre el proveedor. Cabe tener en cuenta que, superada cierta escala de producción es posible que las empresas proveedoras bajo esta modalidad a su vez decidan subcontratar las actividades de desarrollo a trabajadores freelance o empresas que ofrezcan un precio de las horas-hombre inferior a los costos salariales internos, quedándose únicamente con las actividades de gestión del proceso. En tal caso, en los términos de la literatura de cadenas de valor, habría una cadena de gobernanza desde el contratante, que tiene vínculo directo con el usuario final, y por lo tanto tiene la capacidad de diseñar el producto y crear una marca, hacia el último eslabón.

Además de estas dos formas de contratación en la provisión de servicios de desarrollo también existen formas de inserción caracterizadas por la venta de productos propios. Bajo esta modalidad, las posibilidades de apropiación de rentas son aún mayores ya que la empresa que desarrolla el producto puede aprovechar economías de escala en las actividades de I+D, diseño de productos y marketing y aprovechar los aprendizajes derivados de la interacción con los clientes, fuente de conocimientos tácitos fundamental para el diseño de nuevos productos. En este caso, no obstante, existen riesgos asociados a la incertidumbre del mercado frente a la introducción de un nuevo producto bajo marca propia.

De las tres modalidades presentadas, la primera es la que ofrece menores posibilidades de apropiación de valor, mientras que la tercera es la de mayores posibilidades. La Argentina hoy tiene empresas que operan bajo las tres modalidades, posiblemente con mayor preponderancia de la primera. El desafío radica en pasar paulatinamente a la segunda y tercera como formas predominantes de inserción en el mercado global.

Fuente: Elaboración propia

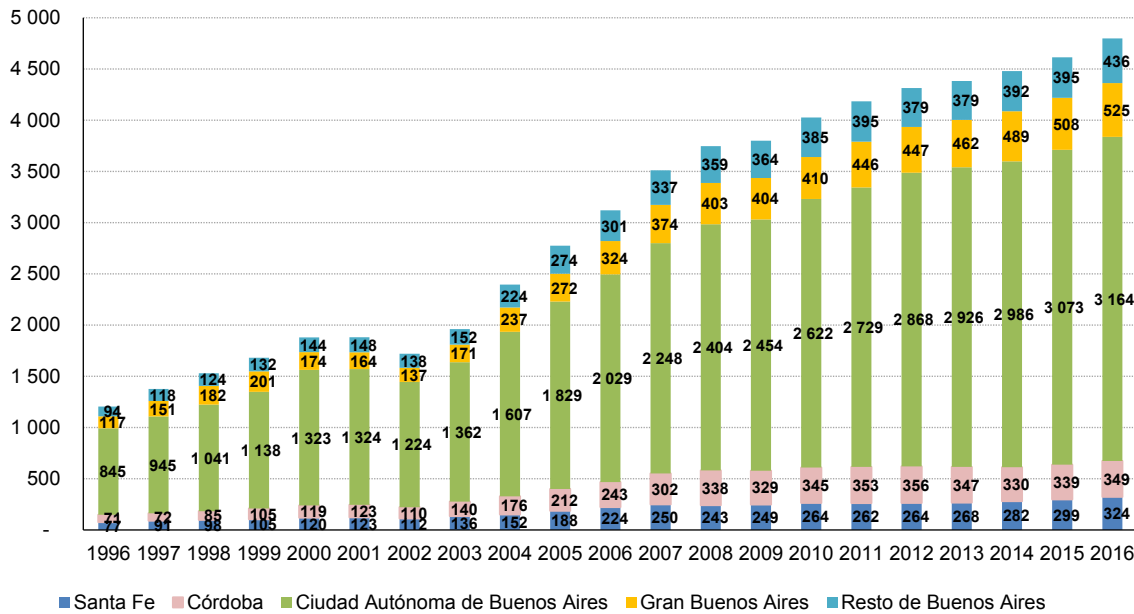
En síntesis, el sector se caracteriza por una fuerte heterogeneidad: desarrollos a medida, soluciones estandarizadas, outsourcing, entre otros, que implican diferentes niveles de complejidad y por lo tanto, de capacidades, así como diferentes modelos de negocios que involucran diversos grados de estandarización de los productos y servicios prestados y por ende diferentes posibilidades de obtención de rentas.

C. El sector de SSI en Santa Fe. Estructura y evolución

1. Evolución reciente del sector de SSI en Santa Fe

La evolución del sector de la provincia de Santa Fe acompañó la dinámica del sector a nivel nacional. Según registros del OEDE, el número de empresas en la provincia pasó de 77 empresas a más de 300 entre 1996 y 2016. El crecimiento se profundizó especialmente entre 2004 y 2008, en coincidencia con la etapa de mayor expansión en el país y en un contexto de menores recursos humanos disponibles en la Ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, como puede verse en el gráfico 13, otras regiones del país también se vieron favorecidas con la expansión de la actividad. En particular, Córdoba, GBA y el resto de la provincia de Buenos Aires con al menos tres ciudades de alto crecimiento del sector (Tandil, Mar del Plata y Bahía Blanca).

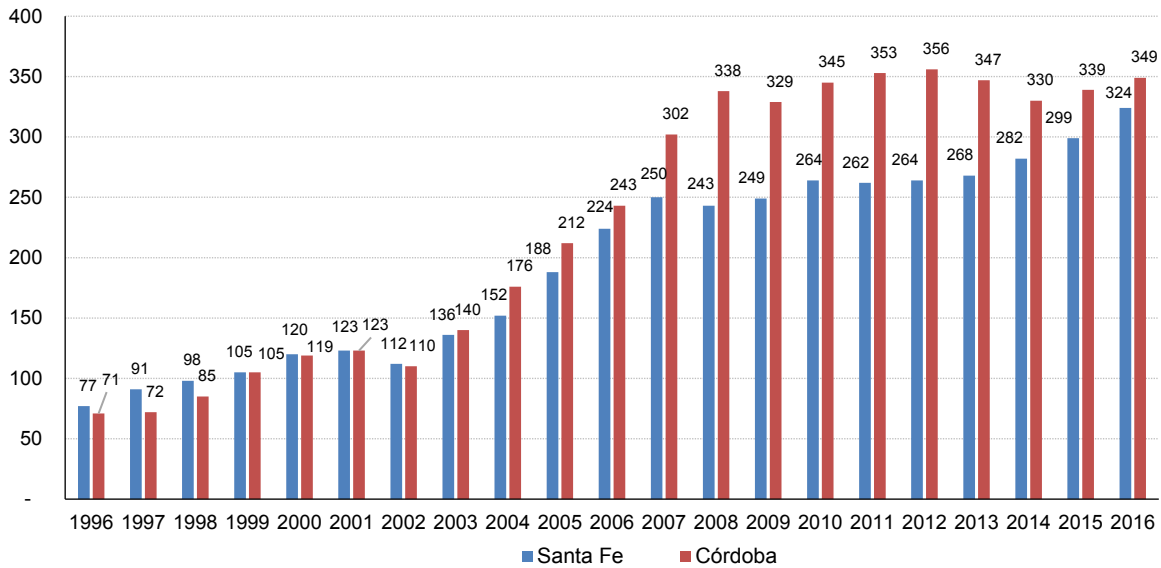
Gráfico 13
Cantidad de empresas en el sector de software, 1996-2016



Fuente: Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, MTEySS sobre la base de SIPA.

Por ejemplo, *vis à vis* la provincia de Córdoba (gráfico 14), se observa un relativo estancamiento del crecimiento en la cantidad de empresas con posterioridad a 2007, que solo logra revertirse a partir de 2014.

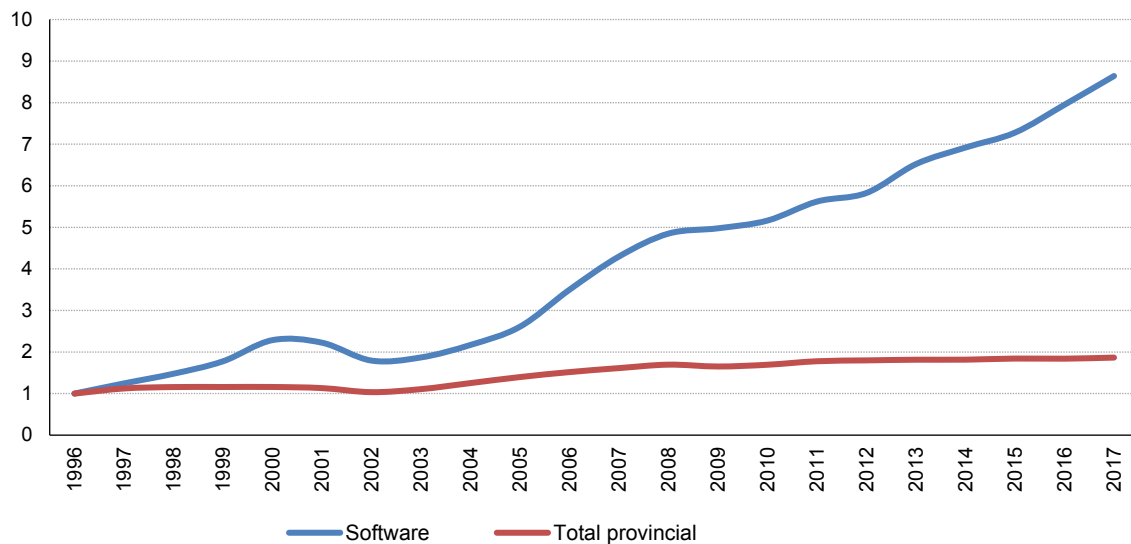
Gráfico 14
Cantidad de empresas en el sector de software, 1996-2016



Fuente: Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, MTEySS sobre la base de SIPA.

El gráfico 15 refleja como los datos de evolución del empleo del sector acompañan la dinámica de creación de empresas, y superan ampliamente al resto de las actividades de la provincia, mostrando una expansión hasta ocho veces mayor que para el resto de las actividades a lo largo de los últimos 20 años.

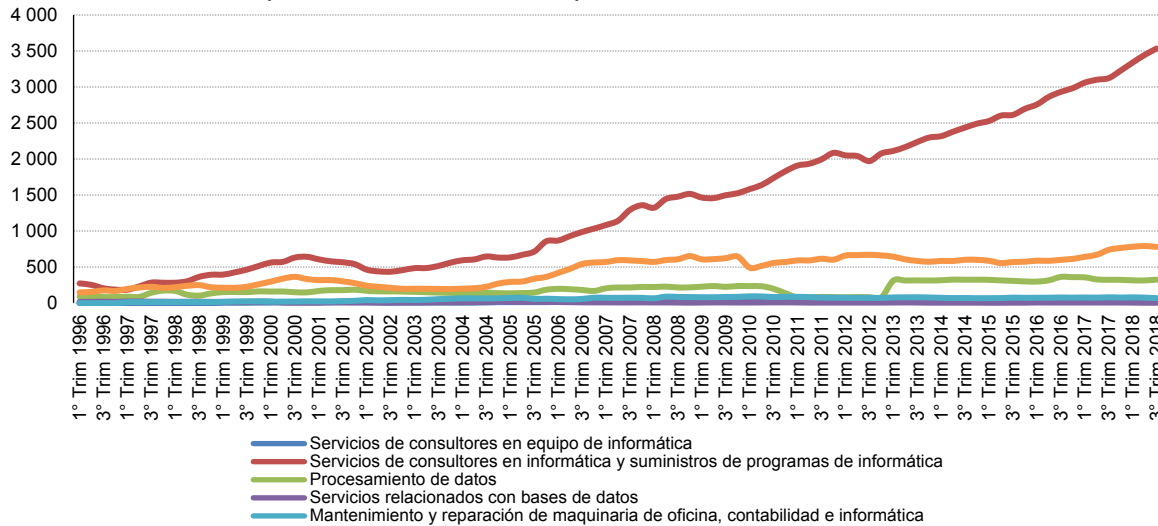
Gráfico 15
Evolución del empleo en el sector de software, Santa Fe, 1996-2018
(1996=1)



Fuente: Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, MTEySS sobre la base de SIPA.

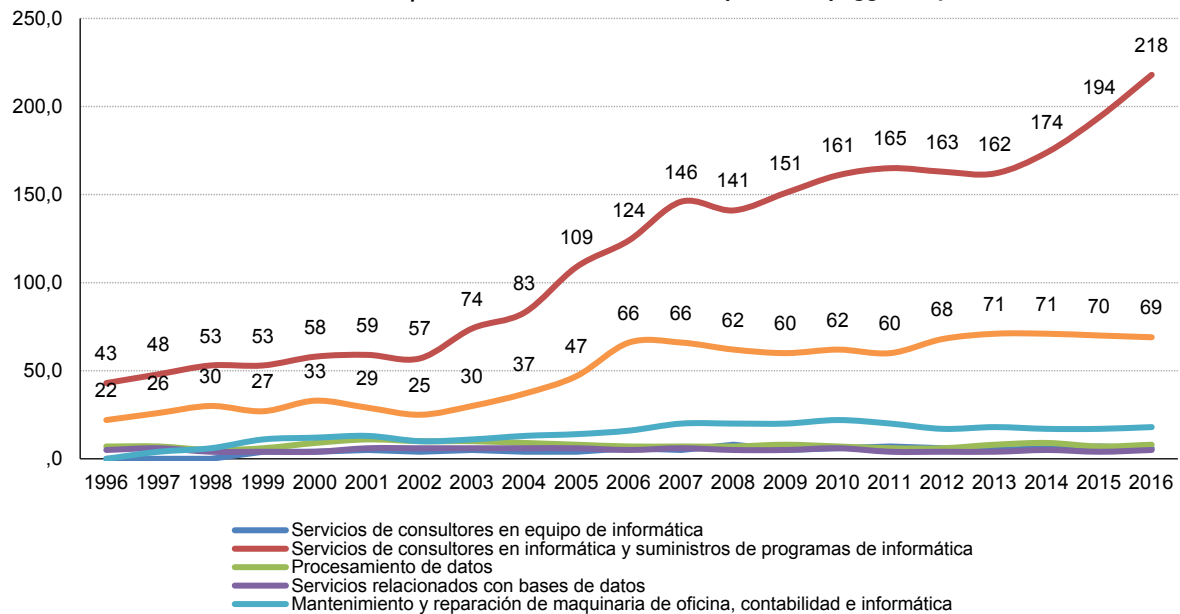
Desde una perspectiva de las actividades con mayor protagonismo, se destaca el segmento de servicios de consultores de informática, en el que crece tanto el número de empresas como de empleo (gráficos 16 y 17).

Gráfico 16
Empleo en el sector de software, por actividades, Santa Fe, 2016-2018



Fuente: Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, MTEySS sobre la base de SIPA.

Gráfico 17
Cantidad de empresas en el sector de software, Santa Fe, 1996-2017



Fuente: Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, MTEySS sobre la base de SIPA.

Si bien no se disponen de estadísticas provinciales comparables con las estimaciones realizadas por el OPSSI para el total del país, el Polo Tecnológico de Rosario estima que para la ciudad de Rosario

más de la mitad de las empresas pertenece al rubro software (66,7%), seguido por el rubro telecomunicaciones y en tercer lugar empresas del rubro ingeniería (11,9%). Las restantes empresas pertenecen a sectores como automatización, biotecnología, seguridad, energías renovables y otros sectores afines.

2. Infraestructura de CyT. Articulación entre las políticas nacionales y regionales para el sector

Como se describió en el capítulo I de este documento, la provincia de Santa Fe presenta algunas características propias relativas a la importancia alcanzada por la actividad industrial y agropecuaria, y por su desarrollo en materia de ciencia, tecnología e innovación productiva que la hacen especialmente atractiva para el desarrollo del sector de software y servicios informáticos.

Entre ellas, Santa Fe cuenta con universidades nacionales y privadas localizadas en Rosario, Santa Fe, Rafaela y otras ciudades provinciales que atraen estudiantes de diferentes partes de la provincia y el país, y cuenta con una población universitaria provincial estimada en aproximadamente 160.000 alumnos.

En el área específica de TIC se destaca la existencia de carreras universitarias, algunas de ellas de gran trayectoria, que cubren todos los niveles, pregrado (Analistas de Sistemas, Analistas en Informática y diversas Tecnicaturas Universitarias), grado (Ingeniería en Sistemas, en Informática, en Electrónica, Licenciatura en Informática y Sistemas), y posgrado, con distintas carreras de Especialización, Maestrías y Doctorados.

Esta actividad en materia de formación universitaria se complementa con políticas específicas de ciencia y tecnología hacia el sector. La evolución del Sistema de TIC en general, y del de SSI en particular, ha sido notoria en los últimos 20 años, en la que la provincia acompañó al conjunto del país, en lo que respecta a la cantidad de empresas creadas, al empleo en el sector, al nivel de calificación promedio de los trabajadores y a la cantidad de empresas certificadas en calidad de software, entre otros rasgos positivos.

En el ámbito provincial se han constituido instituciones representativas del sector de SSI que agrupan a empresas, universidades y sector gubernamental. Así, por ejemplo:

- el Polo Tecnológico de Rosario se ha consolidado y aumentado el número de empresas asociadas de diez en su origen, a 70 hacia fines de 2008 y más de 100 en 2019;
- la Cámara de Empresas Informáticas del Litoral, que agrupa a pymes de software, servicios informáticos, comunicaciones y electrónica, tanto industriales como comerciales, ha reunido en sus 15 años de trayectoria a más de 100 empresas socias;
- la Cámara de Empresas de Desarrollo Informático (CEDI) en Rafaela; y
- la Cámara de la Industria del Software (CIS-UISF), en la ciudad de Santa Fe, en el Seno de la Unión Industrial de la provincia.

Totalizando así tres entidades gremial-empresarias en la provincia, y un *cluster* de empresas TIC en Rosario originado en el Programa de Eslabonamientos Productivos del Ministerio de Producción de la Nación, Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa; además de otras cámaras menores en el interior de la provincia que dan representación a las empresas de software radicadas en pueblos y ciudades como San Francisco, Esperanza y Casilda, entre otras.

El conjunto de entidades tiene, además, una activa participación en foros y debates que se realizan en distintos niveles. Merecen citarse en los últimos años los Foros Nacionales de Competitividad, el Foro de Prospectiva-TIC organizado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación (MINCyT), y los debates que condujeron al reconocimiento del Sistema de SSI como Industria y a la aprobación de la Ley de Promoción de la Industria del Software, su prórroga y la actual Ley de Promoción de la Economía del Conocimiento.

A nivel gubernamental provincial, cabe destacar a partir de 2008, la creación de la Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación¹⁶, la Secretaría del Sistema de Empresas de Base Tecnológica en el ámbito del Ministerio de la Producción, y la Secretaría de Tecnologías para la Gestión en el ámbito del Ministerio de Gobierno y Reforma del Estado, que ha tenido un rol especialmente activo en el contexto de retracción de políticas nacionales desde el 2016.

Existe un fuerte impulso a nivel del estado provincial, materializado a través de acciones específicas en favor de empresas del Sistema TIC / SSI e instituciones que las nuclean, pudiendo citarse entre ellas, el Programa de Internacionalización de Empresas, llevado adelante por el Polo Tecnológico de Rosario, con el apoyo del Ministerio de la Producción y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación provincial, y el programa asociativo para la Certificación de Gestión de Calidad entre empresas de la Cámara de Empresas de Desarrollo Informático de Rafaela y el *Cluster* TIC de Rosario, con el apoyo del Ministerio de la Producción. Las políticas provinciales y locales a través de los Polos y Parques contribuyen a la provisión de infraestructura física y redes de servicios especialmente relevantes en las primeras etapas de la vida de la empresa.

Estas acciones se articulan con otras de distinto nivel como las políticas de formación emprendidas desde la Dirección Nacional de Escuelas Técnicas, orientadas al fomento de las capacidades tecnológicas en jóvenes a través de actividades específicas y de compra y asignación de equipamiento entre escuelas para la capacitación mediante instrumentos nacionales. Por último, las universidades radicadas en cada territorio cumplen un rol clave en materia de formación de recursos humanos, así como la interacción con Polos, Parques y Cámaras contribuye a orientar perfiles formativos acordes a las demandas del mercado.

D. Trayectorias tecnológicas en el sector de SSI y construcción de una oferta local de productos y servicios para la I4.0 en Santa Fe

Si bien las estadísticas disponibles no permiten describir el perfil productivo del sector de software y servicios informáticos en la provincia de Santa Fe, puede estimarse que, a grandes rasgos, este no se diferencia radicalmente del resto del país. Hay una oferta de pequeñas y medianas empresas orientadas a la demanda interna y un conjunto más amplio de empresas que ofrece servicios de *outsourcing*, entre las que se encuentran las firmas de mayor tamaño y un conjunto de empresas medianas que combinan la oferta de productos propios con la venta de servicios de desarrollo.

Sin embargo, un análisis más detallado de las capacidades de las empresas de la provincia y a partir del diálogo con informantes clave, permite identificar una oferta de productos y servicios informáticos orientados hacia segmentos verticales de manufactura local (en particular aquellos vinculados con el perfil productivo de Santa Fe, como alimentos y maquinarias) asociados a la difusión de tecnologías de la I4.0 cuyo desarrollo y expansión puede resultar prometedor por tres motivos:

1. Alentaría al crecimiento de la productividad de las empresas manufactureras de la provincia a partir de la adopción de nuevas tecnologías, ya sea vía ganancias de eficiencia o a través de la provisión de servicios complementarios, contribuyendo a una mayor diferenciación frente a la competencia (como trazabilidad, entre otros).
2. Contribuiría a mejorar el perfil de especialización de las empresas de SSI de la provincia, al ofrecer servicios más sofisticados y de mayor valor que gran parte de la demanda

¹⁶ Y posteriormente su ascenso a rango ministerial, como Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la provincia de Santa Fe.

internacional y sobre los que puede montarse una estrategia que permita pasar de servicios a productos con mayores ganancias de escala y especialización.

3. Permitiría sacar ventaja de los procesos de aprendizaje basados en interacciones proveedor cliente, favorecidos por la proximidad geográfica y social.

Frente a la escasez de información con el nivel de desagregación requerido para el análisis de las capacidades tecnológicas de las empresas del sector en la provincia, se ha desarrollado la siguiente metodología que permitió estilizar las trayectorias tecnológicas de las empresas de SSI orientadas a la provisión de I4.0.

En primer lugar, se construyeron a partir de los socios de cámaras y asociaciones gremiales empresarias, listados de empresas de software en la provincia que fueron corroborados con información publicada en internet. En segundo lugar, se visitaron las páginas web de todas las empresas listadas a fin de conocer la oferta de productos y servicios de cada firma. En tercer lugar, se orientó la búsqueda a aquellas que tuvieran oferta de productos y servicios hacia la industria manufacturera. En cuarto lugar, mediante la consulta con informantes clave se revisó y adecuó el listado de empresas. Sobre la base de estos criterios se seleccionó una decena de empresas con el perfil buscado para entrevistar durante el trabajo de campo realizado en la provincia y a través de llamados telefónicos. Finalmente, se implementó una metodología de estudios de casos múltiples que permitiera identificar patrones entre las empresas seleccionadas.

Se entrevistó a un total de seis empresas, dos de ellas localizadas en la ciudad de Santa Fe, tres en Rosario y una en Casilda. En forma adicional, se realizaron entrevistas a presidentes de asociaciones gremiales (CEIL, Polo Tecnológico de Rosario), a diferentes oficinas provinciales y locales abocadas a promoción industrial y a algunas empresas usuarias (en el sector lácteo) que permitieran validar y triangular la información.

En las entrevistas realizadas se buscó detectar para cada caso, i) el tipo de oferta de productos y servicios, ii) la trayectoria tecnológica de la empresa, iii) su posición respecto a la frontera tecnológica, iv) la vinculación con otros actores y v) las fuentes y modalidades de aprendizaje.

También, considerando la perspectiva estratégica y posición competitiva de la firma (frente a la competencia local y extranjera) se analizó: i) el perfil de la demanda, ii) su modelo de negocios y iii) visión estratégica.

Por último, para dar cuenta de sus procesos de crecimiento y evolución en los mercados local, regional y nacional, se indagó sobre los obstáculos al crecimiento con especial énfasis en los tipos de obstáculos enfrentados a una expansión de su demanda (mayor difusión de I4.0 en la industria manufacturera local), detectando, problemas: i) de mercado (financieros y de incertidumbre de mercado), ii) tecnológicos (considerando acceso a la tecnología, capacidades y estándares), iii) de percepción de beneficios, iv) y barreras culturales a la adopción.

Dentro de las casi 350 empresas registradas de SSI de la provincia (que podría extenderse a más de 700 empresas y microempresas, de acuerdo con información relevada durante el trabajo de campo), existe un grupo de empresas especializado en servicios de automatización de procesos industriales que lidera la difusión de las tecnologías 4.0 tanto en grandes empresas como en pymes industriales de la provincia. Muchas de estas empresas no están radicadas en las ciudades más grandes de la provincia, sino en ciudades de tamaño medio y en pequeños pueblos donde se encuentra su demanda. El perfil exportador de las empresas de la provincia estaría por debajo del promedio nacional, cuestión que se explicaría por un tejido industrial y productivo denso que fortalece la demanda local y un terreno fértil para la emergencia de una oferta local de productos y servicios orientados a la I4.0.

Al mismo tiempo, resulta interesante señalar la existencia de un importante número de empresas que en la actualidad se identifican cabalmente con el paradigma de la Industria 4.0. Se trata de empresas de larga trayectoria, de más de 15 años, en algunos casos, y más de 10 años en la mayoría de ellas, dedicadas fundamentalmente a la automatización de procesos industriales. Esto demuestra que las empresas que habían tenido un perfil de especialización en lo que se conoce como la industria 3.0, están migrando hacia desarrollos que incluyen tecnologías más sofisticadas y modernas. Al mismo tiempo verificaría lo que algunos autores sostienen en términos de que la I4.0 no es un nuevo paradigma, sino la ampliación e interconexión de tecnologías que ya se hallaban disponibles (Yoguel y otros, 2019).

En este marco, se identifican tres tipos de trayectorias tecnológicas entre las empresas de SSI con orientación hacia la I4.0 en la provincia. La primera de las trayectorias (T.1) caracterizada por empresas distribuidoras de soluciones integrales de automatización y de I4.0 provistas por grandes marcas globales de las que son a su vez, distribuidores exclusivos (Distribución, adaptación e integración de tecnología importada). La segunda (T.2) se caracteriza por hacer integración local de tecnologías heterogéneas y diversas (hardware importado) incorporadas en la planta de empresas industriales de tamaño medio a grande, bajo diferentes contextos en los que los problemas de interoperabilidad son grandes y los desafíos radican en la integración y en la provisión de sistemas faltantes (Adaptación e integración de tecnologías importadas combinada con desarrollos locales). Y por último, la tercera trayectoria (T.3) también realiza actividades de integración y adaptación, aunque orientados a clientes nacionales de tamaño medio o pequeño en los que los procesos no existen o no están estandarizados, los sistemas de gestión son incompletos o faltantes. En ausencia de componentes o hardware de automatización importado, estas empresas combinan desarrollos propios montados sobre componentes importados en soluciones dedicadas y de alta customización, orientados a mejorar la eficiencia productiva (adaptación e integración de desarrollos imitativos locales).

Es importante mencionar que se trata de una estilización de trayectorias, en la que algunas firmas pueden ubicarse en el margen entre una y otra trayectoria. En el cuadro 2 se especifican las principales características de cada trayectoria y a continuación se describen sus rasgos fundamentales.

T.1 Distribución, adaptación e integración de tecnología importada

La trayectoria 1, como está guiada por las demandas tecnológicas de las grandes empresas, fundamentalmente de capital extranjero o fuertemente internacionalizadas. Estas empresas, que ya contaban con altos niveles de automatización en sus plantas industriales, están transitando ahora hacia una mayor integración entre los sistemas de planta (OT), fundamentalmente sistemas Scada, Mes y Mom²⁷ de automatización y control a la distancia de procesos industriales provistos por los mismos proveedores internacionales de equipos industriales y de módulos flexibles de automatización (Siemens, Aveva, Rockwell, Schneider) y los sistemas informáticos (IT) de gestión de recursos, relación con proveedores y clientes y planificación (ERP), frecuentemente SAP. Dentro de la T.1 se encuentra una oferta para empresas que transitan de la industria 3.0 a la 4.0, que aún en un contexto incierto sobre la incidencia real en la estructura de costos o ganancias de competitividad, demandan estos servicios en vista de la presión competitiva por adoptar las nuevas tecnologías. En este contexto, las empresas optan por paquetes tecnológicos de frontera provistos por marcas globales y con estándares abiertos impulsados por la industria (PROFIBUS-PROFINET), a pesar de sus altos costos. Las empresas locales (exponentes de esta trayectoria) implementan el paquete en el contexto productivo específico y lo integran con los sistemas de diferentes generaciones que conviven en la planta (sistemas *legacy*) de la empresa demandante, así como con sistemas de desarrollo local (versiones más acotadas del software importado o desarrollo de módulos propios con librerías propias o provistas por proveedores). Resulta interesante señalar que si bien algunos clientes de estas empresas son grandes empresas que operan en la provincia,

²⁷ SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition*, MES: *Manufacturing Execution System* y MOM: *Manufacturing Operations Management*.

también ofrecen servicios de automatización e integración a clientes en otros segmentos verticales, en la mayoría de los casos, industrias de proceso radicados en la provincia u otras regiones del país (química, petroquímica, minería, etc.).

Las empresas que forman parte de estas trayectorias tienen un origen en electrónica industrial y automatización que ahora entran en creciente diálogo con empresas de software o los departamentos de software e IT de las empresas clientes, por lo que combinan capacidades en hardware y software (algo que es común a las tres trayectorias). Las opciones de servicios-productos que ofrecen combinan los servicios de ingeniería, instalaciones (como piso de planta, tendido de redes de comunicación industrial, etc.), consultoría en automatización, comercialización de equipos, y servicios de integración, implementación, puesta a punto y mantenimiento de equipamiento y software importado. Por lo tanto, se observa que estas empresas, en general, se hallan especializadas o bien presentan diversificación modular en nuevas unidades de negocios con las que interactúan (por ejemplo, una de las empresas crea una unidad dedicada a los servicios de ingeniería independiente de los servicios de implementación e integración informática).

T.2 Adaptación e integración de tecnologías importadas combinada con desarrollos locales

La segunda trayectoria está conformada por empresas que venden servicios a empresas grandes o medianas fundamentalmente de capital nacional que están en una etapa de transición hacia una mayor automatización de procesos, incorporando robots industriales en sus líneas (en particular finales de línea) e integrando la información de planta con los sistemas de información de gestión de recursos (ERP). La demanda que enfrentan estas empresas cuenta con un grado elevado de sistematización y estandarización de procesos por los que la implementación de la tecnología no se halla dificultada por estos factores (cosa que sí sucede en la T.3). Las empresas que conforman esta trayectoria tienen una oferta más diversificada que en el caso previo, y combinan origen en empresas de software y de automatización. En este contexto, en algunos casos realizan un financiamiento cruzado entre los ingresos por desarrollos a medida y consultoría en software y sistemas y las ventas de automatización y tecnologías de la I4.0. El perfil sectorial de sus clientes involucra un mayor grado de diversificación, incluyendo actividades primarias y servicios de logística y distribución, a los que también ofrecen servicios de automatización, generación y gestión de datos de procesos productivos e integración con sistema ERP. Si bien estas empresas combinan su oferta de servicio con hardware importado, no mantienen acuerdos con las empresas proveedoras y tiene una mayor adaptación a los perfiles tecnológicos heterogéneos que trae cada cliente. El motor de la trayectoria, en este caso, combina actualización tecnológica con reducción de costos, por lo que las soluciones más demandadas se orientan a mantenimiento predictivo y robotización orientada al ahorro de fuerza de trabajo.

T.3 Adaptación e integración de desarrollos imitativos locales

La trayectoria 3 comparte muchas características con la anterior, pero al estar orientada hacia empresas de menor tamaño relativo, las capacidades adaptativas ante circunstancias heterogéneas, y la necesidad de dar cobertura a sistemas faltantes, es mayor. Por otro lado, el foco puesto en la reducción de costos hace que las empresas articulen con firmas locales de electrónica o tengan gran flexibilidad para trabajar con PLC importados. No están sujetas a estándares específicos y su mayor activo es la flexibilidad para operar con proveedores diversos, lo que es fundamental en tanto articulan con fábricas que en muchos casos deben integrar maquinaria adquirida en varios períodos y que, por lo tanto, cuentan con tecnología muy diversa. Son empresas que se originan en el sector de software y por lo tanto tienen diversificada su oferta, en la que combinan la automatización e integración con otros modelos de negocios como el de desarrollo de software a medida para el mercado local o global. Apuntan a la integración también, pero se encuentran con debilidades en la incorporación de software de gestión, por lo que en algunos casos también ofrecen su propio ERP. Fuertemente diversificadas,

combinan automatización con otras actividades, como *marketing* digital, aplicaciones y desarrollos a medida. Financian el desarrollo de sus productos y servicios con la realización de proyectos a medida.

Cuadro 2
Casos de análisis y definición de trayectorias tecnológicas

Casos	Actividades	Grado de especialización	Trayectoria tecnológica	Modalidad y fuentes de aprendizaje	Distancia respecto de la frontera	Tipo de clientes
Caso 1	Automatización Distribución, adaptación e integración	Especializada	Empresas de electrónica industrial y automatización. Distribución, implementación y adaptación de soluciones importadas	Fuente: proveedores de tecnología Modalidad: codificada en manuales e incorporada en el hardware	Adopción de tecnología en la frontera. Guiada por la competencia	Grandes empresas. Multinacionales o grupos económicos locales. Clientes radicados en tanto en provincia como en el resto del país Perfil sectorial de la demanda heterogéneo
Caso 2		Diversificación modular serv. de ing.				
Caso 3	Automatización Integración y soluciones a medida	Diversificada hacia servicios de programación	Empresa de software orientada a demandas de empresas manufactureras. Soluciones a medida. Integración de sistemas de planta, con electrónica <i>ad-hoc</i> (local dedicada e importada)	Fuente: interacción con el cliente Modalidad: Codificada y tácita. Desarrollo adaptativo <i>ad-hoc</i>	Desarrollos adaptativos locales. Guiados por actualización tecnológica y reducción de costos	Empresas grandes y medianas de capital nacional, que tienen una preferencia por soluciones nacionales de menor costo. Radicadas en (u originarias de) la provincia de Santa Fe. Perfil sectorial de la demanda heterogéneo
Caso 4	Integración de procesos automatizados	Especializada en segmento lácteo				
Caso 5	Desarrollos a medida con experiencia en automatización	Diversificada. Aplicaciones web	Empresas de software orientadas a servicios de integración. Alta versatilidad para adecuarse a las heterogéneas trayectorias tecnológicas de las empresas industriales	Fuentes: Internas. Modalidad: Codificada y tácita. Desarrollo adaptativo <i>ad-hoc</i>	Desarrollos adaptativos locales. Guiados por la estandarización de procesos y reducción de costos	Pequeñas y medianas empresas de capital nacional. Radicadas en la provincia. Perfil sectorial de la demanda orientado a la especialización de la prov. (lácteos, alimentos, metalmecánica)
Caso 6	Integración de procesos automatizados. Integración con ERP local	Diversificada Marketing digital y ERP				

Fuente: Elaboración propia sobre base de entrevistas realizadas.

E. Limitantes y desafíos para el sector de SSI de Santa Fe

Los obstáculos que enfrentan estas empresas para expandir su negocio se asocian directamente a las dificultades de expansión de la demanda, es decir, a los problemas que enfrentan las firmas usuarias para adoptar tecnologías de la I4.0. En este contexto, las empresas de la T1 enfrentan menores dificultades que la T2, mientras que la T3 es la que tiene que lidiar con mayores problemas, debido al menor tamaño de la empresa adoptante, a una mayor incertidumbre de mercado, a una menor percepción sobre los beneficios de la adopción y mayor retraso en la incorporación de TIC en las diferentes esferas de la empresa. A continuación describimos los obstáculos para cada trayectoria, distinguiendo entre (i) obstáculos típicamente tecnológicos, asociadas a las capacidades de las firmas proveedoras, y (ii) obstáculos derivados de las decisiones de adopción de las empresas usuarias asociados a las condiciones de mercado, a la percepción de los beneficios y a barreras culturales (cuadro 3).

Cuadro 3
Obstáculos asociados con la expansión del sector según las dificultades del tipo de usuario

Obstáculos→ Casos ↓	Firmas proveedoras	Firmas usuarias		
	Tecnológicas	De mercado	Percepción de beneficios	Culturales
Trayectoria 1. Distribución, adaptación e integración de tecnología importada				
Caso 1	Adoptan estándares de las empresas globales. El nivel de actualización tecnológica de sus clientes no representa una restricción. Tienen una especial preocupación por cuestiones de ciberseguridad	No presentan obstáculos financieros ni de incertidumbre de mercado	Hay una clara visión de que la adopción de estas tecnologías es condición para afrontar la competencia. La adopción la motiva la actualización tecnológica, más que un cálculo de los beneficios esperados que en muchos casos son inciertos.	A pesar de estar comprometidos en la adopción de I4.0 a nivel estratégico, el tamaño de la firma provoca procesos de inercia institucional que dificultan la adopción. Gran distancia entre áreas de IT y OT
Caso 2				
Trayectoria 2. Adaptación e integración de tecnologías importadas combinada con desarrollos locales orientados a clientes nacionales de tamaño medio o grande				
Caso 3	Operan en un contexto de alta heterogeneidad tecnológica, adaptándose a las necesidades de clientes diversos. No hay restricciones tecnológicas que condicionen, más que las trayectorias de las empresas usuarias a las que se adaptan con soluciones <i>ad-hoc</i>	No tanto son obstáculos financieros sino de incertidumbre de mercado derivada de la inestabilidad macro	Hay una percepción difusa de los beneficios de difusión de las tecnologías. La adopción se realiza bajo una lógica económica de ganancias esperadas	Se replican los problemas derivados de grandes organizaciones, combinado con el factor (en algunos casos) de falta de visión estratégica sobre I4.0. Atienden a un segmento de mercado que ya está en la I3.0
Caso 5				
Trayectoria 3. Adaptación e integración de desarrollos imitativos locales orientados a clientes nacionales de tamaño medio o pequeño				
Caso 4	Operan en un contexto de alta heterogeneidad tecnológica, adaptándose a las necesidades de clientes diversos. No hay restricciones tecnológicas que condicionen, más que las trayectorias de las empresas usuarias a las que se adaptan con soluciones <i>ad-hoc</i>	Presentan obstáculos financieros y de incertidumbre de mercado derivada de la inestabilidad macro	No existe percepción de los beneficios esperados. No se conocen las tecnologías y se dificulta estimar ganancias derivadas de la adopción	Menor distancia entre IT y OT. Los proveedores muchas veces resuelven ambos conjuntos de sistemas. Problemas de otro tipo: falta de estandarización de procesos (incluso administrativos) o falta de sistemas ERP. Atienden aún segmento de mercado que ya están en la I3.0 o menos.
Caso 6				

Fuente: Elaboración propia sobre estudios de caso.

Dentro de la primera trayectoria no hay obstáculos considerables, las empresas usuarias tienen una clara visión acerca de la adopción de tecnologías I4.0 y orientan su estrategia a tal fin, no cuentan con problemas severos de financiamiento que impidan la aplicación de la tecnología, y al orientar una parte considerable de su producción al extranjero, tampoco presentan incertidumbre de mercado que retenga sus procesos de actualización tecnológica. En estos casos, los problemas más graves se refieren a conflictos culturales y de inercia organizacional.

En la segunda trayectoria, emerge como un factor clave la baja percepción de los beneficios asociados a la adopción de estas tecnologías, esta cuestión asociada con la existencia de restricciones financieras para adoptar tecnologías, que dificultan su aplicación. Al mismo tiempo, como son empresas que tienen una parte importante de sus procesos automatizados, el pasaje a la I4.0 es más cercano y se requiere fundamentalmente identificar las tecnologías con beneficios concretos e inmediatos, que a su vez estarán asociados al ahorro de costos (mantenimiento predictivo, robotización). Otros obstáculos

de cultura organizacional, como inercia o problemas de comunicación entre actores dentro de la firma, se mantienen.

En la tercera trayectoria, las dificultades son mayores en todos los planos. Las empresas usuarias enfrentan serias dificultades financieras y de incertidumbre con respecto a los mercados, por lo tanto, su orientación a la reducción de costos es mayor, así como su demanda por conocer efectivamente el impacto de la adopción. Al mismo tiempo, al estar tecnológicamente más lejos de estas tecnologías la posibilidad de percibir los efectos positivos de la adopción es más complejo, lo que la desalienta. Por otra parte, si bien por tratarse de empresas más pequeñas pueden mejorar los problemas de comunicación e inercia presentes en usuarios de mayor tamaño, la falta de procesos estandarizados dificulta su automatización.

Por último, desde la perspectiva de las empresas de software proveedoras, una restricción que emerge es la fuerte heterogeneidad con la que deben lidiar, obligando al desarrollo de soluciones a medida en cada caso y con escasas oportunidades para escalar las soluciones. Esta característica, si bien dota de versatilidad a las empresas, a la vez que representa una oportunidad para los aprendizajes proveedor-cliente derivados de la interacción, también repercute negativamente sobre las posibilidades de obtener ventajas de especialización. Al mismo tiempo, la falta de previsibilidad en el mercado de la integración industrial, por ejemplo, en un contexto de crisis, hace que estas empresas complementen su oferta con servicios y productos de otro tipo, de modo de mantener operativa a la firma aún en contextos de caída de la demanda industrial, aunque estas actividades adicionales (muchas veces orientadas a desarrollos a medida para exportación) también restrinjan las posibilidades de aprendizaje.

F. Políticas para el sector y capacidades público-privadas existentes como plataforma de apoyo para el desarrollo y la incorporación de tecnología 4.0.

1. Instrumentos de fomento vigentes: grado de uso y percepción de las empresas

Existe un conjunto de políticas públicas de apoyo al sector de SSI. El relevamiento realizado ha permitido evaluar el grado de utilización de los instrumentos vigentes y la percepción de sus beneficios por parte de las empresas del sector. A continuación se sintetizan los principales hallazgos:

- Un importante número de firmas provinciales de SSI con oferta de tecnologías 4.0 adhieren a la Ley de Software, por lo que cuentan con una base de beneficios fiscales. Estas empresas perciben que la nueva Ley de Servicios Intensivos en conocimiento podría mantener o extender sus beneficios a partir de la especificación que realiza sobre el sector de I4.0.
- Las empresas entrevistadas han hecho uso de los instrumentos de financiamiento a la innovación de la Agencia Nacional de Promoción Científico-Tecnológica, a través de los fondos FONTAR y FONSOFT. No obstante, estas fuentes de financiamiento se han retrotraído al discontinuar la oferta de instrumentos de Aportes No Reembolsables y su reorientación a créditos con subsidio de tasa.
- Algunas empresas del sector han podido apalancar su oferta a través de los beneficios otorgados a otros sectores usuarios, como PACC (Programa de Acceso al Crédito y Competitividad) orientado a la actualización tecnológica de pymes industriales. A través de este beneficio, las empresas de software lograban que sus potenciales clientes pudieran financiar la incorporación de tecnología. Desde 2017 dicha línea dejó de estar operativas.
- Por último, en el caso de Rosario, algunas empresas participan activamente del Polo Tecnológico, lo que les permite acceder a la infraestructura edilicia (Zona i) y a servicios

transversales. Otros instrumentos provinciales, como los desplegados por las carteras de producción y ciencia y tecnología de la provincia, han cobrado protagonismo frente al contexto de retracción de las políticas nacionales.

2. Propuestas para el diseño de políticas en el sector SSI, orientadas a la I4.0

El rol del sector de software y servicios y servicios informáticos como industria difusora de tecnología y conocimiento habilita al diseño de política pública para la promoción del sector y la adopción de las tecnologías que el sector ofrece. En tal sentido, la política debe orientarse a cubrir ambos frentes, en primer lugar, entre las políticas de demanda de tecnologías 4.0 por parte de empresas industriales de la provincia, y en segundo lugar, las políticas de oferta, que alientan al desarrollo de capacidades específicas en tecnologías de I4.0 en las empresas de software de la provincia de Santa Fe. Por otra parte, cada una de las trayectorias identificadas enfrentan obstáculos concretos, que tienen que ver a su vez con características propias de la empresa oferente o con las características y atributos de las adoptantes. En este contexto, el diseño de política debe reconocer y atender esta heterogeneidad.

Cuadro 4
Propuestas de políticas transversales y focalizadas, según trayectoria

Objetivos	Trayectoria 1	Trayectoria 2	Trayectoria 3
Fortalecimiento de la Infraestructura de CyT en Industria 4.0	Desarrollo de plataforma nacional de I4.0, realizada por proveedores locales, orientada a adaptar soluciones a condiciones locales y a medianas y grandes empresas. Oferta de modelado de procesos industriales, IA, <i>Machine Learning</i> .	Desarrollo de plataforma nacional de I4.0, realizada por proveedores locales, orientada a oferta de IoT, automatización, robotización y trazabilidad a menores costos que los de las soluciones importadas.	Oferta y apoyo a la implementación de sistemas de gestión abiertos para la automatización de procesos administrativos y contables.
Acelerar I+D y Aprendizaje en firmas		Fomento a la incorporación de tecnología I4.0 nacional a través del otorgamiento de ANRs y subsidio de tasa. Fomento a la I+D en empresas proveedoras nacionales para el desarrollo de productos y servicios de la I4.0. Fomento a la articulación entre empresas proveedoras y grupos de investigación en universidades y centros de CyT.	Concientización y financiamiento para la estandarización de procesos.
Formación y capacitación	Compra y distribución de equipamiento para escuelas técnicas. Formación docente. Recomendaciones de currícula en concordancia con objetivos nacionales, que surjan del diálogo con los tres tipos de trayectorias. Mayor articulación entre escuela técnica/sector manufacturero. Sistemas de pasantías. Cursos específicos dictados por el sector industrial. Impulso de actividades de concientización y formación en educación básica y media. Programas de actualización de capacidades de trabajadores industriales hacia la I4.0.		
Marco de incentivos y regulatorio	Avanzar en la creación de organismos públicos-privados para la certificación de estándares industriales.	Jornadas de capacitación sobre beneficios de tecnologías 4.0, con foco en mantenimiento predictivo, IIoT y robotización. Asistencias técnicas orientadas al diagnóstico e incorporación de tecnología en empresas medianas y pequeñas. Fomento a la experimentación con nuevas tecnologías a partir de la articulación entre empresas de software, electrónica, centros tecnológicos y grupos de investigación. Participación en centros tecnológicos, <i>clusters</i> y polos.	Promoción de adhesión a Ley de Industrias Intensivas en Conocimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en consideración estos criterios generales, a continuación, se presenta una serie de propuestas de políticas organizadas bajo cuatro líneas generales:

- i) Fortalecimiento de la Infraestructura de CyT en Industria 4.0
- ii) Acelerar I+D y Aprendizaje en las firmas
- iii) Formación y capacitación
- iv) Marco de incentivos y regulatorio

i) Fortalecimiento de Infraestructura de CyT en Industria 4.0

El desarrollo de la I4.0 en la provincia requiere de un fortalecimiento de la Infraestructura en CyT y una orientación a la I4.0. Santa Fe no es ajena a esta preocupación. Tiene uno de los sistemas de CyT provincial de mayor sofisticación del país con una base institucional en los Ministerios de la Producción y de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la provincia. A su vez, se destaca el rol de las agrupaciones empresariales que operan en el territorio y que promueven la cooperación tanto en materia productiva como de ciencia y tecnología. Por otra parte, la colaboración con universidades y centros tecnológicos en determinados sectores y áreas de trabajo también fortalece el entramado de relaciones entre empresas, gobierno y academia. En el caso del sector de SSI este asociativismo se plasmó en organizaciones público-privadas como el Polo Tecnológico de Rosario y el Parque Tecnológico Litoral Centro, con participación de universidades, gobiernos municipales y provinciales y asociaciones empresarias. Estas instituciones junto con las cámaras empresarias son actores centrales en la dinámica del sector y funcionan como plataformas para la construcción de capacidades en tecnologías 4.0.

En este contexto, la consolidación de una infraestructura de CyT para el desarrollo de I4.0 resulta clave, aunque las acciones específicas deben ser pensadas para cada trayectoria. Las políticas dentro de este componente se orientan a fortalecer centros tecnológicos a partir del desarrollo de tres plataformas tecnológicas que contribuyan con la digitalización de la producción manufacturera y su integración con los diferentes sistemas de gestión empresarial.

- Orientado a cubrir necesidades de las T1, T2 y T3, se propone el desarrollo de una plataforma tecnológica para modelado de procesos industriales, aplicando Inteligencia Artificial y Machine Learning. Esta plataforma podría construirse en el contexto de un consorcio entre grandes y medianas empresas usuarias (fundamentalmente de procesos) y centros tecnológicos y grupos de investigación (por ejemplo el CIFASIS). La plataforma podría retroalimentar su aprendizaje sobre la base de un gran número de usuarios, a la vez que estos podrían beneficiarse de un producto orientado a las especificidades industriales de la provincia.
- Orientado a las necesidades de las T2 y T3, se propone el desarrollo de una plataforma tecnológica para la IIoT. Esta plataforma estaría orientada a la provisión de servicios de integración provistos por empresas de software locales y componentes de IIoT diseñados y ensamblados por empresas de electrónica local que puedan dar prestaciones compatibles con las necesidades de empresas medianas y pequeñas y a un costo más accesible que las soluciones importadas ofrecidas por grandes proveedores globales. Esta oferta se complementa con la plataforma de modelado de procesos industriales.
- Orientado a la T3, se propone el desarrollo de una oferta pública de sistemas de gestión ERP, basadas en soluciones abiertas para que las empresas de menores competencias y con mayor atraso en la digitalización tengan procesos administrativos establecidos y digitalizados.

Cada una de estas plataformas podrán ser constituidas a partir de la participación colaborativa de empresas, cámaras empresariales, centros tecnológicos y grupos de investigación. Los Polos y Parques podrían ser lugares de acogida de estas plataformas conformadas bajo una lógica público-privada.

ii) *Acelerar I+D y el Aprendizaje en firmas*

Las trayectorias identificadas enfrentan una realidad muy diferente en materia de aprendizaje tecnológico y conducta innovativa de las empresas demandantes. Mientras que las grandes empresas, fundamentalmente las de capital extranjero, son proactivas en la adopción de I4.0, las medianas y pequeñas, frente a las dificultades que enfrentan, toman sus decisiones de adopción con mayor cautela o de manera reactiva. Por ello, se proponen acciones para las trayectorias 2 y 3

Fomentar la incorporación de tecnología I4.0 nacional a través del otorgamiento de ANRs y subsidio de tasa. El retroceso de la política nacional ha dejado un espacio de vacancia en materia de subsidios a la actualización tecnológica.

Fomentar la I+D en empresas proveedoras nacionales, a través del otorgamiento de ANRs y subsidio de tasa, para el desarrollo de productos y servicios de la I4.0. Las empresas de SSI de la provincia tienen capacidades para ofrecer productos de la I4.0, e incentivos de este tipo permitiría una reorientación del sector hacia productos y servicios que generen mayores vínculos con las empresas industriales de la provincia.

Fomentar la articulación entre empresas proveedoras y grupos de investigación en universidades y centros de CyT. Esta articulación favorece los aprendizajes proveedor-usuario en materia de I4.0. Las plataformas mencionadas en el apartado anterior pueden ser medidas concretas en esta dirección. Un ejemplo de política actual que podría ser fortalecido con mayores recursos, es el programa impulsado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la provincia, LABTICS, que fomenta la vinculación entre el sector científico, el industrial y empresas TICS de Santa Fe para el desarrollo de software orientado hacia las necesidades del sector industrial, a partir de la identificación de casos y el financiamiento de recursos humanos para la implementación de proyectos concretos.

En especial orientado a las necesidades de las empresas de la trayectoria 3, se propone diseñar un programa de apoyo para la estandarización de procesos a través de consultorías sobre buenas prácticas y líneas de financiamiento que de soporte a las pymes en esta iniciativa.

iii) *Formación y capacitación*

Un diagnóstico común entre los actores de la provincia entrevistados es que urge la formación de Recursos Humanos no solo en programación sino, fundamentalmente, en electrónica. En la actualidad, resulta destacable el rol de la Dirección de Educación Técnica, concientizando en las distintas escuelas sobre la necesidad de contar con el equipamiento necesario para que el estudiantado se forme en el desarrollo e implementación de tecnologías I4.0, y generando una masa crítica de docentes comprometidos con esta iniciativa. Además, desde la Dirección se impulsan actividades en distintas regiones de la provincia orientadas a la formación de los y las estudiantes en electrónica y robótica, en tanto reconocen que son esenciales para su inserción laboral futura.

En este contexto, las políticas propuestas tendrán incidencia directa sobre las tres trayectorias e incluyen:

- Compra y asignación entre escuelas técnicas de la provincia de equipamiento para capacitación.
- Formación docente específica para uso de equipamiento.
- Recomendaciones de currícula en concordancia con objetivos nacionales, que surjan de diálogo con los tres tipos de trayectorias.

- Mayor articulación entre los estudiantes de las escuelas técnicas y el sector manufacturero, entre ellos sistemas de pasantías y el diseño de cursos específicos dictados por el sector industrial.
- Impulso a las actividades de concientización y formación en tecnologías de la I4.0 en escuelas de educación básica y media, en particular talleres de robótica, programación, sistemas ciberfísicos y *machine learning*.
- Programas de actualización de capacidades de trabajadores industriales hacia la I4.0.

iv) Marco de incentivos y regulatorio

Las firmas entrevistadas coinciden en que una de sus mayores limitantes en su rol de difusores de I4.0 es la poca percepción que las empresas usuarias de sus servicios tienen respecto a los beneficios resultantes de la implementación de estas tecnologías. En ese sentido, las actividades de difusión que actualmente están realizando los Ministerios de Producción y de Ciencia y Tecnología provinciales se encuentran bien orientadas.

Una vez más, habrá un conjunto de políticas con efectos sobre todas las trayectorias y otras que incidirán especialmente sobre algunas de ellas.

Sobre la T1 no se prevén acciones específicas ya que se trata de empresas que demandan las soluciones tecnológicas más sofisticadas del mercado y están al tanto de los beneficios que la incorporación de tecnología puede acarrear.

Sobre las trayectorias T2 y T3 se proponen medidas orientadas a lograr una mayor difusión de nuevas tecnologías, como:

- Jornadas de capacitación sobre beneficios de tecnologías 4.0, con foco en mantenimiento predictivo, IIoT y robotización.
- Asistencias técnicas orientadas al diagnóstico e incorporación de tecnología en empresas medianas y pequeñas.
- Fomento a la experimentación con nuevas tecnologías a partir de la articulación entre empresas de software, electrónica, centros tecnológicos y grupos de investigación.
- Participación en centros tecnológicos, *clusters*, polos y ferias, creación de premios provinciales, recolección y difusión de casuística de éxito y difusión a través de manuales y folletos, son algunas formas concretas de intervención.

Sobre la T3 adicionalmente se plantea:

- Promocionar la Ley de Industrias Intensivas en Conocimiento, ya que las empresas más pequeñas o aquellas de empresas de hardware que habían quedado al margen del anterior régimen ahora estarán contempladas bajo la nueva ley.

III. Biotecnología en salud humana: nuevos desafíos en la frontera tecnológica

El sector de Biotecnología en salud humana es uno de los principales sectores de la provincia de Santa Fe, y en particular de los cuatro complejos productivos de este estudio, en los que existen posibilidades de generar capacidades locales de alta tecnología, a partir de la incorporación de la I4.0.

Si bien su difusión en el dominio biológico es aún incipiente, la denominada “Industria 4.0” plantea nuevos desafíos a este entramado biotecnológico en la medida que la nueva genómica y los avances en la digitalización de los bioprocesos abren nuevas oportunidades de desarrollos en servicios personalizados, producción de productos terapéuticos en lotes chicos y modelos predictivos con impactos en los costos (y tiempos) de procesamiento. Como se discutirá en este capítulo, la provincia de Santa Fe cuenta con varios de los elementos que contribuyen a la convergencia tecnológica entre las tecnologías digitales y las biotecnologías, entre los que se destaca la existencia de una infraestructura de Investigación y Desarrollo con capacidades en biociencias y por sistemas de salud que traccionan su expansión “aguas abajo”. Además la provincia de Santa Fe, con epicentro en su capital provincial y en Rosario, es la segunda provincia del país en cantidad de empresas biofarmacéuticas.

El capítulo se estructura a partir de una primera sección (A) donde se caracteriza la Industria 4.0 en el sector biofarmacéutico mundial. En la sección B se analizan buenas prácticas internacionales para la implementación de la manufactura avanzada en biofármacos. En la sección C se discuten las trayectorias tecnológicas predominantes en la industria biofarmacéutica en Argentina, en particular en la industria de Santa Fe y el grado de adopción de las tecnologías de la I4.0 (sección D). En la sección E se identifican los principales actores que dinamizan la trama a nivel provincial y su articulación con el sistema de Ciencia y Tecnología local. Por último, a partir de la identificación de los principales limitantes y desafíos en la adopción de las tecnologías 4.0 en el sector provincial (Sección F), se proponen lineamientos de política industrial y tecnológico que permitan sobrellevar los obstáculos identificados en la trama productiva provincial (sección H).

A. Industria 4.0 en la industria biofarmacéutica mundial

Como resultado del vencimiento de las patentes biotecnológicas de productos con gran volumen de ventas (*blockbusters*), la industria biofarmacéutica mundial enfrenta una mayor competencia en la búsqueda de soluciones terapéuticas. A esta tendencia se suma la expansión de productos personalizados (*targeted*), y un aumento en el número de tratamientos para varias enfermedades huérfanas. En este contexto es posible identificar tres tendencias.

- Por un lado, la agencia regulatoria de los Estados Unidos, FDA, ha incrementado la tasa de aprobación de productos biofarmacéuticos —10 aprobaciones anuales de biológicos en los últimos cinco años— modificando (sin revertir aún) la tendencia de caída persistente de la productividad de la I+D. Dado el carácter indisoluble de innovaciones de producto y procesos en las drogas biológicas, esto involucrará nuevos métodos de manufactura.
- Asimismo, el número de drogas huérfanas (aquellas que tienen menos de 200.000 pacientes) designadas como tales por la FDA aumentó sostenidamente durante la primera década de 2000. Se trata de productos de pequeño volumen con pacientes dispersos geográficamente, que requieren flexibilidad en la producción.
- Por otro lado, tiene lugar la emergencia de la medicina personalizada, aunque se encuentra en una fase inicial de desarrollo. Las drogas personalizadas requieren escalas de producción muy bajas, y una estrecha articulación con las empresas de diagnóstico.

Estas tendencias han dado lugar a la producción de drogas biofarmacéuticas con lotes chicos, requerimientos muy específicos de manufactura, y productos particulares por genotipo. En consecuencia, la manufactura requiere cambios y la reconfiguración de los procesos con normas de bioseguridad muy estrictas, desarrollo de equipos complejos y especificaciones rigurosas de cadena de frío y esterilidad.

La industria biofarmacéutica se ha caracterizado desde sus inicios por su capacidad para identificar nuevas moléculas y blancos terapéuticos; este conjunto de tendencias se ha traducido en exigencias de innovación de proceso. Adicionalmente, el desarrollo del segmento de biosimilares ha elevado el status de la manufactura como diferenciador.

1. Principales tecnologías 4.0 en el sector

En este marco, la industria biofarmacéutica está adoptando técnicas de la **manufactura avanzada** asociada a la Industria 4.0 (Deloitte, 2018), entre ellas se destacan las “nuevas herramientas analíticas de proceso” (*Process Analytical Technology*, PAT) que permiten mejorar la robustez de los procesos, acelerar el escalado hacia la producción y lograr un uso más eficiente de los recursos. Estas tecnologías, que fueron utilizadas previamente en las industrias petroquímica y alimentaria, involucran el diseño, análisis y control de la manufactura a partir de medidas en tiempo real del proceso desde las fases clínicas, hacia el escalado y la producción. Este control permite analizar la calidad y genera la capacidad de adaptación de procesos, contrastando con otros modelos predictivos (*model predictive process*). Hacia el final de los 2000, ya existían tecnologías para recopilar datos masivos de variables de proceso en el proceso aguas arriba (*upstream*)¹⁸, identificando lotes con altos rendimientos de anticuerpos y para definir trayectorias de referencia. No obstante, la capacidad de recopilar datos sobre la estructura de las células aún se encuentra limitada por la inexistencia de sondas que identifiquen directamente datos de la estructura celular. Aquí

¹⁸ El proceso aguas arriba incluye la fase de expansión de líneas celulares y la producción en biorreactores, el aguas abajo comprende la recuperación de las células a través de la filtración y la purificación.

hay potencial de utilización de Big Data, computación en la nube, analítica de grandes datos y el desarrollo de plataformas industriales que permitan reemplazar costos fijos por variables.

La **manufactura continua**, como alternativa a la producción en lotes (*batches*), para mejorar el escalado y acelerar el tiempo de llegada al mercado, al mismo tiempo que reducen capital fijo por unidad producida. La tecnología continua se encuentra disponible para algunas partes del proceso aguas arriba de manufactura, pero muy pocas han avanzado hacia su totalidad. Se está avanzando en desarrollos que impliquen la total automatización del proceso¹⁹. Las ventajas potenciales de la manufactura continua son importantes al poder variar el tamaño de los lotes de producción sin alterar los costos, a diferencia de los *batches* que requieren producciones mínimas y máximas. Se trata de reactores más pequeños con mayor flexibilidad (un biorreactor de 5 litros puede producir tanto como un reactor de 5000 litros tradicional). Adicionalmente reducen los tiempos de producción, y mantiene la estabilidad de los insumos en el proceso. Los **sistemas *single-use***, en el que se utilizan bolsas de plástico descartables en vez de tanques de acero inoxidable en los precosos aguas arriba (*upstream*) de cultivo celular permiten el desarrollo de economías de variedad (*scope*) en la misma instalación, facilitando cambios rápidos y reducir los costos de contaminación cruzada. De esta manera se lograría aumentar la flexibilidad y reducir tiempos de producción, disminuyendo los requerimientos de inversión y de energía. En los últimos años comenzó a utilizarse también este tipo de técnicas en las acciones aguas abajo (filtrado y purificación). En la medida que la misma abarque la totalidad del proceso, se podrán reforzar algunas de las ventajas del proceso continuo.

Otro conjunto de herramientas como la **genómica, la bioinformática y la inteligencia artificial** irrumpen facilitando procesos clave de la industria biofarmacéutica. La genómica utiliza la secuenciación de ADN de alto rendimiento y la bioinformática para analizar la función y la estructura de genomas completos. En las últimas dos décadas el tiempo y costo requerido para secuenciar el ADN se redujeron drásticamente, siendo clave los avances en los equipos utilizados y, principalmente, en las herramientas informáticas que permitieron procesar la enorme cantidad de información. La genómica es de especial importancia para el estudio, diagnóstico y tratamiento de enfermedades genéticas y para evaluar la respuesta a fármacos de distintos fenotipos, conectándose con la medicina personalizada. En los últimos años se está dando una gran convergencia entre la Inteligencia Artificial (IA) y la genómica, lo que potencia las aplicaciones en este campo a partir, por ejemplo, de datos de secuenciación de nueva generación (NGS) y el uso en investigación de aprendizaje profundo (*deep learning*), algoritmos de *machine learning* que procesan una enorme cantidad de datos con la capacidad de generar modelos predictivos.

Por último, la **edición génica**, permite modificar de manera precisa y direccionada el ADN que mediante un conjunto amplio de herramientas de ingeniería genética que. Todas ellas, con algunas diferencias, comienzan por producir un corte en el ADN —lugar que se quiere editar— con el objetivo de generar un efecto terapéutico buscado y/o avanzar en el conocimiento de las enfermedades. Aún si existen distintas técnicas de edición génica la más utilizada actualmente es la CRISPR/cas dada su mayor factibilidad técnica. Las principales áreas en salud humana con potencial aplicación de edición génica son²⁰:

- Enfermedades de origen genético. Con edición génica se puede reemplazar un gen defectuoso, suprimirlo, "apagarlo", e incluso regular la actividad epigenética.
- Tumores. Se destacan las terapias CAR-T, el área más activa y avanzada en edición génica a nivel mundial actualmente.
- Infecciones virales. A nivel internacional ya se están desarrollando terapias génicas para HPV y VIH.

¹⁹ En septiembre del 2014 Genzyme presentó una patente para integrar ambos segmentos (aguas arriba y aguas abajo) en un proceso continuo. Pfizer está avanzando en este mismo sentido.

²⁰ Información sobre la base de las "Jornadas de Edición Génica", Centro Cultural de la Ciencia, Buenos Aires, 4 de diciembre 2018.

- Vectores transmisores de infecciones. (Ej. modificar con CRISPR al mosquito del dengue para que no transmita la enfermedad).
- Modelos de enfermedad. La edición génica permite estudiar mejor el funcionamiento de las enfermedades, aún de las que no son de origen genético, lo que puede dar lugar a desarrollar nuevas terapias de diverso tipo.

La adopción de estas tecnologías abre oportunidades para los países en desarrollo, y en particular para aquellas regiones que cuentan con capacidades en genómica y bioinformática y/o con experiencia previa en la manufactura de biofármacos. La incorporación de nuevos procesos de manufactura continua o de “*single use*” implican altos costos de reconversión para las empresas instaladas que han invertido grandes sumas en proceso tradicionales en lotes. Por este motivo aquellas empresas con capacidad de financiamiento, o que han adoptado tempranamente tecnologías de manufactura continua en los procesos aguas arriba, como es el caso de algunas de las empresas de la provincia de Santa Fe, tienen mayores posibilidades (potencialidades) de convergencia con las nuevas técnicas de la Industria 4.0.

B. Buenas prácticas internacionales para la implementación de la manufactura avanzada en biofármacos

Los cambios mencionados en las carteras de proyectos biofarmacéuticos y la emergencia de la moderna manufactura implican cambios en las capacidades y en la organización de la producción dando lugar a un conjunto de “buenas prácticas” de la política industrial con impactos mayores en la localización, entre ellas:

Formación de fuerza de trabajo altamente especializada y con experiencia en manufactura. Las áreas de formación se han diversificado, por un lado, hacia formaciones en gestión (finanzas, planificación de recursos), y por el otro, se han borrado las líneas divisorias entre disciplinas de biología molecular y cultivos celulares. Si bien la necesidad de una interacción estrecha entre la I+D y la manufactura no es nueva, las nuevas complejidades en la manufactura requieren personal con capacidades de I+D. Las organizaciones han diseñado programas de formación en centros universitarios de biomanufactura para estudiantes y trabajadores.

Esta mayor demanda de fuerza de trabajo altamente calificada con conocimientos básicos y de manufactura se ha revelado como un cuello de botella para la expansión de las empresas, las que han llevado adelante programas para alimentar el pool de trabajadores calificados en plantas piloto. Este es el caso en los Estados Unidos y la creación en 2013 de una planta piloto en el Biomanufacturing Education & Training Center (BETC), entre el Worcester Polytechnic Institute (WPI), las empresas AbbVie y Biogen Idec, el Massachusetts Life Science Center (agencia cuasigubernamental) y otras empresas. BETC es operada por el WPI pero las empresas desarrollan la currícula y financian a los estudiantes.

Por su parte, en Irlanda, la radicación reciente de varias de las mayores empresas biofarmacéuticas del mundo torna central la formación de recursos humanos. Por iniciativa gubernamental se creó en 2011 el Instituto Nacional para Investigación y Entrenamiento en Bioprocesos (NIBRT por su nombre en inglés), conformado por una red de universidades e institutos tecnológicos. Cuenta con una planta piloto que abarca todo el bioproceso, desde el cultivo celular hasta la formulación final, y laboratorios de analítica. Brinda servicios de entrenamiento para personal de empresas biotecnológicas —más de 36 en 2018— y para estudiantes, además de llevar a cabo programas de investigación. Además posee un Centro de Excelencia en *Single Use Technologies* en colaboración con el proveedor de equipos GE Healthcare. Recientemente se asoció con la consultora Boston Consulting Group (BCG) y Takeda para la implementación de tecnologías 4.0 en biomanufactura —robótica avanzada, inteligencia artificial y realidad aumentada—, con un sitio de “demostración digital” en las instalaciones del NIBRT para manufactura, control de calidad, aseguramiento de calidad y operaciones

*cross plant*²¹. A pesar del menor tamaño relativo en términos de recursos e instalaciones en relación con iniciativas similares en los Estados Unidos, Reino Unido y Alemania, el NIBRT se ha convertido en un referente internacional de buenas de prácticas en entrenamiento para bioprocesos, y ha realizado acuerdos de colaboración para la instalación de nuevas plantas piloto en otros países, como el caso del Jefferson Institute for bioprocessing, en Filadelfia, Estados Unidos.

Colaboraciones con Institutos de Ingeniería. A medida que los nuevos desarrollos pasan de la fase de I+D al escalamiento, éste cobra mayor importancia en la carrera competitiva entre grandes empresas farmacéuticas. Por ello las firmas se apoyan en forma creciente en la colaboración con institutos de ingeniería, en forma similar a las colaboraciones con instituciones médicas que ya se realizan desde hace décadas. Las colaboraciones se realizan entre empresas biofarmacéuticas con capacidades de bioproceso, empresas fabricantes de dispositivos médicos y de diagnóstico, empresas de equipamiento, e instituciones académicas para trabajar colaborativamente en innovación en la manufactura. Cabe destacar que la manufactura continua ha sido el punto focal de al menos dos de estas colaboraciones.

En 2012, la colaboración entre Novartis y el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, en su sigla en inglés) con financiamiento por 40 millones de U\$D durante dos años por parte de esta gran multinacional, permitió completar una línea de producción experimental completamente continua²². Una vez finalizado el desarrollo inicial del proceso, Novartis lo relocizó en su casa matriz. Desde ese momento, los investigadores del MIT continúan sus líneas de investigación para mejorar la capacidad de reactores continuos y otras herramientas en aguas abajo (Deloitte, 2018).

Asimismo, en 2013, la firma Janssen, la National Science Foundation, la Universidad de Rutgers, Purdue University, el New Jersey Institute of technology y otras organizaciones completaron una línea de tableteado continuo para drogas para el HIV.

Vinculaciones con productores de equipamiento. Con la importancia creciente del escalado a la manufactura, el aprendizaje por interacción con los fabricantes en el desarrollo de nuevo equipamiento asume una centralidad, muchas veces negada en la literatura y en las recomendaciones de política tecnológica. En 2014, Pfizer con un fabricante de equipo de California, Jacobs Engineering, desarrolló un sistema de procesamiento modular, que integra equipamiento modular, sistemas de control automatizados y tecnologías de un solo uso (single use). También impulsó la colaboración con dos empresas de ingeniería, GEA Pharma Systems y G-CON Manufacturing para el desarrollo de equipamiento de manufactura portables (PODs), de fácil desplazamiento, con capacidad de producción en lotes chicos, rápido escalado y manufactura en regiones sin altos requerimiento de capital.

También existen asociaciones entre proveedores de equipamiento como la colaboración de GE Healthcare y Rockwell Automation para integrar la tecnología *single use* con la automatización de bioprocesos mejorando la reproducibilidad, repetibilidad y cumplimiento, la digitalización de la información de los lotes y la entrega de instrucciones a trabajadores mediante realidad aumentada²³. Por su parte, la nueva oleada biotecnológica de edición génica, en particular a partir de las terapias celulares pareciera reforzar la necesidad de interacción con proveedores de equipos. En estas terapias las células de un paciente forman un lote: las células extraídas de la sangre del paciente se purifican, se modifican genéticamente y se cultivan en un biorreactor, luego se concentran, se verifica su calidad y se inyectan de nuevo en el paciente, por lo cual se presenta el desafío de lograr un margen de error prácticamente nulo en el proceso de manufactura. GE Healthcare, al conectar varios dispositivos de procesamiento celular y digitalizar los datos recopilados de sus instrumentos, pudo desarrollar una

²¹ Boston Consulting Group and NIBRT announce the Biopharma 4.0 Alliance.

²² La reducción en el tiempo de producción para producir un lote de tabletas de 300 horas a 47 horas.

²³ GE Healthcare and Rockwell Automation Collaborate to Drive the Next Generation of Bioprocessing Automation.

solución para un socio dedicado a terapias celulares en Toronto. Esto ayudó a crear una conexión física y digital entre los sistemas operacionales e informáticos, con el fin de generar un panel de monitoreo en tiempo real.

Cambios en la localización. Todos estos cambios se están traduciendo en la búsqueda por parte de los grandes grupos globales de aquellos ecosistemas de innovación con mayor proximidad a la manufactura. La localización en los Estados Unidos presenta una ventaja mayor: las firmas encuentran la posibilidad de comunicación “cara a cara” entre los departamentos de I+D y la manufactura, además del hecho de que los Estados Unidos tienen la mayor producción científica y desarrollo de ramas especializadas de capital financiero en áreas afines a la biotecnología). Adicionalmente, los Estados Unidos ha desarrollado los polos de fuerza de trabajo específica más importantes a nivel mundial (especialmente en Carolina del Norte, Massachusetts y California). En tercer lugar, los cambios en los portafolios de drogas, en particular la expansión de producciones de bajo volumen, atenta contra la deslocalización de la manufactura teniendo en cuenta los altos costos de transferencia a nivel internacional para este tipo de producciones.

Carolina del Norte (Estados Unidos) es uno de los casos de *clusters* más grandes y maduros en las denominadas “ciencia de la vida”, en el que se combina este conjunto de buenas prácticas, y se localizan las principales empresas globales (Biogen, Merck, Pfizer, entre otras) con un *pool* de fuerza de trabajo de 63.000 empleados altamente calificados. Se trata del primer sector manufacturero de biológicos de los Estados Unidos (y del mundo), el tercero en producción farmacéutica y alberga a más 600 empresas de ciencia de la vida. Sus ventajas más notorias son su fuerza de trabajo calificada y las políticas de apoyo a la industria. En respuesta a los desafíos del escalado hacia la manufactura y la necesidad de innovación en procesos, Carolina del Norte ha creado recientemente una planta piloto, el Golden LEAF Biomanufacturing Training & Education Center (BTEC), con la Universidad del Estado de Carolina del Norte y otras organizaciones creadas en 2007 (Deloitte, 2018).

Estas buenas prácticas en materia de política industrial y tecnológica plantean serios límites para la inserción en cadenas globales de valor de I+D y manufactura por parte de las regiones de los países en desarrollo. No obstante, surgen oportunidades para aquellos países con esquemas regulatorios que favorecen la producción local, y en particular para regiones con experiencia en la manufactura que busquen ingresar en los mercados biofarmacéuticos. No son muchas las regiones fuera de los países desarrollados que han incorporado nuevos procesos de manufactura continuos, predominando la producción en lotes cuya reconversión implica altos costos para empresas instaladas que han invertido grandes sumas (y/o no cuentan con la escala mínima para llevar adelante la sustitución de las técnicas). Por ese motivo, se abren oportunidades para aquellas empresas con capacidad de financiamiento, o que han adoptado tempranamente tecnologías de manufactura continua, como es el caso de empresas que se encuentran localizadas en la ciudad de Santa Fe.

Recuadro 4

Trayectorias sectoriales tecnológicas en la industria biofarmacéutica en la Argentina

A partir de los resultados de una encuesta a firmas biofarmacéuticas argentinas, Lavarello y otros (2018), identifican distintos patrones de innovación de las firmas asociados a diferentes estrategias, capacidades biotecnológicas, formas de organización de la cadena de valor y tipo de capital que se sintetizan en el cuadro 5 y se desarrollan a continuación. En tres de las cuatro estrategias de innovación identificadas, hay presencia de firmas biotecnológicas de la provincia de Santa Fe.

En las estrategias de formulación a partir de principios activos (API en su sigla en inglés), importados llevadas adelante por filiales de empresas multinacionales y farmacéuticas nacionales, predominan los aprendizajes organizativos y regulatorios más que los tecnológicos. La actividad innovativa es simple, sin mayores barreras regulatorias, se focaliza en los estudios analíticos y en el control de calidad. Estas empresas se localizan principalmente en CABA y Provincia de Buenos Aires, no registrándose firmas localizadas en Santa Fe que formulen productos biotecnológicos a partir de principios activos importados.

Más allá de los casos de firmas que se especializan en la formulación, existe en la Argentina un reducido conjunto de empresas, una de ellas un grupo nacional con laboratorios y una planta en Santa Fe, que adoptan una estrategia imitativa de producto y realizan esfuerzos innovativos en el desarrollo del proceso y en el escalado hacia la manufactura de una droga existente. Dados los requisitos regulatorios y la complejidad de la molécula, se requiere recrear no solo el proceso sino también la molécula original. Coexisten empresas independientes y subsidiarias de grupos nacionales que llevan adelante esta estrategia. Este es el único caso en el que las barreras regulatorias ya no son el principal límite para la inserción en el mercado de biotecnológicos dado que ya han alcanzado un umbral en capacidades analíticas y de clínica como para llevar adelante desarrollos imitativos en ese espacio estratégico, en gran parte asociado a aprendizajes por interacción en el marco de redes nacionales e internacionales.

Por su parte, otras firmas han desarrollado estrategias innovativas basadas en productos de nicho que no implican grandes costos de desarrollo, ni clínicos debido a las menores barreras regulatorias que enfrentan. Generalmente estos nichos se orientan al segmento de Diagnósticos in Vitro (DIV) con moléculas (o antígenos) existentes que se utilizan para pruebas de diagnóstico. Estas empresas tienen presencia en la Ciudad de Buenos Aires y en la provincia de Santa Fe.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5
Industria biofarmacéutica: estrategias y trayectorias tecnológicas

Estrategia	Tipo de Capital	Capacidades en las empresas (Áreas de conocimiento biotecnológico)	Forma de organización	Aprendizaje en la red	Localización
Formulación	Independientes, Filial EMN	Analítica y Control de calidad	Licencia internacional y nacional	Aprendizaje Regulatorio/clínica	CABA, Buenos Aires
Imitación Creativa (biosimilares)	Subsidiarias GGNN, Independientes	Analítica y Manufactura (ADN, Cultivos celulares y Bioproceso)	Red Nacional e internacional	Aprendizaje Regulatorio/clínica	CABA, Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe
Nicho (test diagnóstico, DIV)	Independientes	I+D, analítica, manufactura y formulación (Cultivo celular y bioproceso)	Red Nacional	Aprendizaje en I+D	CABA y Santa Fe
Plataforma de I+D	Independientes	I+D (ADN recombinante y Bioinformática)	Integrada verticalmente y redes internacionales	Aprendizaje en Regulatorio/clínica	CABA, Córdoba y Santa Fe

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los resultados de la encuesta efectuada a empresas biotecnológicas argentinas en el sector salud 2015. Proyecto CEUR- FONCyT "Estrategias empresariales frente a la revolución biotecnológica: el caso de la industria biofarmacéutica en Argentina".

Nota: EMN: Empresa Multinacional; GGNN: Grandes Grupos Nacionales.

Por último, se encuentran empresas con capacidades en I+D que llevan adelante **estrategias de plataformas de servicios tecnológicos**, adoptadas por otras firmas con competencias biotecnológicas en I+D o escalado (por ejemplo, plataforma para desarrollar levaduras que puedan ser utilizadas en distintos cultivos celulares) o servicios a pacientes para el diagnóstico y tratamiento personalizado. A diferencia de los casos previos, las capacidades biotecnológicas se han orientado más hacia la I+D con un mayor peso de conocimientos en técnicas de ADN recombinante y bioinformática, en el caso de las plataformas de servicios, y mayor peso de los conocimientos en bioproceso y cultivos celulares en las estrategias de nicho innovador.

C. Estructura del sector biofarmacéutico en la provincia de Santa Fe y principales trayectorias tecnológicas

La provincia de Santa Fe ocupa un lugar relevante dentro del sector biofarmacéutico del país, así como en sus dinámicas innovativas y de inserción en los mercados mundiales. Las empresas con presencia en la provincia son representativas de las principales trayectorias tecnológicas identificadas a nivel nacional (recuadro 4), observándose un proceso de reconfiguración organizativa y tecnológica resultante de las nuevas condiciones competitivas imperantes en los mercados nacional y global.

1. Estructura y evolución del sector biofarmacéutico en Santa Fe

La provincia de Santa Fe es el tercer distrito en cantidad de empresas de biotecnología para salud humana, detrás de la Ciudad de Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires (Gran Buenos Aires) (Gutman, 2018). Siguiendo a Lavarello y Gutman (2018) y en base de datos del CEUR, para 2018 había unas ocho empresas de este sector en Santa Fe, 12% del total relevado en el país, y a su vez seis nuevas empresas biofarmacéuticas (NEB), lo que representa el 20% del total nacional (ver cuadros 6 y 7).

Cuadro 6
Empresas biofarmacéuticas en la Argentina, por tipo de empresa y provincia, 2018

	Cantidad empresas 2018	Provincia		
		CABA + Prov. Bs. As.	Santa Fe	Otras
NEB	32	20	8	1
EEB	7	6	1	3
EFD	10	10	0	0
SGN	8	7	1	0
ETN	11	11	0	0
LP	1	0	0	1
Total	69	54	10	5

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos CEUR de empresas biotecnológicas argentinas.

Nota: (1) NEB nueva empresa biotecnológica; EEB: Empresa Especializada Biotecnológica; EFD: Empresa Farmacéutica Diversificada; SGN Subsidiaria Grupo Nacional; ETN Empresa Transnacional; LP Laboratorio público.

Las dos regiones con mayor presencia del sector son la Ciudad de Santa Fe²⁴ y el área de Rosario. Estas dos ciudades concentran la mayoría de las instituciones que cuentan con proyectos en biotecnología, y no sólo en el área de salud humana, sino también en sanidad animal y en aplicaciones a la agricultura (Stubrin, 2012).

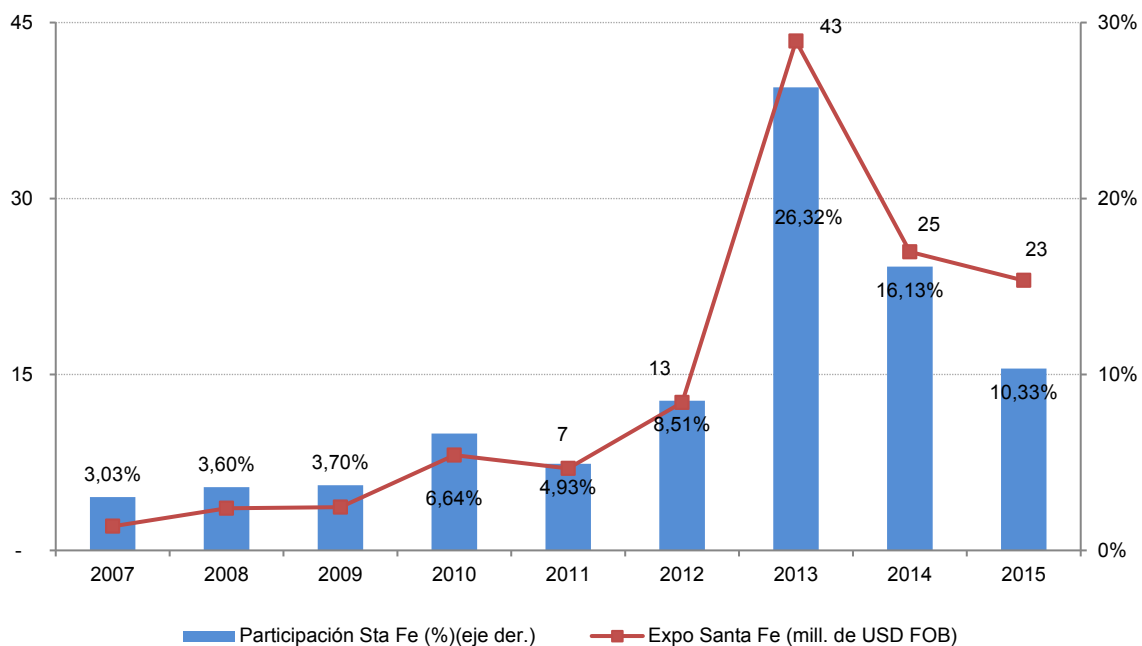
En particular, en la ciudad de Santa Fe está localizada Zelltek, empresa especializada en biotecnología (EEB) que fue pionera en la articulación público-privada del sector, a partir de su incubación en el Laboratorio de Cultivos Celulares de la Universidad Nacional del Litoral (LCC-UNL) (Gutman, 2018). Actualmente, esta empresa forma parte de uno de los tres grupos biofarmacéuticos más importantes del país, AMEGA Biotech, donde produce y exporta APIs biosimilares de primera generación y cuenta con proyectos de inserción en biosimilares de segunda generación con una estrategia de entrada secuencial, como se detallará más adelante. Esta empresa tiene plantas productivas en el Parque Tecnológico Litoral

²⁴ Santa Fe Capital también podría incluirse en una región que comprenda a Paraná (Entre Ríos) en vistas de los vínculos que existen entre instituciones públicas—UNL, UNER, Conicet, PTLC—, y empresas y recursos humanos vinculados al sector biofarmacéutico y biomédico.

Centro (PTLC-Sapem), iniciativa radicada en el barrio El Pozo (Santa Fe) que apoya el surgimiento de empresas de base tecnológica en sus diferentes etapas. Este parque opera como una sociedad con mayoría estatal y está integrado por el gobierno provincial de Santa Fe, los municipios de Santa Fe y Paraná (ER), la UNL y el CONICET, y por cámaras empresarias de Santa Fe. Nueve de las diecinueve firmas del parque están relacionadas con el área de salud humana (Gutman, 2018).

Rosario, por su parte, es el mayor centro de desarrollo de biotecnología en la provincia si se lo mide en cantidad de investigadores y proyectos, pero, en contraste con lo observado en la ciudad de Santa Fe, las investigaciones en agronomía tienen un mayor peso relativo que las de salud humana. En esta ciudad se encuentra una empresa especializada en biotecnología, Laboratorios Wiener, que se especializa en el nicho de los diagnósticos in vitro a través del desarrollo de una plataforma tecnológica que integra capacidades en biotecnología, software y hardware, y que ha logrado insertarse en los mercados mundiales como exportadora. La ciudad cuenta con una importante infraestructura de ciencia y tecnología, donde se destacan para el caso de la biotecnología la Universidad Nacional de Rosario (UNR), el Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR) —de doble pertenencia, UNR y CONICET—, y más recientemente el Polo Tecnológico de Rosario, con participación pública y privada. Esta infraestructura permitió, bajo la coordinación Grupo Nacional (BIOCERES), que lidera la empresa INDEAR, el desarrollo en Rosario de una plataforma en genómica avanzada con una nueva empresa biotecnológica, especializada en diagnóstico genético y diagnóstico para medicina de precisión.

Gráfico 18
Exportaciones de productos biotecnológicos para salud,
total Santa Fe y participación en total país, 2007-2015



Fuente: Estimación propia sobre la base de datos de Aduana.

Como se mencionó, algunas de las empresas de la provincia lograron insertarse exitosamente como exportadoras, pasando de exportar productos biotecnológicos por dos millones de dólares en 2007 a más de 23 millones en 2015, como muestra el gráfico 18. A su vez, la participación de la provincia en el total nacional de exportaciones biofarmacéuticas pasó de 3% a más del 10% en el período 2007-2015.

2. Principales actores dinamizadores de la trama local

La relevancia de Santa Fe en la industria biofarmacéutica nacional se observa también en que fue el segundo distrito con mayor captación de fondos nacionales de ciencia y tecnología destinados a empresas con proyectos en el área de biotecnología para salud humana. Entre 2008 y 2016 las empresas radicadas en Santa Fe absorbieron el 16% de los fondos destinados por el entonces MinCyT para proyectos en Biosalud Humana²⁵. Se destacan dos importantes proyectos financiados por FONARSEC (Fondos Tecnológicos Sectoriales) entre 2010 y 2015: i) 6,7 millones de dólares del Fondo para Biotecnología con el fin de desarrollar una plataforma tecnológica para la elaboración de proteínas recombinantes de alto peso molecular, adjudicado a un consorcio entre la UNL y Zelltek, y ii) por otro lado 4 millones de dólares del fondo de nanotecnología para desarrollar bio-nano transportadores inteligentes para fármacos, asignado a un consorcio entre la UNL, Zelltek y Eriochem, una empresa farmacéutica nacional de Paraná (Lavarello, Gutman y Stulkwark, 2018).

Cuadro 7
Empresas biotecnológicas en la provincia de Santa Fe

Empresa	Clasificación (1)	Tipo de Productos	Actividades Biotecnológicas	Localización (2)
Wiener Laboratorios SAIC	EEB	DIV	I+D	Rosario
Zelltek (Amega Biotech)	SGN ^a	Terapéuticos	I+D, Producción IFAs	Ciudad de Santa Fe (PTLC y Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la UNL)
Lipomize	NEB	Otros	I+D	Ciudad de Santa Fe (PTLC)
HORIAN - CARBONFE SRL - CONICET	NEB	Otros	I+D	Ciudad de Santa Fe (PTLC)
Heritas	NEB	Otros	I+D	Rosario
Phylum Tech	NEB	Otros	I+D	Sunchales
Alytix	NEB	Terapéuticos	I+D	Ciudad de Santa Fe (PTLC)
RadBio	NEB	Terapéuticos	I+D	Sunchales
Laboratorio Industrial Farmacéutico	LP	Terapéuticos	Formulación de medicamentos	Ciudad de Santa Fe
Terragene	NEB	Otros	I+D, Formulación de reactivos	Alvear

Fuente: Elaboración propia a partir de base datos CEUR y de información del Parque Tecnológico del Litoral Centro, PTLC.

^a Amega Biotech está bajo control del *holding* multinacional Mega Pharma. En 2018 el grupo nacional Roemmers vendió su participación (50% del paquete accionario), y el holding pasó a estar controlado por capitales alemanes.

Notas: (1) NEB nueva empresa biotecnológica; EEB: Empresa Especializada Biotecnológica; SGN Subsidiaria Grupo Nacional; LP Laboratorio público. (2) PTLC: Parque Tecnológico Litoral Centro.

²⁵ De acuerdo con datos elaborados por el Centro de Estudios Urbanos y Regionales, CONICET, a partir de la información publicada por el Sistema de Información de Ciencia y Tecnología Argentino, MINCyT.

Adicionalmente a este conjunto de empresas biotecnológicas, se encuentra incubada en el PTLC, Plexar Technologies, una empresa proveedora especializada dedicada a la evaluación de procesos productivos e implementación de maquinaria automatizada y robótica en diversos sectores industriales, incluido el biofarmacéutico.

3. Trayectorias tecnológicas biofarmacéuticas en Santa Fe

Entre las empresas biotecnológicas que operan en la provincia de Santa Fe se han podido identificar tres trayectorias tecnológicas principales y una cuarta trayectoria latente que presentan potencial de convergencia con la I4.0²⁶. **La primera de ellas es la trayectoria de entrada secuencial desde biosimilares de primera a segunda generación.** Representa aquellas empresas que partieron de una inserción en mercados internacionales de biosimilares de primera generación entre los noventa y los 2000, y luego fueron ascendiendo en el tipo de productos y procesos hacia aquellos más complejos de segunda generación. Es el caso de Zelltek, controlada por una asociación entre inversores internacionales y un *holding* farmacéutico nacional, la cual ha buscado avanzar desde el desarrollo de biosimilares de primera generación a biosimilares más complejos de segunda generación. En una primera etapa se trató de una estrategia que integra todas las etapas de la cadena de valor desde la I+D, y la analítica hasta la manufactura del ingrediente farmacéutico activo (API, en su sigla en inglés). Desde el punto de vista de las técnicas de producción, la empresa desarrolló en Santa Fe una planta de bioproceso en continuo con instalaciones de acero inoxidable de baja-media escala con importantes aprendizajes de proceso (medios de cultivos, sondas, software sobre el fermentador). Esta estrategia se basó en la vinculación con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial en la etapa de escalado a manufactura, la articulación de largo plazo con institutos de I+D universitarios con capacidades en cultivos, y la adquisición (con participación mayoritaria) de diferentes start ups biotecnológicas especializadas. Se trata de un caso en el que la centralización empresaria posibilitó altos grados de integración de las actividades de I+D.

Este grupo empresario logró la aprobación de un biosimilar de segunda generación —Etenarcep— en la Argentina y espera obtenerlo en otros países de Latinoamérica. En el marco de cambios organizacionales, con la salida del socio nacional, el grupo se encuentra en una etapa de reformulación de su estrategia tecnológica y de reconfiguración de las etapas de I+D. Esta reorientación de su estrategia está vinculada a los crecientes requisitos regulatorios y tiempos para el desarrollo de clones de moléculas complejas. Por su parte, la plataforma de producción desarrollada para el Etenarcep permitirá realizar el bioproceso de futuros biosimilares de anticuerpos monoclonales (AMC).

La segunda trayectoria corresponde a la plataforma de servicios a partir de Genómica. Este es el caso de Heritas, una empresa de base tecnológica (EBT), que surge como desprendimiento de un consorcio público-privado a partir del financiamiento del programa "Plataformas Tecnológicas" del MINCYT. Actualmente es controlada por un Grupo Nacional de biotecnología con sede en Rosario (Bioceres)²⁷. El objetivo inicial de la plataforma era brindar servicios de genómica de alto rendimiento y última tecnología de aplicación en las áreas de salud, agropecuaria, agroindustria y medioambiente integrando las capacidades científico-tecnológicas complementarias de los diferentes miembros del consorcio. Con el financiamiento original del MINCYT se adquirió secuenciadores genéticos de distintas capacidades (15, 250 y 500 gigabytes) que permiten secuenciar desde fracciones de genoma hasta el genoma humano completo, cubriendo toda una gama de diagnósticos genéticos desde enfermedades simples que requieren analizar ocho genes (un cáncer de mama) a enfermedades altamente complejas

²⁶ Las trayectorias aquí desarrolladas se basan en Lavarello y Gutman, 2018.

²⁷ El Consorcio Argentino de Tecnología Genómica (CATG) es una asociación ad-hoc que se funda en 2013 a partir de la reunión de capacidades instaladas en el Instituto de Agrobiotecnología Rosario (INDEAR-CONICET), la Fundación Instituto Leloir (FIL) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ha contado con la financiación para proyectos de plataformas tecnológicas (PPL) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina.

(20.000 genes). La empresa cuenta con recursos humanos altamente calificados en genómica, financiados por el programa de Doctores en empresa de CONICET.

La tecnología de secuenciación se encuentra incorporada en el equipamiento de la empresa líder en estos equipos a nivel mundial, que también provee los reactivos y el acceso a la nube en donde se centralizan los datos. Frente a la necesidad de cubrir los altos costos de mantenimiento que requiere el equipamiento adquirido con el financiamiento inicial, la plataforma se especializa en el diagnóstico genético o de medicina de precisión para enfermedades poco frecuentes (cardiopatías heredables, cáncer hereditario, estudios prenatales poco invasivos). Para ello establecieron un *joint venture* con un laboratorio clínico de Rosario (CIBIC) con capacidades en la prestación de servicios de diagnóstico clínico a médicos. Los principales clientes de esta plataforma de genómica para salud humana son las obras sociales privadas (OSDE, Swiss Medical, otras) y clientes privados de altos ingresos. El *joint venture* inicial se basaba en una división del trabajo aprovechando las complementariedades de cada uno de los miembros y a partir de 2018 se integran en la misma firma, Heritas con 20 empleados que incluyen distintas capacidades (biotecnologías, genetistas, científicos de datos).

La tercera de las trayectorias corresponde a la estrategia de nicho, basada en diagnósticos in vitro. Se trata de Wiener, una empresa mediana localizada en Rosario que inicia su actividad en la Argentina en los sesenta. Atiende distintos segmentos que van desde los diagnósticos de análisis clínicos, los endocrinológicos y los de enfermedades infecciosas. Sus actividades incluyen el desarrollo de antígenos a partir de péptidos de síntesis, péptidos biológicos ADN_r, anticuerpos monoclonales y policlonales. En todos los casos se requiere el uso de técnicas biotecnológicas. La plataforma tecnológica se basa en la provisión en comodato (luego completada con integración de la producción) de los equipos para análisis clínicos a partir de los cuales se garantiza la fidelidad. Se trata de equipos semiautomáticos (50 determinaciones/ hora) y automático (400 determinaciones/ hora) que incluyen el desarrollo del hardware y del software y requieren capacidades en optoelectrónica, digitalización de equipamiento y robótica. A diferencia de los otros casos, esta trayectoria ha buscado desde 2015 mayor autonomía tecnológica. Esto incluye la integración vertical "lateral" de la empresa de producción de hardware, la sustitución de importaciones de principios activos biotecnológicos²⁸ y la expansión al Brasil adquiriendo una planta de producción de Reactivos en San Pablo. A partir de estas adquisiciones fueron avanzando hacia una convergencia organizacional y tecnológica, integrando hardware, software y biotecnología.

Como se mencionó, existe una cuarta trayectoria potencial que contempla articular la experiencia en bioprocesos con la política de producción pública de medicamentos. Dicha trayectoria se basa en una **estrategia potencial de entrada tardía en biosimilares de primera generación impulsada por el Estado.** Se trata del LIF, un laboratorio público provincial con 70 años de trayectoria en la producción de medicamentos de síntesis química fina, que cuenta con una importante articulación con el sistema de salud de la provincia de Santa Fe, siendo el principal proveedor de medicamentos de atención primaria, y un importante proveedor de la obra social provincial. Además participa del programa nacional Remediar y de licitaciones tanto en el ámbito provincial como nacional. Entre 2012 y 2015 realizó un estudio de factibilidad productiva y financiera para la producción pública de biosimilares de primera generación (Eritropoyetina alfa, Interferón y Filgrastim) (Blas Torales y otros, 2015). La evaluación del proyecto contemplaba una asociación productiva entre el laboratorio público y la empresa Zelltek. Esta empresa se encargaría de la producción del API y de la formulación final en sus instalaciones del Parque Tecnológico Litoral Centro, y el LIF se ocuparía del envasado —lo cual requería invertir en una línea de empaquetado nueva—, la realización de estudios clínicos de fases II, y III, la farmacovigilancia, y la comercialización en el sistema provincial de salud con marca propia. A pesar de

²⁸ Se trata del desarrollo y fabricación de proteínas recombinantes muy específicas que entran en los kits. Las que utilizaban previamente eran importadas porque no se producen localmente: antígeno de HIV, hepatitis, sífilis. Estos son insumos críticos que la firma requiere en dosis muy pequeñas vis a vis los usos terapéuticos, y que los proveedores no abastecen con la calidad o continuidad afectando al kit.

que esta iniciativa no llegó a avanzar más allá de la etapa de concepción del proyecto, permite dar cuenta de la factibilidad de un programa de producción pública, en principio de biosimilares de Eritropoyetina y Filgrastim, de alcance nacional y con tasas de sustitución mayores al 30% de medicamentos importados por biosimilares de producción local.

Si bien, el LIF no desarrolla medicamentos biotecnológicos, cuenta con una activa estrategia de ampliación de su vademécum de síntesis química mediante acuerdos con laboratorios privados de todo el país, y con acuerdos de I+D y trabajos conjuntos con universidades nacionales de la provincia de Santa Fe (UNR y UNL) y otros laboratorios públicos como el Laboratorio de Especialidades Médicas (LEM) de Rosario y el Laboratorio de Hemoderivados de Córdoba (Hemoderivados-UNC).

En resumen, si bien la industria biofarmacéutica de Santa Fe cuenta con un reducido número de empresas comparativamente a Buenos Aires y CABA, se caracteriza por la presencia en las ciudades de Santa Fe y de Rosario de tres de los principales casos de gravitación nacional en materia de capacidades de I+D y manufactura, adopción de nuevas oleadas de genómica y posibilidades de convergencia entre biotecnología e Industria 4.0 en materia de diagnósticos *in vitro*.

E. Grado de adopción de las tecnologías 4.0 en la trama local

1. Adopción de paquete tecnológico de *Big Data*, computación en la nube y genómica a partir de plataforma de servicios

A partir de los datos generados en secuenciadores de ADN se aplican técnicas de grandes datos (*Big Data*) e inteligencia artificial (IA) que permiten resumir y hacer inteligible la información. Luego, esta información es analizada a partir de bioinformática; y en colaboración con médicos genetistas se producen diagnósticos personalizados. La incorporación del *Big Data* plantea cambios sobre la heurística en la solución de problemas, basada en la inferencia. En la trayectoria local la analítica de grandes datos es adoptada parcialmente para resumir la información en patrones, que luego se sistematiza a partir de métodos analíticos de la biotecnología. Los datos generados son resguardados en servicios de nube contratados por la empresa (*hot storage*) y en la nube del proveedor internacional de la tecnología de secuenciación (*cold storage*), en servidores que cumplen estándares de seguridad.

Esta trayectoria tecnológica presenta dos desafíos. Por un lado, afrontar los requerimientos de equipamiento importado de alto costo y rápida obsolescencia tecnológica, y por el otro, la poca digitalización de las historias clínicas de los pacientes y los riesgos que ello implicaría desde la perspectiva de la seguridad de los datos, ya que se trata no solo de los datos de la genómica, sino de la incorporación de la genómica al contexto general del paciente. El verdadero valor de la genómica emergerá en su integración con la historia clínica de los pacientes²⁹. Esta es un área de intervención de política pública³⁰.

²⁹ En la Argentina la mayoría de los centros de salud no cuentan con historias clínicas digitalizadas. En el Hospital Alemán no hay historia clínica estructurada, en el Hospital Británico adoptaron el estándar SAP para la gestión, pero no adhieren a ningún estándar para historias clínicas. El Hospital Italiano es el único que adhiere a un estándar internacional.

³⁰ Aún en países desarrollados no se logra avanzar en este aspecto a raíz de la competencia entre estándares de facto. Por ejemplo, en los Estados Unidos coexisten siete estándares que se deben cumplir para la historia clínica electrónica.

2. Convergencia e integración de tecnologías preexistentes en Industria 4.0 a partir de plataformas de diagnósticos in vitro

A partir de su plataforma convergente de biotecnología, hardware y software esta trayectoria ha avanzado en la adopción de nuevas tecnologías asociadas a la denominada Industria 4.0: i) Analítica de Grandes Datos, a partir de sus equipos y laboratorios de análisis clínicos vinculados, centralizando información de las muestras que obtienen de sus equipos; ii) *Machine Learning*: en el caso de análisis aún simples, como los de eritrosedimentación³¹, entrenan un equipo para que aprenda sobre la base de los datos de 10.000 muestras que comparan contra un equipo de referencia; iii) IoT: evalúan avanzar en que todos los equipos interactúen en la comparación de patrones y aprendizajes; iv) Servicios de Nube: aun en fases iniciales, por el momento proveen a los usuarios de análisis de sus trayectorias previas de datos, a partir de la contratación de Amazon Web Services; v) edición génica, si bien no la utilizan en los kits de ADN para detectar mutaciones genómicas, uno de ellos desarrollados con CONICET y otro con Hospital Garrahan, la utilizan para la producción de sus propios constructos de ADN para expresar las proteínas.

3. Adopción parcial de herramientas 4.0 y manufactura avanzada en el marco del bioprocesamiento en continuo

El grado de adopción de la Industria 4.0 en bioprocesamiento en Santa Fe es todavía bajo, tanto en instituciones de ciencia y tecnología como en empresas. Sin embargo, hay componentes de estas tecnologías y algunos sistemas tecnológicos 4.0 que son considerados en la trama local. En el Laboratorio de Cultivos Celulares (LCC-UNL) existen líneas de investigación vinculadas a bioprocesos que estudian las Nuevas Herramientas de Analítica de Proceso (PAT, por su denominación en inglés), cuya implementación tiene el potencial de integrar en tiempo real la conexión continua de sensores y dispositivos para monitorear y controlar el proceso productivo, y generar modelos predictivos. A nivel de las empresas, (como en el caso de Zelltek) aún no se implementan estas técnicas porque existen limitantes asociados con el equipamiento para realizar *test* analíticos en forma continua, por ejemplo a través de sondas en los fermentadores. Eventualmente, estas tecnologías permitirían optimizar los cultivos, detectando los parámetros asociados a mayor producción de la proteína deseada, y mejorar la homogeneidad y calidad del producto, con su correlato en términos de eficacia y seguridad.

En relación con el tipo de sistema para bioprocesamiento, existe en la principal empresa biotecnológica de la provincia una dependencia de sendero asociada a la adopción del sistema continuo aguas arriba. Esto permite obtener un elevado volumen de producción con un biorreactor más chico, en un lapso más prolongado. Usan las técnicas de lotes (*batch*) en otras etapas del proceso como aguas abajo y en la etapa de escalado, previa a la entrada al fermentador, donde también se utilizan sistema *single use*. En cuanto a los proveedores de estas tecnologías, los fermentadores y los equipos de cromatografía son de proveedores internacionales. Existe una fluida relación con estos proveedores internacionales, que involucra viajes del personal de la empresa local a la sede del proveedor, y visita de los proveedores durante la etapa de instalación de los equipos.

F. Articulación con el sistema de CyT local, provincial y nacional, público y privado

Santa Fe cuenta con importantes instituciones de CyT que sustentan el desarrollo de la producción biotecnológica en salud humana en la provincia, entre las que se destacan el Parque Tecnológico del Litoral Centro (PTLC) y el Laboratorio de Cultivos Celulares (LCC) de la Universidad Nacional del Litoral

³¹ Se trata de una técnica madura pero aún vigente que es un primer paso hacia la convergencia con técnicas que utilizan antígenos más complejos. Mide cuánto sedimentan los glóbulos rojos en una pipeta larga y fina después de una hora. Desarrollaron un equipo en el que el tubo es el de extracción y entrenan a un equipo en *machine learning*.

(UNL). Complementariamente, en la provincia funciona el Polo Tecnológico de Rosario, un emprendimiento público/privado de apoyo a la generación de capacidades tecnológicas empresariales, que si bien agrupa mayoritariamente a empresas de software también cuenta con algunas empresas biotecnológicas en salud humana. El entramado institucional de CyT, involucra otras universidades generadoras de conocimientos científicos en áreas asociadas a la biotecnología, como la Universidad Nacional de Rosario (UNR) y la Universidad Nacional de Rafaela (UNRAF). Tal es el caso del Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR CONICET/UNR) y otros institutos universitarios de investigación en disciplinas científicas conexas como el Instituto de Química de Rosario (IQUIR) y el Instituto de Ciencias Médicas (IFISE).

Este conjunto de instituciones y organismos de CyT participan del Consejo Económico provincial de Biotecnología, (creado en 2009) junto con empresas del sector. El Consejo se erigió como espacio público-privado de intercambio, para colaborar en la definición e implementación de estrategias y políticas orientadas al sector de biotecnología y articular las acciones del Estado, las universidades y el sector privado. Cabe señalar que este espacio puede constituirse en un importante impulso para la creación y consolidación de los entramados biotecnológicos locales.

1. Parque Tecnológico del Litoral Centro (PTLC-SAPEM)

Este Parque apoya el surgimiento de empresas de base tecnológica en sus diferentes etapas (preincubación, incubación, preradicación y radicación). Desde 2002, opera como sociedad anónima con participación mayoritaria del Estado (SAPEM). Está integrado por sectores científicos y académicos provinciales y nacionales (UNL, CONICET), por el sector público (Gobierno de la Provincia de Santa Fe, Municipalidades de la ciudad de Santa Fe y de Paraná-Entre Ríos) y por cámaras empresariales de Santa Fe (Confederación General Económica, Confederación General de la Industria). La creación del parque dio un impulso adicional a la instalación de empresas de base científica y a la presencia de empresas biotecnológicas en la ciudad, ofreciendo infraestructura edilicia (laboratorios, gabinetes, oficinas), servicios técnicos (asistencia técnica en áreas jurídicas, contables, financieras, de ventas y mercado), servicios de gestión y gerencia, de identificación de proyectos de I+D, y de transferencia tecnológica, a la vez que promovió la comunicación entre distintas empresas de base tecnológica. Al mismo tiempo, al operar como una unidad de vinculación tecnológica, el parque facilita a las firmas el acceso al financiamiento del Estado local, provincial y nacional, contando éstas con un acceso privilegiado a las líneas de financiamiento y subsidios del MINCyT y de la Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y Desarrollo Regional (SEpymeyDR) del Ministerio de Industria (posteriormente, del Ministerio de Agroindustria), y a nivel provincial del Ministerio de Producción, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y de la Agencia para el Desarrollo de Santa Fe y su Región. (Gutman, 2018).

El PTLC aloja asimismo a varias empresas de tecnologías de la información y la comunicación; actualmente existen siete empresas radicadas en el reciente Edificio TICs. Las autoridades del parque fomentan la interacción entre las empresas biotecnológicas e informáticas a través de reuniones de trabajo periódicas, y la realización de talleres informativos a los que invitan a expertos en tecnologías de avanzada y otros temas de interés para las empresas del Parque.

Desde su constitución, el PTLC realizó acuerdos de colaboración con otras instituciones educativas locales, organismos privados e institutos de investigación, entre otros, la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN-FRSF), el Centro Científico Tecnológico (CCT CONICET Santa Fe), el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) y la Unión Industrial de Santa Fe (UISF), los que impulsaron la conformación de redes público-privadas.

En el 2015, se encontraban radicadas en el parque las principales empresas innovadoras locales, albergando unas 19 empresas de base tecnológica en las etapas de preincubación, incubación, preradicación, radicación o egresadas. (Gutman, 2018).

Adicionalmente a las actividades de apoyo a la gestación y desarrollo de empresas de base tecnológica que proporciona el PTLC, a fines del 2017 se conformó la Aceleradora Litoral Centro con la participación del Parque, la UNL, la Unión Industrial de Santa Fe y la Bolsa de Comercio. Estas instituciones fueron beneficiarias de una convocatoria del Ministerio de la Producción de la Nación para funcionar como aceleradora científica y asistir a emprendimientos innovativos y de alto impacto regional y potencial de crecimiento global, otorgando asistencia técnica y financiera. La Aceleradora se propone facilitar el contacto entre emprendedores de base tecnológica y potenciales inversores. Se espera que la puesta en marcha de esta iniciativa público/privada contribuya a reforzar las acciones tendientes al desarrollo de un entramado de empresas de alta (bio) tecnología en la región.

2. Laboratorio de Cultivos Celulares (LCC) como difusor de nuevas tecnologías en bioprocesos, analítica y edición génica

El LCC de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (FBCB) de la UNL se instaló al mismo tiempo que la incubación de Zelltek en dicha Facultad, compartiendo la infraestructura física. Desde los inicios, el LCC mantuvo una estrecha articulación con esta empresa en las actividades de I+D, con el desarrollo de trabajos conjuntos y la venta de servicios, conservando líneas de trabajo independientes vinculadas a temas específicos de los grupos de investigación. Esta cooperación ha apoyado la formación de investigadores especializados (tesistas universitarios que desarrollan sus tesis de doctorado en temáticas asociadas), ha facilitado la inserción de egresados de carreras afines de la UNL en empresas biotecnológicas de la región, y ha fortalecido las actividades de I+D del LCC. A partir de los desarrollos conjuntos realizados, y de las actividades de I+D abordadas en temáticas de tecnologías de bioprocesos, analítica y nuevas tecnologías de edición génica, se expandieron las capacidades y actividades de vinculación tecnológica del laboratorio con el tejido industrial regional (Gutman y Robert, 2016).

G. Principales limitantes y desafíos al avance de las tecnologías 4.0 en el sector

El trabajo de campo ha permitido identificar tanto condiciones para avanzar en la adopción de modernas tecnologías de bioproceso y nueva genómica, como obstáculos para su difusión en el sector de biotecnología en salud humana de la provincia de Santa Fe, que mediante instrumentos de política pública podrían ser potenciadas y superados, respectivamente.

En primer lugar, la provincia de Santa Fe cuenta con una infraestructura de CyT de relevancia en bioprocesos (LCC) y en genómica (INDEAR) con potencial de articulación latente. Se trata de importantes fuentes de conocimiento científico y tecnológico creados desde el sector público, y que frente a la debilidad de la demanda tecnológica de las empresas existentes y/o la discontinuidad del financiamiento de organismos nacionales, han llevado adelante estrategias de transferencia tecnológica o de alianzas con empresas localizadas en la región. Esta experiencia los coloca como articuladores potenciales de nuevas experiencias público-privadas de transferencia tecnológica. Por otro lado, el sistema universitario nacional con sede en la provincia, como la UNL y la UNR, cuenta con una importante formación de recursos humanos especializados en las disciplinas científicas asociadas al sector, además de disponer de instalaciones para llevar adelante aprendizajes en plantas piloto de bioprocesos y pasantías en distintas disciplinas asociadas a la bioinformática, relevantes en las experiencias internacionales analizadas.

Con relación a las capacidades de las empresas presentes en la provincia, se destacan las capacidades en procesos continuos, plataforma genómica y la incorporación incipiente de la ciencia de datos en las firmas de biofarma. Sin embargo, para expandir estas fortalezas a un mayor número de empresas y reducir la herejencia al interior de la industria, se requiere precisamente de políticas industriales y tecnológicas dirigidas a tal fin. En este aspecto también es importante señalar la escasa

densidad del tejido empresarial provincial y la incipiente articulación con empresas de tecnologías convergentes, particularmente las TIC, que como se identificó son actores locales relevantes en la difusión de las tecnologías 4.0 en las demás actividades productivas de la provincia.

Entre las condiciones que obstaculizan el avance de las nuevas tecnologías en el sector, se destaca la existencia de tensiones entre el apoyo al desarrollo de capacidades precompetitivas, y la apropiación de los resultados de la innovación. Para la difusión de las fuentes de conocimiento en la infraestructura de I+D, es necesario un adecuado balance entre la publicación, el secreto y el patentamiento de los resultados de innovación. A este elemento se suma un abordaje estratégico insuficiente sobre las cuestiones que involucran los derechos de propiedad intelectual (DPI) y los requisitos regulatorios a nivel nacional. La posibilidad de adhesión al tratado internacional sobre patentes que abre el inicio de acuerdo UE-MERCOSUR y la incertidumbre respecto a la posibilidad de redefinir los criterios que establecen la altura inventiva, desalientan la I+D de las empresas.

Otro de los desafíos que se le presentan a la provincia es consolidar una trayectoria de innovación que integre la I+D y la manufactura con el desarrollo local de los biofármacos imitativos. De esta manera se puede asegurar un balance entre los tiempos de aprobación de la droga y la capacidad de recrear en forma ampliada la base de conocimientos tecnológicos para nuevos desarrollos futuros.

Por último, el refuerzo de algunas acciones que se encuentran en la órbita del sector público provincial facilitarían la difusión de las tecnologías 4.0 y un mayor desarrollo del sector de biofarma santafesino, entre ellas, profundizar la articulación entre el sistema de salud provincial y la producción local biofarmacéutica, avanzar en el desarrollo de la producción pública de biomedicamentos, hoy escasa, y fortalecer la oferta de financiamiento público para la innovación, elemento que fue señalado como uno de los limitantes que mayor relevancia ha cobrado en los últimos años.

H. Propuestas para el diseño de política para la adopción de Industria 4.0 en el sector de biofarma: áreas de intervención e instrumentos

Para la transformación de las ventajas del sector de biotecnología en salud humana de la provincia de Santa Fe, por el momento internalizadas por un conjunto acotado de firmas, se requiere impulsar la conformación de un entramado biofarmacéutico más denso. Con este propósito, el estudio identificó un conjunto de acciones y herramientas de política industrial (cuadro 8) que en ocasiones requiere de la articulación en una estrategia nacional para el sector

A partir de la articulación con el CONICET y los programas existentes de la Secretaría de CyT de la Nación, se requiere impulsar un modelo de I+D público-privado provincial en el que las capacidades existentes en el LCC y el INDEAR se transformen en plataformas tecnológicas orientadas al conjunto del entramado empresarial; en este sentido se destaca el fuerte potencial en las capacidades de bioproceso y genómica acumulado en estas empresas. Estos institutos pueden consolidar los Polos a nivel local de Rosario y Santa Fe, generando un entramado que trascienda sus actuales especializaciones en terapéuticos biosimilares y servicios de genómica.

Como parte de las buenas prácticas internacionales, fortalecer la formación y capacitación de personal especializado en bioprocesos a través de plantas piloto y programas de técnicos y doctores en empresas es una de las estrategias de mayor impacto en el fortalecimiento de *clusters* biotecnológicos, como en la experiencia de Carolina del Norte. La Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación en articulación con el Ministerio de Educación de la Provincia puede impulsar estas instancias aprovechando capacidades de los institutos de investigación a nivel local (laboratorios, plataformas genómicas), los que son espacios privilegiados para plantas piloto que contribuyan a la formación.

A nivel nacional, se requiere el fortalecimiento del financiamiento público, a través de los fondos destinados a impulsar la I+D empresarial (FONTAR), y los consorcios público-privados (FONARSEC), que en los últimos años se ha visto debilitad. Además debería articularse el financiamiento al sector en el marco del Régimen de Promoción de la Economía del Conocimiento.

A nivel provincial y local, reforzar las líneas de ANR de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación orientadas a proyectos público-privados, permitiría impulsar iniciativas como la que se se lleva adelante en la Aceleradora Litoral Centro, que busca acercar a las empresas de base tecnológica con potenciales inversores.

En conjunto, estas líneas de financiamiento también deberían orientarse a promover la adopción de tecnologías 4.0 en genómica y diagnósticos in vitro (DIV), impulsando la explotación de la información generada por plataformas locales (Big Data, machine learning), garantizando la privacidad y la seguridad de los datos que plantea su acaparamiento por plataformas globales. La articulación con la plataforma genómica y el impulso a nuevas plataformas para DIV sobre la base de las experiencias privadas locales existentes tienen gran potencial en la provincia. De modo complementario, ampliar y extender las acciones emprendidas a nivel local por el PTLC y a nivel provincial por la Agencia de promoción de CyT, permitiría fortalecer la vinculación de las empresas de biotecnología con empresas locales de tecnologías convergentes en I4.0, como software y bioinformática. Esto en articulación con la red de centros tecnológicos de la provincia.

En materia de capacidades, intensificar los procesos de aprendizaje en capacidades regulatorias de biosimilares, tanto por parte de la agencia regulatoria (ANMAT) como de las empresas e instituciones de CyT, permitiría contar con un enfoque estratégico tanto en regulación aprobatoria, como en Derechos de Propiedad Intelectual. Como parte de este enfoque estratégico, también se señala la necesidad de evaluar junto con el gobierno nacional los alcances de una adhesión pasiva al tratado internacional de patentes, dada la relevancia que tiene sobre el desarrollo y los procesos de innovación del sector biotecnológico provincial.

Por último, promover el desarrollo del sector y la incorporación de tecnologías de ruptura a través de la compra y adquisición pública de medicamentos es una herramienta clave. Así, el estado provincial como usuario líder (lead user) puede orientar la producción local de medicamentos biotecnológicos, reforzando las articulaciones sistémicas del sector con el Ministerio de Salud de la provincia. En este punto, también resulta relevante aprovechar y reforzar las capacidades existentes en la provincia en la producción de medicamentos de base química en los laboratorios públicos LIF y LEM para promover la producción pública de drogas biotecnológicas.

Cuadro 8
Áreas y herramientas de políticas para el sector de biotecnología en salud humana

	Biotecnología en Salud Humana		
	Nivel Nacional	Nivel Provincial/Regional	Nivel local
Fortalecimiento de la Infraestructura de CyT en Industria 4.0			
Apoyo a actividades de centros tecnológicos	CONICET; Secretaría de CyT de la Nación	Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación UNL, UNR.	LCC-UNL, IBR (CONICET-UNR), PTLC (Santa Fe), Polo Tecnológico de Rosario
Plantas Piloto para desarrollos tecnológicos		UNL	LCC-UNL, Empresas locales
Formación y capacitación			
Formación en RRHH, biotecnología, biología molecular, genómica, bioinformática		Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación UNL, UNR, CONICET, UNER.	LCC-UNL, IBR (CONICET-UNR)
Plantas piloto para formación de RRHH especializado		UNL	LCC-UNL, Empresas locales
Impulso a la I+D e incorporación de tecnologías de avanzada			
Financiamiento, ANR y Crédito Fiscal a la innovación	FONTAR, FONARSEC, Régimen de Promoción de Economía del Conocimiento	Reforzar líneas ANR de la Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación.	Aceleradora Litoral Centro
Promoción de proveedores locales de tecnologías convergentes (software, bioinformática)	Ministerio de Producción de la Nación Coordinación CFI/Región Centro	Agencia de Ciencia y Tecnología de la Provincia, Ministerio de Producción, Cámaras empresariales, Ministerio de Producción	PTLC (Santa Fe), Polo Tecnológico de Rosario.
Producción pública de medicamentos biotecnológicos	Articulación con Agencia Nacional de Laboratorios Públicos (ANLAP)	LIF, LEM	Secretaría de Salud Ciudad de Rosario (Hospitales públicos)
Marco regulatorio			
Aprendizaje en capacidades regulatorias	ANMAT, CONICET, UNL, UNR	Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación.	Empresas locales, LCC-UNL, IBR (CONICET-UNR)
Compre gubernamental	Articulación con la Secretaría de Salud de la Nación y de otras provincias.	Ministerio de Salud Provincia	
Abordaje estratégico de regulación aprobatoria y DPI	ANMAT, INPI, Coordinación con Gobierno Nacional	Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación, Consejo Económico de Biotecnología de la Provincia	Empresas locales, LCC-UNL, IBR (CONICET-UNR)
Articulación Sistémica			
Ventanilla de recepción de problemas tecno-económicos y articulación de red de centros tecnológicos y proveedores locales	Secretaría de C y T de la Nación, Ministerio de Producción de la Nación	Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación, Ministerio de Producción de la Provincia	PTLC (Santa Fe), Polo Tecnológico de Rosario.

Fuente: Elaboración propia.

IV. La industria de la maquinaria agrícola en Santa Fe como *driver* de las tecnologías 4.0

La industria de la maquinaria agrícola a nivel mundial atraviesa un proceso de recomposición de su estructura productiva desde la caída del precio de las materias primas y la pérdida de dinamismo de la demanda. Es en este contexto que se produce un proceso de convergencia entre la industria de maquinaria agrícola y las nuevas tecnologías digitales. De esta manera, abre un gran campo de difusión de la Inteligencia Artificial, la robótica, la impresión 3D, el Internet de las cosas (IoT), combinada con nano y biotecnologías.

Este escenario encuentra a la Argentina, y en particular a la provincia de Santa Fe, en un momento bisagra para el posicionamiento de la industria local. La industria de maquinaria agrícola se ha caracterizado históricamente por trayectorias tecnológicas metalmeccánicas con un fuerte potencial para competir internacionalmente en diversos nichos. También por adoptar rápidamente las técnicas de agricultura de precisión, que la llevó a ubicarse entre los principales países en la difusión de esta tecnología a la par con la difusión de paquetes biotecnológicos (Swinton y Lowenberg Deboe, 2002; Melchiori y otros, 2013).

El objetivo de este capítulo es identificar las principales áreas de intervención de política industrial 4.0 en la industria de maquinaria agrícola desde una estrategia de desarrollo de la provincia de Santa Fe. Este trabajo se apoya por un lado, en fuentes secundarias de organismos públicos nacionales, provinciales e investigaciones previas, y por el otro, en el trabajo de campo a partir de entrevistas a informantes clave, empresas e institutos tecnológicos, además de distintas instancias de gobierno nacional, provincial y municipal.

El capítulo inicia con una caracterización de lo que se entiende por Industria 4.0 en maquinaria agrícola (sección A) y una breve estilización de las referencias internacionales de política para este sector (sección B), luego presenta las particularidades del sector en la Argentina y en la provincia de Santa Fe (sección C). En la Sección D, se analizan las trayectorias tecnológicas predominantes y el grado de adopción de las tecnologías de la I4.0 en el complejo de maquinaria agrícola santafesino. En la sección E se

identifican los principales actores que dinamizan la trama provincial, su articulación con el sistema de Ciencia y Tecnología local y los principales desafíos para la convergencia tecnológica entre las tecnologías de la Industria 4.0 y las trayectorias previas.

A. La Industria 4.0 en la maquinaria agrícola a nivel internacional: interacción entre el dominio digital y la producción

La industria de maquinaria agrícola se encuentra entre las industrias con mayor potencial de difusión de la denominada “Industria 4.0” a nivel internacional. Su trayectoria previa basada en la escala creciente de los equipos confluye con la adopción de dispositivos de agricultura de precisión, la conectividad y la generación de datos.

1. Trayectoria tecnológica previa y oportunidades de la I4.0 en la maquinaria agrícola³²

La trayectoria tecnológica dominante en la industria de maquinaria agrícola a nivel internacional, al igual que en la Argentina, se basa en las capacidades tecnológicas metalmecánicas e hidráulicas, y se ha orientado desde sus orígenes, hacia el aumento de la escala de los equipos autopropulsados respondiendo a los requerimientos de la mayor capacidad de trabajo para la agricultura extensiva. Esto se ha traducido en el aumento de la potencia y el ancho de labor de los implementos (MINCyT, 2016; Bragachini y Sanchez, 2016)³³. Por ejemplo, en el caso de las sembradoras se busca capacidad de trabajo mayor para aumentar la velocidad de la siembra, mediante distribuidores neumáticos de semilla y la asistencia neumática-hidráulica con adaptación a condiciones locales. El desarrollo de nuevos materiales en los barrales (fibra de carbono y aluminio) de pulverizadoras y nuevos diseños de boquillas adaptados a distintas aplicaciones, genera nuevas posibilidades de diferenciación. Asimismo, en el caso de los equipos autopropulsados, en materia de motores, las innovaciones se prevé que en el futuro estos equipos sean eléctricos y cuenten con sistemas de transmisión inteligente a partir del uso de sensores. A su vez la aplicación de estándares anticontaminantes induce a los fabricantes a desarrollar nuevos motores, con nuevos dispositivos y componentes electrónicos que permiten reducir el consumo de energía³⁴.

En un plano tecnológico, la Industria 4.0 en el sector de maquinaria agrícola resulta de la convergencia, aún potencial, entre tecnologías metalmecánicas preexistentes, la agricultura de precisión y las nuevas tecnologías digitales entre las que se destacan:

- **Internet de las cosas:** Con la reducción de costos de los sensores, se hace masiva su incorporación a maquinas convencionales transformándolas en dispositivos inteligentes – por ejemplo tractores, pulverizadoras y cosechadoras con monitores de rendimiento, banderilleros satelitales, piloto automático y sensores en la distribución de semillas y pulverización. De generalizarse, la adopción de estándares abiertos de datos generaría

³² Esta sección se basa en Wolfert y otros (2017), CEMA (2017), Bragachini y Sanchez (2016), MINCyT (2016) y en las entrevistas realizadas a instituciones en Santa Fe y Córdoba.

³³ Es así que los próximos años se caracterizarán por la adopción de cosechadoras con más de 10.000 litros de capacidad de tolva, 12 metros de cabezal sojero, 22 hileras de maíz en cabezal, con motores de 600 CV. De la misma manera, en el caso de las pulverizadoras predominarán equipos autopropulsados con 28 a 36 metros de ancho de barral y motores de más de 150 CV.

³⁴ Este es el caso de innovaciones que realizan las principales empresas multinacionales de maquinaria agrícola en sistemas electrónicos de inyección, sistemas de recirculación de gas, filtros y turbo, a fin de cumplir las normas ambientales europeas y de los Estados Unidos.

incrementos en la productividad del proceso productivo a partir de su mayor automatización y la gestión en tiempo real en producciones altamente variables.

- **Tractores, cosechadoras e implementos autónomos o semiautónomos.** La conducción y el uso de aplicaciones activadas por GPS u otros sistemas alternativos (como el NavCOMs Star Fore de John Deere) avanza sobre la configuración de los equipos utilizados en las actividades agrícolas. El uso de equipos autoguiados y sistemas robotizados en el manejo se complementa con desarrollos estructurales de metalmecánica y nuevos materiales (diseño de chasis más seguros y uso de materiales livianos que disminuyan la masa de la máquina, a fin de reducir compactación y daños al suelo)³⁵, que permiten mejorar los costos operativos y el uso de energía. La automatización y la robótica también pueden contribuir con la eficiencia en el uso de los fertilizantes y agroquímicos, a partir de objetivos y operaciones más precisas, facilitada por la conducción auto guiada. También se evidencian avances hacia el manejo virtual de la cosechadora por internet (conexión en tiempo real),
- **Sistemas automatizados** que a través de sensores permiten que los equipos de siembra, cosecha y pulverización se autoajusten frente a distintos parámetros. Permitiría, por ejemplo, que la máquina se autorregule y adapte antes de desniveles en el suelo. Los avances recientes en cosechadoras permiten la visualización en tiempo real del flujo del cultivo dentro de la cosechadora, permitiendo diferenciar, mediante una combinación de sensores especializados, qué es grano y qué no lo es. Estos ajustes se realizan automáticamente sobre la marcha para mantener los parámetros de cosecha establecidos, minimizar el daño del grano y las pérdidas (Bragachini y Sanchez, 2018).
- **Telefonía móvil:** Con los nuevos desarrollos de telefonía móvil, la información dejará de concentrarse en el monitor en la máquina y será captada a través del celular (GPRS), pudiendo ser regulada a distancia por distintas plataformas, a partir de la información satelital.
- **Redes de comunicación** que cubren eficientemente una amplia área rural con baja potencia (LPWA como LoRa, SigFox) o nuevas generaciones de redes de telefonía de quinta generación (5G).
- **Analítica de grandes datos:** Se trata de una herramienta que permite la interpretación de un importante caudal de datos obtenido por sensores y satélites no estructurados (por ejemplo sobre las condiciones del suelo, el clima, la presencia de plagas), que se almacenan en la nube y permiten el análisis avanzado.
- **Inteligencia Artificial:** Ya existen patentes (Deere & Company's U.S. Patent 8396597) de múltiples vehículos totalmente autónomos operando en un mismo terreno en el que implementos robotizados captan datos y proyectan senderos adecuados de trabajo³⁶.

Dicho proceso de convergencia contribuiría, por un lado, al mayor control y optimización de los procesos productivos asegurando en forma autónoma que la producción se ajuste a los requisitos de producción rentables, aun si existen desviaciones asociadas a las condiciones climáticas, edafológicas, plagas, etc. Por otro lado, y quizá el gran aporte de la ciencia de datos (*Big Data*) y la computación en la nube, es la posibilidad de alcanzar modelos predictivos (de rendimiento, de alimentación animal, etc.), que permitan ajustes en los paquetes agronómicos y fundamentalmente en los servicios de posventa de la maquinaria.

³⁵ Hacia el 2020, aparecerán los tractores, cosechadoras, sembradoras con sistemas de trabajo sin conductor, 2 ó 3 volantes en el lote, y un solo operario, casi como un centro mecanizado en la industria, una máquina programable con asistencia de un operario calificado en este caso observando en el lote Bragachini y Sanchez, 2016.

³⁶ En <https://patents.justia.com/patent/8396597>.

Las innovaciones no solo se orientarán a la mayor eficiencia de la producción agrícola sino también en las estrategias de diferenciación de los proveedores de equipos e implementos. Se identifican distintas áreas de innovación estrechamente vinculados con la Industria 4.0 (Bragachini y Sánchez, 2016):

- Sensores para siembra, sensores para la autorregulación de trilla, sensores de calidad y trazabilidad del producto en cosechadoras, y pulverización selectiva que identifica malezas y concentra aplicación.
- Desarrollo de medidas infrarrojas de proximidad (*near infrared measurements*, NIR) que permitirán la separación de la cosecha, según grados de calidad, en la tolva de la cosechadora o en las etapas subsiguientes de transporte y almacenamiento.
- Desarrollo de protocolos de comunicación. La captura de datos en forma automática durante los procesos productivos (por ejemplo durante la fertilización) requerirá el procesamiento de datos obtenidos por los sensores, transformarla en información y documentarla; lo que requiere establecer comunicaciones estandarizadas entre la máquina y la gestión de la producción a través de sistemas de telecomunicación.

Por el momento, la difusión de agricultura 4.0 es relativamente limitada, con Los Estados Unidos y Europa muestran los mayores grados de adopción y se espera que las aplicaciones crezcan rápidamente en otros países como China. Uno de los principales desafíos para su difusión es, por un lado, el desarrollo de redes de comunicación y por el otro la adopción de estándares que aseguren la interoperabilidad, la compatibilidad y la comunicación entre dispositivos.

La difusión de la I4.0 generado oportunidades de interoperabilidad y portabilidad entre distintos dispositivos de maquinaria agrícola. La adopción de estándares para la regulación de las máquinas, calidad de trabajo y los flujos de producción abre nuevas oportunidades de avanzar en la difusión de Internet de las cosas (IoT), aunque estará sujeto a la definición de sistemas de metadatos (abiertos o cerrados) y posibilita nuevas oportunidades de uso de los datos.

La difusión de las tecnologías I4.0, en tanto tecnología de redes, involucran una arquitectura en distintas capas desde las más bajas asociadas con los distintos dispositivos físicos que generan los datos a las más altas, vinculadas con la prestación de servicios a partir de la puesta en valor de los datos (Cantera y otros, 2018). En las capas inferiores de los dispositivos físicos se encuentran los distintos equipos electrónicos de agricultura de precisión (AdeP) y la maquinaria agrícola que opera en el terreno que, a través de la conectividad (posibilitada por redes físicas de comunicación como Lora, Lte, sigfox; 3G; *bluetooth*, *wifi*, etc.), facilita la transmisión bidireccional de los datos producidos por los dispositivos AdeP incorporados en la maquinaria³⁷ que luego serán procesados a través de distintos algoritmos, *machine learning* y la computación en la nube para su uso en la gestión agrícola y la planificación de recursos durante el proceso productivo agropecuario. .

La difusión de la difusión de la I4.0 en la producción agrícola, presenta al menos 2 puntos críticos. Por un lado, es crucial la existencia de una infraestructura de redes de conectividad ya sea de internet, u otras redes de baja potencia y alto alcance (LPWA, *Low Power Wide Area Wireless Technology* en

³⁷ En esta capa juegan un rol clave los integradores de sistemas de software y hardware como IBM, Agrobotix, Accenture, Logica, Trimble y Navcom planteando necesidades de estandarización, así como las empresas de telecomunicaciones que buscan brindar servicios de nube a partir de la cooperación entre redes LPWA e internet de alta velocidad.

inglés), y por el otro, la adopción de estándares comunes de comunicación que posibiliten la interoperabilidad y la comunicación entre los equipos.

2. Desafíos y límites para la convergencia tecnológica: el papel de los estándares³⁸

Luego de un período de coexistencia entre distintos estándares privados utilizados por las empresas líderes de Maquinaria Agrícola a nivel internacional, desde 2008 estas mismas empresas han buscado promover la adopción de estándares comunes entre distintos dispositivos electrónicos incorporados (o no) a las maquinarias.

En particular se destaca el standard ISO-11783 comúnmente llamado ISOBUS que se desarrolló inicialmente como protocolo para la comunicación entre el tractor y los implementos agrícolas. El mismo resulta de un desarrollo privado de la firma noruega de sembradoras, pulverizadoras e implementos, Kverneland, que fue adoptado por proveedores especializados de dispositivos de control y agricultura de precisión como Müller Elektronik. Kverneland liberó la patente en 2001 y presentó su estándar en la feria Agritechnica en Hannover como respuesta a las necesidades de interoperabilidad y compatibilidad entre distintos equipos.

La difusión del ISOBUS fue inicialmente lenta. La complejidad del estándar y las diferentes interpretaciones posibles de sus funciones, dio lugar a problemas de compatibilidad entre las máquinas (por ejemplo, un implemento que no se comunica adecuadamente con una terminal de un tractor). La ausencia de una interpretación común en la que se compartan y se acuerden detalles postergó su adopción.

Con el objetivo de difundir el ISOBUS las grandes firmas globales de Maquinaria Agrícola crearon en 2008 una asociación *ad hoc*, la Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF). Muchas firmas globales con sus propios estándares privados, como es el caso de John Deere, decidieron adoptar este estándar abierto. La AEF no redacta los estándares ISOBUS, sino que trabaja a nivel de sus interpretaciones, creando guías para su implementación. Las funcionalidades del ISOBUS vigentes más adoptadas incluyen la terminal universal (UT) que permite visualizar datos de cualquier implemento con cualquier terminal³⁹. La AEF está trabajando en nuevas funcionalidades que habilitan un mayor uso de datos y que en caso de ser difundidas permitirían avances notables en la difusión de la Industria 4.0. Este es el caso de la comunicación bidireccional entre el tractor y los implementos⁴⁰ o la transmisión en tiempo real de los datos sin depender de procedimientos de grabación en dispositivos externos⁴¹.

En forma paralela, estas grandes empresas comenzaron un proceso de absorción de empresas de agricultura de precisión a partir de las cuales desarrollaron terminales universales (UT) que pudieran

³⁸ Esta sección se basa en van der Vlugt (2015), Iglesias y otros (2015) y entrevistas a Institutos de ciencia y tecnología.

³⁹ Estas incluyen también los datos provenientes de la computadora de a bordo del tractor (con la funcionalidad T-ECU) como, por ejemplo, la velocidad, RPM de la toma de fuerza, etc. y/o la información básica del controlador de tareas (TC-BAS) de los implementos, a partir de un formato de datos común ISO-XML o datos específicos de localización (TC-GEO) para planear tareas basadas en la ubicación.

⁴⁰ Esta funcionalidad comprende gestión del tractor a partir de los implementos (TIM), que a diferencia del T-ECU, posibilita en que no solo el tractor recibe información para operar el implemento, sino que el implemento recibe información para operar los distribuidores del tractor, por ejemplo, la velocidad de avance o los distribuidores de un tractor. Al permitir al implemento optimizar su funcionamiento, todo el sistema puede alcanzar niveles de productividad más altos.

⁴¹ Se trata de un registro de los valores del dispositivo (LOG), con independencia de la tarea, por ejemplo, la superficie total o la cantidad total de la cosecha, etc., o de hecho, cualquier otro dato que pueda enviar el dispositivo. Los datos de LOG se pueden exportar a un archivo ISOXML (similar a los datos del controlador de tareas).

centralizar y procesar todos los datos de las unidades de control de los distintos dispositivos bajo un estándar ISOBUS.

La AEF posibilita a las grandes firmas globales avanzar en la organización de la difusión a partir de mecanismos de *enforcement*, que si bien no son mandatorios, tienen capacidad de coordinar su adopción. A fin de avanzar en la difusión y el cumplimiento del estándar, la AEF habilitó centros de prueba de conformidad a ISOBUS, y generó una base de datos de los dispositivos compatibles que hayan aprobado la prueba de conformidad. También auspicia un conjunto acotado de instituciones de prueba a escala internacional y regional para la evaluación de los productos de acuerdo con el estándar ISOBUS y bajo las directrices de la propia AEF. Entre los que se encuentran los laboratorios ISOBUS TEST CENTER (Alemania), Reggio Emilia Innovazione (Italia), Nebraska Tractor Test Laboratory (Estados Unidos), DLG Tst Center Technology and Farm Inputs (Alemania) y Kereval (Francia).

3. Referencia internacional de políticas e instituciones orientadas a la promoción de la tecnología 4.0 en la maquinaria agrícola

Estados Unidos: *clusters* regionales de I+D orientados a las "Agtech"⁴²

Estados Unidos cuenta con un importante desarrollo de la agricultura 4.0 (denominada Agtech) basado en una estrategia de *clusters* de I+D. A partir del impulso fundamentalmente privado, los *clusters* de Agtech de los Estados Unidos son sin duda una de las principales fuentes de oportunidades y de ventajas para las empresas multinacionales del Agronegocio, no solo de ese país sino de otros países desarrollados y emergentes. Entre estos *clusters* se destacan los de Illinois y Carolina del Norte por su orientación hacia tecnologías de agricultura de precisión e I4.0.

La principal ventaja de estos *clusters* radica en la presencia de una importante infraestructura de I+D fundada en su red de universidades estatales, que desde el siglo XIX han sido la excepción a su modelo educativo predominantemente privado⁴³. La presencia de estas universidades contribuye con la disponibilidad de una fuerza de trabajo diversa y altamente calificada en nuevas tecnologías. Esta fuente de oportunidades de CyT no solo se combina con el acceso a financiamiento y el establecimiento de filiales de capitales de riesgo que apuntalan *start ups* orientadas a tecnologías de ruptura, sino también con una importante red de institutos agronómicos.

En este sentido, Illinois es un caso de referencia en el que han confluído los distintos componentes de un *cluster* de maquinaria agrícola. La Universidad de Illinois lidera la I+D agrícola de los Estados Unidos y presenta importantes vinculaciones con los institutos de investigación agronómica y el National Center for Agricultural Utilization Research, que opera como unidad de transferencia de nuevos sistemas agrícolas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Como consecuencia de estas ventajas en la I+D y transferencia tecnológica, alrededor de la Universidad de Illinois se localizan los centros de investigación y desarrollo de las firmas líderes del agronegocio a nivel mundial⁴⁴. La presencia de grandes multinacionales se articula a través de diversos tipos de instituciones financieras, dando lugar a una combinación de procesos de concentración y de dispersión de capitales que dan

⁴² Esta sección se basa en *Australian Trade and Investment Commission* (2018).

⁴³ Nueva York y Massachusetts también han atraído importantes inversiones de capitales de riesgo en estas tecnologías, sustentados en sus importantes infraestructuras de I+D, pero dado que se concentran en muy pocas operaciones no han contribuido a la difusión de estas tecnologías.

⁴⁴ En el parque de I+D de esta universidad opera el centro de I+D de la líder mundial de maquinaria agrícola John Deere, y de empresas de agronegocio y la biotecnología agrícola como Archer Daniels, Syngenta y Monsanto.

dinamismo al sistema. Este es el caso de las aceleradoras e incubadoras que promueven la creación y el crecimiento de nuevas *start ups*, que suelen ser contratadas y/o absorbidas por las grandes firmas globales. Las empresas de estos sectores se encuentran fuertemente focalizadas en el desarrollo de nuevos eventos biotecnológicos, agricultura de precisión, automatización y robótica.

Carolina del Norte es otro de los *clusters* emergentes de Agtech basado en la infraestructura de I+D orientada a la tecnología agrícola. El Durham Research Triangle Park fue creado en 1959 y cuenta con 260 empresas instaladas, de las cuales más de un tercio corresponden a Biociencias y Agtech⁴⁵. Este parque tecnológico se encuentra localizado entre tres importantes universidades estatales con orientación a ciencias naturales y agricultura: la Universidad de Duke en Durham, la universidad estatal de Carolina del Norte en Raleigh y la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill. La presencia de aceleradoras de innovación articuladas con fondos de inversión que identifican, financian y gestionan *start ups* de innovación agrícola (como es el caso de la aceleradora AgTech), revela el alto dinamismo de este parque en el marco de un modelo de innovación basado en las finanzas. Se la presencia de importantes empresas de agricultura de precisión como la fabricante canadiense de drones, Precision Hawk.

China: adopción acelerada en plataformas digitales y robotización

La iniciativa Internet Plus implementada por China focaliza la difusión de la I4.0 en la agricultura como uno de sus principales objetivos estratégicos. Dicho objetivo se enmarca en la estrategia de desarrollo chino que se propone por un lado, alcanzar mayores niveles de productividad agrícola y por el otro, consolidar plataformas digitales de distribución en las cadenas agroalimentarias aguas abajo, controlada por grandes capitales chinos. Entre las principales iniciativas que responden a estos objetivos, se destaca el desarrollo de una plataforma digital para la agricultura (ET Agricultural Brain) en alianza con la empresa China Alibaba, líder en el desarrollo de estas tecnologías; y el programa a 7 años que persigue la automatización de la agricultura:

- ET Agricultural Brain es una plataforma digital que combina inteligencia artificial (AI) y *Big Data*, permitiéndole a los productores mejorar su productividad a partir de la generación de modelos predictivos de gestión⁴⁶. La difusión alcanza a prácticamente la totalidad del sector (cuenta con 20 millones de agricultores adheridos durante la fase de prueba)
- El programa piloto para la automatización de la agricultura fue lanzado en 2018. En este caso, China adopta una estrategia de adopción de tecnología importada a partir de grupos líderes en tecnología de automatización como es el caso de la empresa israelí Roots Sustainable Agricultural Technologies Ltd, líder en sistemas de irrigación automatizados y robotizados, entre otros.

Paralelamente, China avanza en una estrategia agresiva de articulación entre sus empresas de telecomunicaciones y el resto de los actores de las cadenas agroindustriales, con el objetivo de difundir sus nuevas tecnologías de telefonía móvil, en alianza con la empresa china líder en este campo, Huawei (XLABs Wireless). Para ello se han abierto tres laboratorios que buscan explorar la conectividad agrícola.

Estas iniciativas son acompañadas por instrumentos de apoyo a la generación acelerada de capacidades I4.0 en las empresas, mediante la creación, por un lado, de *start ups* en agricultura 4.0 a través de capitales de riesgo y aceleradoras chinas como BitsxBites. La mayor parte de estas nuevas empresas se orientan al desarrollo de aplicaciones y tecnologías orientadas al consumo y los servicios. Por otro lado, se destaca el apoyo a los principales grupos tecnológicos — como Baidu, Alibaba y

⁴⁵ En https://files.rtp.org/wp-content/uploads/2017/05/RTP_Directory_2017CompanyDirectory-V2.pdf.

⁴⁶ La misma fue adoptada masivamente por empresas de ganadería para alertar a los productores sobre enfermedades a partir de modelos predictivos.

Tencent— que incluye sus operaciones de adquisición en cadenas de restaurantes por una suma de 5,8 mil millones de dólares.

Australia: como *hub* de expansión de las grandes multinacionales 4.0

Australia ha adoptado para su sector agroindustrial un modelo de absorción de tecnología importada de los países líderes. Muchas empresas australianas en nutrición animal y biotecnología agrícola se han instalado en los *clusters* de I+D de los Estados Unidos o han realizado acuerdos de cooperación con grandes empresas multinacionales de agronegocios. En el rubro de agricultura 4.0 esta estrategia ha asumido un sentido inverso. Las firmas australianas aún no se encuentran bien posicionadas para obtener ventaja de la infraestructura de I+D en Agtech de los Estados Unidos. La especialización australiana como proveedor de servicios basados en el conocimiento enfrenta límites en capacidades en electrónica y otras tecnologías duras, propias de la fase actual de difusión de estas actividades.

Como consecuencia, la iniciativa Agricultura 4.0 se sustenta en el desarrollo de una nueva plataforma digital que busca atraer empresas líderes en este campo, presentando como ventaja el desarrollo agrícola local y su cercanía con China. Para ello, el gobierno estableció un marco regulatorio y de incentivos fiscales a la innovación en agricultura 4.0 y a su comercialización.

La estrategia se basa en la adopción de tecnología Agtech de importada de empresas líderes mundiales en Industria 4.0 como Cisco y Bosch, que además han elegido a Australia para expandir su actividad innovativa en este campo. Cisco instaló en Perth y Sidney dos de sus diez centros de innovación; y se encuentra desarrollando una plataforma de gestión agrícola (*Farm Decision Platform*, FDP⁴⁷) diseñada como un sistema abierto en la que distintas aplicaciones de software agrícola pueden ser desarrolladas e implementadas por proveedores de servicios basados en conocimiento independientes⁴⁸.

Adoptando una plataforma de conectividad de libre acceso, las firmas locales se especializan en la sensorización y las aplicaciones en los establecimientos agrícolas. Por su parte, la conectividad del establecimiento, la recolección y el almacenamiento de los datos en forma segura en la nube quedan bajo la operación de la FDP.

El acceso a los datos en tiempo real permitiría a los productores identificar problemas en sus establecimientos, y con ello reducir costos y aumentar la productividad. A medida que los productores acumulan una mayor cantidad de datos permite, a través de modelos predictivos, mejorar la productividad del trabajo en los establecimientos agrícolas australianos.

La revisión de las experiencias internacionales permite distinguir interesantes diferencias con las trayectorias del sector en la Argentina, e identificar elementos relevantes para una política I4.0 con foco en la industria de maquinaria agrícola argentina y, especialmente, de la provincia de Santa Fe. El sector de maquinaria agrícola local, a diferencia de las experiencias internacionales de Australia y China, ha desarrollado entramados de producción de maquinaria y de agricultura de precisión adaptado a condiciones locales y como resultado de aprendizajes proveedor-usuario enraizados en un denso tejido de medianas y pequeñas empresas. De este modo, su inserción en las nuevas industrias 4.0 se realiza a partir de las capacidades metalmecánicas propias de sus procesos de industrialización, y de la rápida absorción y asimilación de las nuevas tecnologías de agricultura de precisión durante la primera década del 2000. Su configuración no es el resultado de una trayectoria impulsada a partir de la articulación entre ciencia y finanzas, o de grandes iniciativas estatales de apoyo a grandes campeones nacionales, como surge de las experiencias revisadas. Teniendo en cuenta estas especificidades, la experiencia

⁴⁷ En https://www.cisco.com/c/dam/global/en_dz/assets/pdfs/zk-research-white-paper_-_digital-edge_-_final.pdf.

⁴⁸ Este es el caso de la generación de datos microclimáticos en los *feedlots* o el estado de los alambrados eléctricos. <https://www.foodingredientsfirst.com/news/australia-eyes-agriculture-4.0-opportunity-can-down-under-come-out-on-top.html>.

internacional muestra la importancia de combinar los procesos de aprendizaje usuario-proveedor con la articulación con centros de investigación y universidades en el marco de clusters locales y la relevancia de la adopción estratégica de estándares, que preserven las capacidades metalmecánicas y electromecánicas de la ingeniería local.

B. La industria de la maquinaria agrícola en la Argentina y la gravitación de Santa Fe como principal área de expansión

1. La industria de maquinaria agrícola en la Argentina: estructura de mercado y principales actores

La industria de maquinaria agrícola en la Argentina presenta estructuras industriales, modalidades de inserción internacional y patrones de competencia muy heterogéneos entre los distintos subsectores de maquinaria agrícola (cuadro 9). Una parte importante de las empresas del sector se encuentran localizadas en Santa Fe, lo que muestra la importancia de la provincia no solo en la participación relativa en la producción total del sector, sino desde el punto de vista de los actores (actual o potencialmente) dinamizadores de las tramas en la adopción de las tecnologías I4.0, como se verá en las próximas secciones de este capítulo.

Cuadro 9
Estructura industrial, inserción externa, concentración y trayectoria tecnológica
(En porcentajes)

	Tractores	Cosechadoras	Sembradoras	Pulverizadoras
Inserción Externa				
Coef. Importaciones (2017)	<50	75	5	10
Coef Exportaciones	6	6	9	20
Estructura de Mercado				
Concentración 2 primeras firmas	66.7	53.5	39.9	70
Participación EMN	80.3	74.3	<2	<2
Principales empresas	John Deere, Agco, Case (CNH)	John Deere, Agco, Case (CNH), Claas y Vasalli	Agrometal, Talleres Metalúrgicos Crucianelli y 50 mas	Metafor y Pla
Trayectoria Tecnológica				
Complejidad del producto	Media	Alta	Baja	Alta
Modularización	Alta	Media	Baja	Media
Tecnología de Proceso	Seriada	Seriada/lotés	Lotés pequeños	Seriada/lotés
Firmas con integración media/alta (%)	40.2	40	90	53.70

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Lavarello y Goldstein (2011), CAFMA (2017).

La industria de tractores en Argentina cuenta con un mercado en torno a las 5.000 unidades (2014-2015) y el parque actual se estima en 60.000 unidades. Si bien a partir de 2003, el parque se ha modernizado notoriamente, aún se observa un alto grado de obsolescencia. Se trata de una industria relativamente concentrada y con presencia de grandes jugadores. Las principales empresas en este sector son filiales de empresas multinacionales —como John Deere, Agco, Case (CNH)— y regionales como Valmet (Brasil). John Deere cuenta con una planta en Granadero Baigorria (Santa Fe), en la que también se localiza la empresa local, Agrinar. Pauny, ubicada en la provincia de Córdoba es una de las principales empresas locales de tractores., En Rafaela (Santa Fe), se funciona la T&M-Grossi, una firma mediana del sector. Casi la totalidad de la fabricación local de tractores se orienta al mercado interno.

El segmento de **cosechadoras** tenía un mercado de 1.064 unidades en. El parque actual se estima en 20.000 cosechadoras con potencialidad de uso, con una vida útil de 15 años y un envejecimiento promedio de 11,5 años. Entre 2001 y 2015, tuvo lugar un importante proceso de sustitución de importaciones liderado por las grandes empresas multinacionales como John Deere, Case, NH, Class y Agco. Esto posibilitó un aumento de la participación de la producción local en el mercado nacional (que retrocede en el bienio 2014-2015). La empresa nacional Vasalli Fabril, concentra la mayor parte de la fabricación local de cosechadoras.

La **industria de sembradoras** produjo alrededor de 2.300 unidades en los años 2012 y 2013, 1.500 en 2014, 1.100 en 2015 y 2.000 en el año 2016 (INDEC). El parque actual se estima en 50.000 sembradoras en potencialidad de uso, con una duración promedio de 12 años, considerando una reposición anual ideal de 4.500 sembradoras por año para un adecuado proceso de modernización de parque. A diferencia de los segmentos de tractores y cosechadoras, se trata de una estructura de mercado relativamente competitiva con diferenciación de productos basada en los servicios de postventa. Casi todas las empresas que conforman este subsector son pymes y este es, junto a los implementos, el segmento productivo más simple en relación con la tecnología de producto y de proceso. Si bien se trata de una industria caracterizada por una baja participación de las importaciones (inferior al 5 %), se observa una tendencia de crecimiento a partir de la recuperación de 2016-2017.

En este segmento predominan las empresas locales, y las principales firmas fabricantes son Agrometal y Crucianelli, ambas especializadas en la producción de sembradoras. Agrometal es una empresa mediana-grande, localizada en Monte Maíz, provincia de Córdoba. Por su parte Talleres Metalúrgicos Crucianelli, se encuentra en Armstrong, provincia de Santa Fe, es una empresa mediana que desde los sesenta se especializa en la fabricación de sembradoras y lidera el segmento en términos de productividad. Completan el subsector otras firmas con menor participación en el mercado local, como Gherardi (Casilda-Santa Fe), Apache (Las Parejas, Santa Fe), Giorgi (Fuentes, Santa Fe), Pla S.A. (Las Rosas_SF) y Bertini (Rosario-SF), todas con su producción radicada en la provincia de Santa Fe. En su mayoría, con excepción de Pla S.A., son empresas medianas especializadas, que lograron mayor participación a partir de la difusión de la siembra directa.

La industria de **pulverizadoras autopropulsadas**, con 600 unidades producidas en 2016, muestra una relativamente baja participación de importaciones (10%) originarias del Brasil y los Estados Unidos, aunque aumentando desde 2016. Dado que es un mercado relativamente chico, la estructura de mercado local está concentrada y controlada por dos firmas medianas nacionales de incipiente internacionalización. Si bien existen unos diez fabricantes, dos firmas concentran alrededor del 70% del mercado, que también están instaladas en el Brasil (Metalfor y Pla). Otras empresas importantes que fabrican pulverizadoras son Apache, Favot, Praba, Golondrin, Caiman, Maquinaria Agrícola Ombú, Tedeschi.

Entre los principales implementos en donde las empresas locales se han expandido desde mediados de los 2000 cabe destacar los **cabezales para cosechadoras** que se ubican en torno las 1.200 unidades producción (2011), 750 unidades (2012), 800 (2013), 750 (2014) y 500 (2015), con un importante descenso en 2015, respecto del año anterior, y una considerable recuperación en 2016 (CAFMA). Existe una participación importante, pero no determinante, de las importaciones, cuyos principales orígenes son el Brasil y los Estados Unidos. Las empresas de este segmento han llevado adelante un incipiente proceso de expansión a mercados de países limítrofes, y en los últimos años comenzaron a expandirse hacia mercados no tradicionales. Los principales fabricantes son Allochis (que se inserta como proveedor Global de CLAAS), C. Mainero, De Grande, Franco Fabril, Maizco y Maquinaria Agrícola Ombú.

Desde mediados de los noventa se ha desarrollado en el país una industria de **proveedores de agricultura de precisión (AdeP)**. Son empresas que fabrican y diseñan con un alto componente importado, una amplia gama de productos (monitores de siembra, cosecha, banderilleros satelitales, sistemas de control de cosecha) con un rezago muy corto respecto a su lanzamiento en los Estados Unidos.

El diseño se basa principalmente en los sistemas embebidos. Los mismos proveen a los productores agropecuarios directa o indirectamente a través de distintas formas de contrato o acuerdos con empresas de maquinaria agrícola.

La industria de agricultura de precisión argentina está conformada por 63 empresas que desarrollan dispositivos de AdeP. Otras 20 empresas se dedican al servicio agropecuario/tecnológico de AdeP. Las empresas que cuentan con una mayor injerencia en el diseño local de la tecnología son Plantium, Gentec SRL y Sensor. Sus ventas alcanzaban en 2014 alrededor de 75 millones de dólares, dominada por las ventas de sistemas de corte por sección, autoguías y monitores de siembra; y empleaban cerca de 1.500 trabajadores.

2. Trayectorias tecnológicas heterogéneas en la industria de maquinaria agrícola: adopción de técnicas de agricultura de precisión

La industria de la maquinaria agrícola constituye un caso particular de industria de bienes de capital en el que coexisten por un lado, sectores de producción seriada y estandarizada, con mayores grados de automatización, como es el caso de los equipos autopropulsados (tractores y cosechadoras), bajo control de empresas globales y por el otro, subsectores de producción en series cortas con un alto grado de adaptación a las condiciones locales como es el caso de las sembradoras, que han adoptado en algunas etapas de producción procesos automatizados y/o robots.

El nivel de esfuerzo en I+D medido con relación al volumen de ventas, es similar al del total de la industria. A partir del trabajo de campo realizado en el marco de este estudio, en el que se entrevistaron a cuatro empresas representativas del sector en Santa Fe fue posible identificar ciertas continuidades y cambios respecto a las trayectorias tecnológicas relevadas en trabajos previos (Lavarello, Silva Failde, Langard, 2010; Lavarello y Goldstein, 2011; Lavarello, 2013):

Las firmas de **tractores y cosechadoras**, que salvo casos particulares se trata de filiales de las principales empresas multinacionales, continúan centralizando los esfuerzos de I+D en sus casas matrices. Las pocas empresas locales, que habían tenido algún grado de crecimiento en el período 2003-2015, vieron limitada su expansión ahacia los equipos de gran porte y potencia, de mayor difusión debido a la dificultad que tienen para acceder a partes clave (barras de transmisión) explicada por acuerdos globales de aprovisionamiento entre las firmas líderes internacionales y el principal proveedor internacional (Carraro). La fabricación se realiza bajo un proceso seriado de montaje, con fuertes economías de escala derivadas de altos costos fijos y en el caso de John Deere incorpora procesos de automatización y robots de manera parcial, y sin conexión electrónica entre los mismos⁴⁹. Las actividades innovativas se limitan a la ingeniería de aplicación en los conjuntos o subconjuntos que fabrican las empresas, y cuentan con departamentos de ingeniería locales. En el caso de los tractores, los esfuerzos adaptativos requeridos son bajos y, en el caso de las cosechadoras, las empresas multinacionales resuelven la especificidad agronómica local a través de los proveedores locales de cabezales. La interacción con proveedores y clientes nacionales es de baja densidad. Su principal fuente de vinculación tecnológica es su propia red de proveedores internacionales, y las externalidades sobre la cadena local son débiles. A partir de los noventa, estas empresas centraron sus innovaciones en la organización de la producción con cambios del *lay out* por líneas de ensamble, a partir de una organización por flujo de demanda, organización del trabajo en células aunque con puestos fijos y bajo grado de autonomía de los trabajadores.

En contraste, entre las firmas que dominan los segmentos de **sembradoras y otros implementos**, existe una relativamente alta proporción de empresas locales que cuentan con

⁴⁹ Como se señala en el caso de las pulverizadoras, la adquisición de la empresa Pla y la instalación de una nueva planta en la región de Las Parejas puede resultar en la incorporación de tecnologías I4.0.

capacidades tecnológicas de diseño e ingeniería de productos. En el marco de las entrevistas realizadas a dos empresas de este subsector, se pudo verificar que estas capacidades se concentran en la metalmecánica, y no en la electrónica, aspecto reconocido por los entrevistados como necesidad frente a los desafíos del sector ante la agricultura 4.0. Estas capacidades internas en ingeniería mecánica se complementan con una alta densidad de vinculaciones con proveedores y usuarios nacionales (en orden de importancia), con asociaciones empresarias y centros tecnológicos. Las firmas no realizan mayormente ensayos en campo y las máquinas se prueban con los usuarios. Son pocas las empresas que adoptan mejoras en la organización de la producción en general utilizan esquemas de *lay out* y tecnología de proceso construidas *ad hoc* durante los distintos ciclos expansivos de la industria, y las actividades de desarrollo asumen un rol contracíclico a fin de utilizar las capacidades de ingeniería excedentes. Se evidencia un bajo grado de estandarización de piezas y partes entre distintos equipos. Los operarios, si bien realizan funciones adicionales de programación y puesta a punto de maquinarias, no se encuentran sujetos, salvo las empresas más grandes, a una organización según el flujo de demanda. Desde los noventa, las empresas realizan esfuerzos de desarrollo de una cultura de la calidad. No obstante, la posible instalación de una línea de producción de una empresa multinacional que fabricaría con altos grados de automatización y robots una línea de sembradoras originó que algunas firmas líderes locales estén avanzando en aprovechar economías de escala en las etapas corte y plegado aguas arriba, y pintura aguas abajo al mismo tiempo que avanzan en la incorporación de mayor número de robots en líneas específicas.

Las empresas del subsector de **pulverizadoras** priorizan los esfuerzos de desarrollo y diseño de producto por sobre las innovaciones en la organización de la producción. Tal como se reveló en el trabajo de campo, en este segmento se están produciendo cambios mayores en la propiedad de las empresas, con la adquisición de la principal firma de pulverizadoras PLA S.A por la empresa multinacional John Deere, lo que resulta en la construcción de una nueva planta con altos grados de automatización y robots en las distintas etapas de ensamble de los equipos. Por su parte, son pocas las empresas que cuentan con una alta densidad de vinculaciones tecnológicas con clientes y proveedores locales, limitándose a partes y piezas menores. Mientras que la empresa estuvo bajo el control de empresas locales, las vinculaciones con agencias locales de promoción de la Ciencia y Tecnología (CyT) se realizaron a través de las cámaras sectoriales regionales y resultaron en importantes avances en sus capacidades tecnológicas. Estas vinculaciones les permitieron a las empresas líderes avanzar en la incorporación de tecnologías de precisión y la validación de los equipos con los usuarios.

Por último, existe una importante **base local de agropartistas** que realiza esfuerzos innovativos internos. Dada la importancia del diseño adaptativo de partes y piezas, la vinculación con los usuarios locales refleja una alta densidad, que trasciende las relaciones comerciales e incluyen la realización de mejoras y adaptaciones de productos. No obstante, son pocos los agropartistas que incorporaron innovaciones organizacionales, mostrando poca capacidad de responder en tiempo y volúmenes a los cambios en los requerimientos de las terminales.

De esta manera es posible afirmar que existe una suerte de *trade-off* entre las capacidades tecnológicas de diseño y las organizacionales de las empresas. Las empresas de sembradoras, y agropartistas cuentan con capacidades de ingeniería de producto y se articulan con el sistema nacional de innovación, pero enfrentan debilidades en la organización del proceso productivo para adoptar innovaciones en los procesos. En cambio, en el caso de la fabricación de tractores, las firmas están insertas en cadenas globales de valor de las empresas multinacionales y cuentan con mayores competencias organizacionales en procesos, pero carecen de capacidades de ingeniería y desarrollo de producto locales así como con vinculaciones con los proveedores, clientes e institutos de CyT locales. A partir del trabajo de campo de este estudio se ha podido constatar importantes, aunque aún incipientes, cambios en la trayectoria tecnológica de la fabricación de pulverizadoras tras la adquisición de la principal empresa local por la empresa líder en maquinaria agrícola global, que resultaría por un lado,

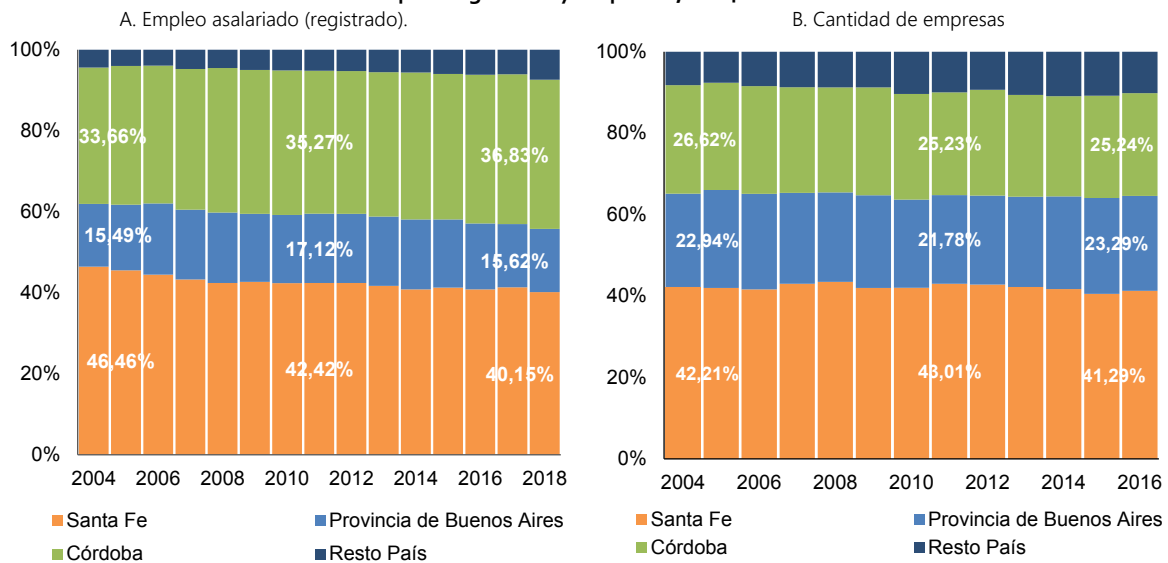
en la incorporación de procesos automatizados y la robotización de numerosas secciones de producción, y por el otro, una menor vinculación con los organismos y cámaras locales.

3. La industria de la maquinaria agrícola en Santa Fe

La provincia de Santa Fe conforma uno de los núcleos más importantes de la industria de bienes de capital en la Argentina. En 2016, la producción de maquinaria y equipo (CIU 29) en la provincia representó más del 20% del valor agregado nacional de esta industria (IPEC). En el empleo asalariado registrado, la incidencia de la provincia en el país es incluso mayor, y alcanza el 22,5% de los puestos de trabajo del sector (15.863 provinciales sobre 70.554 puestos de trabajo nacionales). La relevancia de esta actividad en la provincia también se pone de manifiesto al observar que mientras la fabricación de bienes de capital representa el 2,1% del Producto Bruto Geográfico, la contribución de esta actividad en el producto nacional alcanza sólo el 0,8%.

Al interior de la industria de bienes de capital, Santa Fe se destaca particularmente en la producción de maquinaria agrícola. De acuerdo con los datos provistos por el OEDE, junto a Buenos Aires y Córdoba, las tres provincias explican el 93% del empleo registrado del sector (2018) y aglutinan el 90% de las empresas fabricantes (2016). De las tres, Santa Fe es la principal ya que concentra más del 40% del empleo (12.184 puestos de trabajo en 2017) y el 41,3% de las empresas (211 sobre 511 en 2016). Se verifica, no obstante, cierta tendencia que marca la caída de la participación de Santa Fe en el total nacional (participación que gana Córdoba).

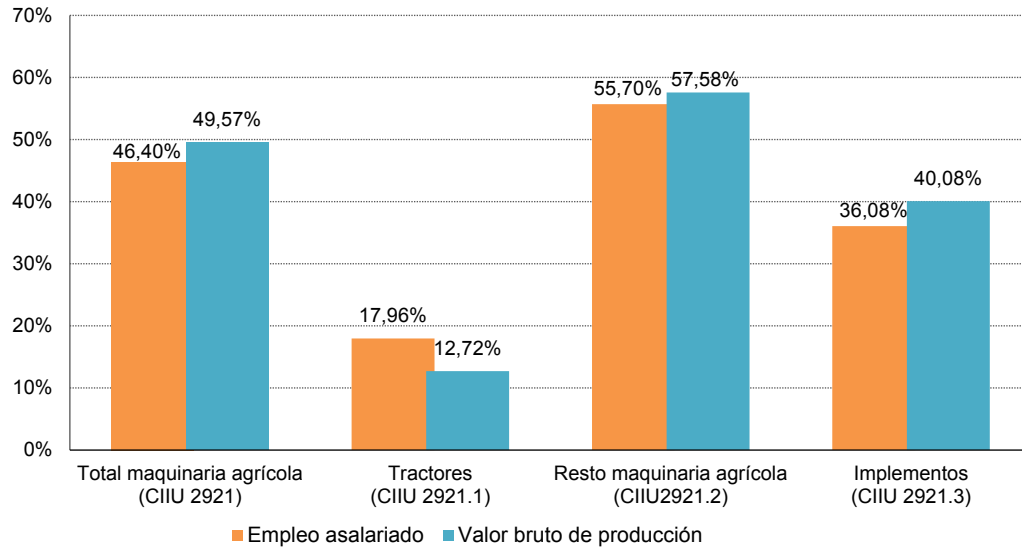
Gráfico 19
Distribución geográfica del sector de fabricación de maquinaria agropecuaria (CIU 2921):
empleo registrado y empresas, 2004-2016



Fuente: Elaboración propia a partir de OEDE.
 *2018 no incluye cuarto trimestre.

Los datos del Censo Económico (referidos al año 2003) permiten observar que Santa Fe se especializa principalmente en la fabricación de segmentos de maquinaria agrícola distintos a tractores (rama 2921.2) y, en segundo lugar, en la fabricación de implementos agrícolas (gráfico 20).

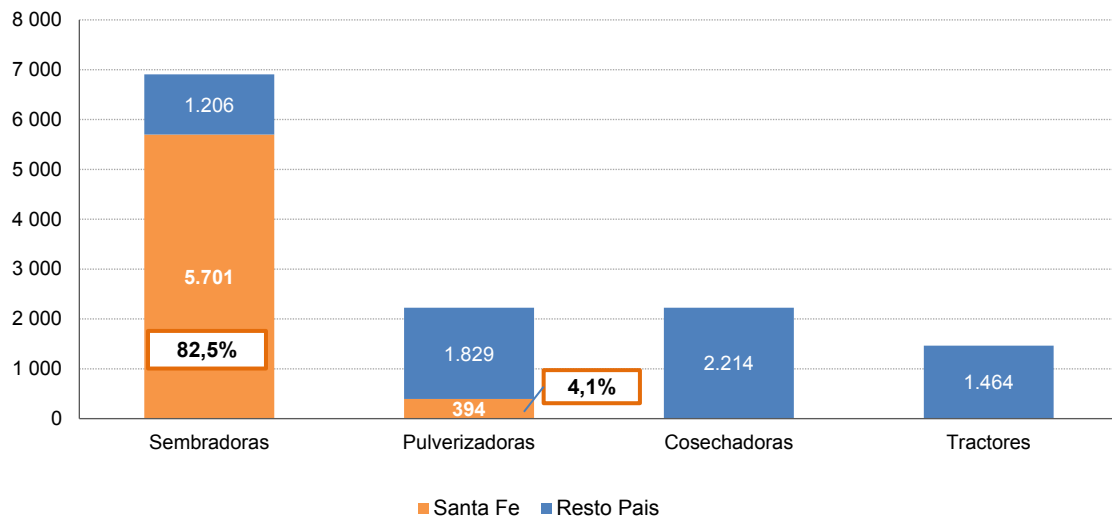
Gráfico 20
Industria de la maquinaria agrícola: participación de la provincia en el total nacional, 2003



Fuente: CNE 04-05.

Los datos de exportaciones permiten precisar y actualizar la especialización de Santa Fe. Como se observa en el gráfico 21 la provincia se destaca fundamentalmente por las exportaciones de sembradoras (entre 2017 y 2018, el 82,5% de las exportaciones de sembradoras nacionales tuvieron origen en Santa Fe). Por otra parte, la provincia no exportó tractores y las exportaciones de cosechadoras fueron prácticamente insignificantes (0,43% del valor exportado por la Argentina). Finalmente, se observa que, aunque muy baja, la provincia posee cierto nivel de exportación de pulverizadoras (4,1% de la exportación nacional).

Gráfico 21
Exportaciones por rubro y origen, promedio 2017-2018
(Millones de dólares)



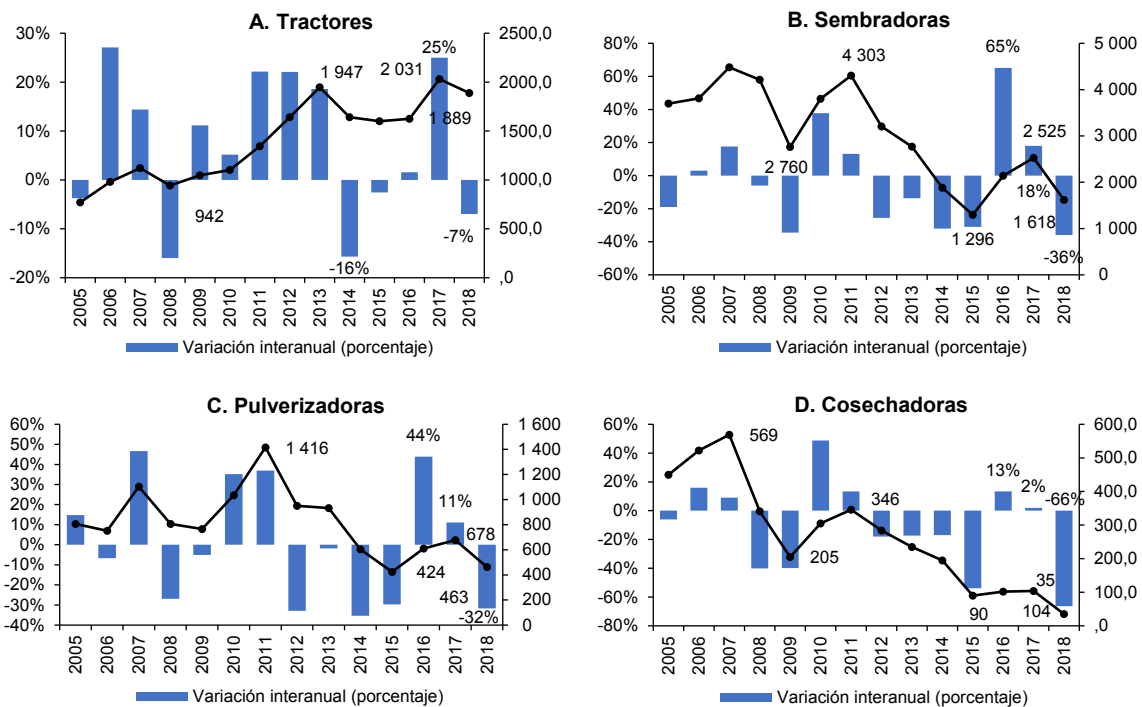
Fuente: INDEC e IPEC.

C. Evolución reciente del sector de maquinaria agrícola en la Argentina y en la provincia de Santa Fe

En términos generales, la evolución de la producción durante los últimos años muestra un comportamiento similar entre los diferentes segmentos que conforman la industria de la maquinaria agrícola con etapas bien marcadas (gráfico 22): (i) con posterioridad a la contracción 2008-2009 (cuando se combinaron la crisis internacional, la sequía y el conflicto por los derechos de exportación), existió un período de crecimiento de la producción que culmina en 2011; (ii) le sigue una fase de contracción (con excepción de la fabricación de tractores que mantiene aumentos de la producción hasta 2013), y (iii) una fase de recuperación de las unidades físicas durante el bienio 2016-2017, que acompañan el proceso inversor en el sector agrario tras la devaluación y la reducción de los derechos de exportaciones a los granos, que se aborta nuevamente en 2018.

Sin embargo, este patrón general contiene algunas diferencias entre los segmentos de la industria. En el caso de la fabricación de tractores, luego de su caída en 2008, crece ininterrumpidamente hasta 2013 cuando alcanza las 1.947 unidades. Es el único segmento de la industria que crece durante 2012 y 2013. Además, la merma de 2014 y 2015 (que como se verá posteriormente se encuentra mayormente explicada por la caída de las ventas externas) es sensiblemente inferior a la de los otros segmentos. La recuperación posterior a 2015 le permitió alcanzar un récord de producción en 2017 con 2.031 unidades producidas.

Gráfico 22
Evolución de las unidades producidas por segmento de la industria



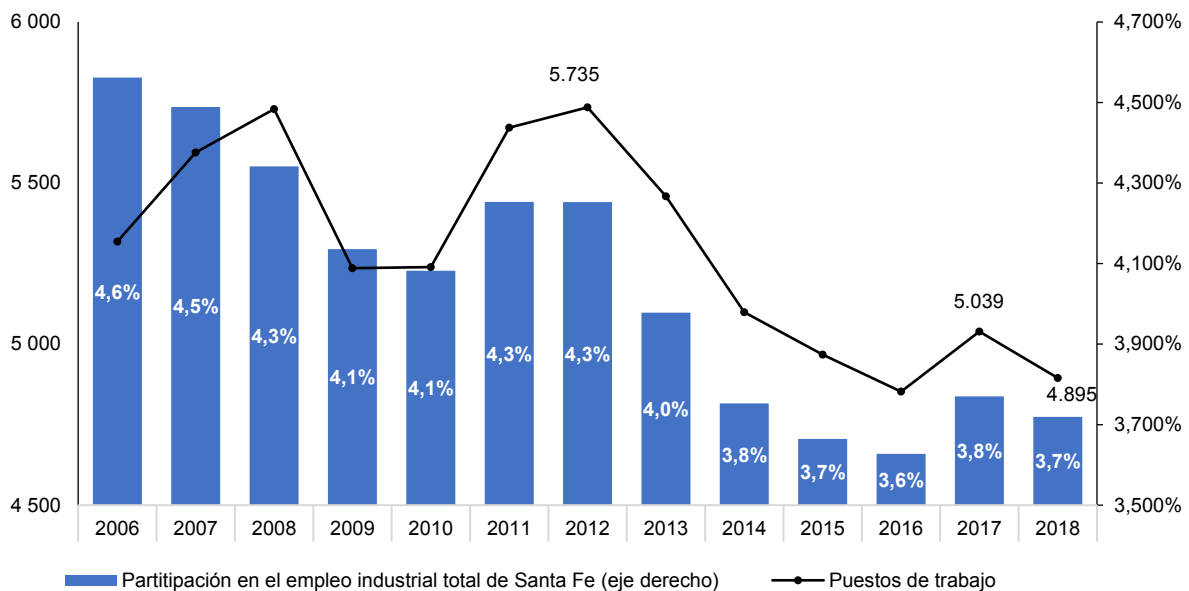
Fuente: INDEC.

Por su parte, la recuperación de la producción de cosechadoras a partir de 2016 (asociada a un aumento de las compras nacionales ya que las ventas externas permanecen prácticamente estancadas en este período) es muy leve y no quiebra su trayectoria en declive. Las unidades producidas en 2018 fueron solo 35. Las sembradoras y pulverizadoras muestran una trayectoria bastante similar. Si bien la recuperación durante 2016-2017 promovida por las ventas en el mercado nacional es importante, no logra compensar la gran caída sufrida entre 2011 y 2015.

En el caso específico de las sembradoras, la producción pasó de 4.303 unidades producidas en 2011 a 2.525 en 2017. En 2018, volvió a caer a las 1.889 unidades (contracción del 56,1%). Con relación a los implementos, la producción de tolvas mostró una mayor caída desde 2011 que la producción de cabezales (tanto maiceros como girasoleros).

En lo específico a la industria de maquinaria agrícola en Santa Fe, no existen datos para evaluar su evolución reciente. Una forma de aproximarla es a partir de la dinámica del empleo registrado (gráfico 23). La fase de contracción del sector a nivel nacional (2011-2015), se refleja en la evolución del empleo registrado en el sector. Mientras que en 2012 existían 5.735 puestos de trabajo asalariados, en 2015 los mismos habían descendido a 4.967 (768 puestos menos). La recuperación del año 2016 no impactó en la generación de empleo, incluso ese año se volvieron a perder puestos de trabajo (115). Recién en 2017 el empleo logró recuperarse por primera vez desde 2012. Sin embargo, este proceso se vio abortado en 2018. Es de destacar que durante los últimos años, Santa Fe fue perdiendo participación en el total del empleo nacional: del 4,3% en 2012 al 3,7% en 2018.

Gráfico 23
Evolución de los puestos de trabajo registrados en la industria de maquinaria agrícola (CIU 2921) en Santa Fe



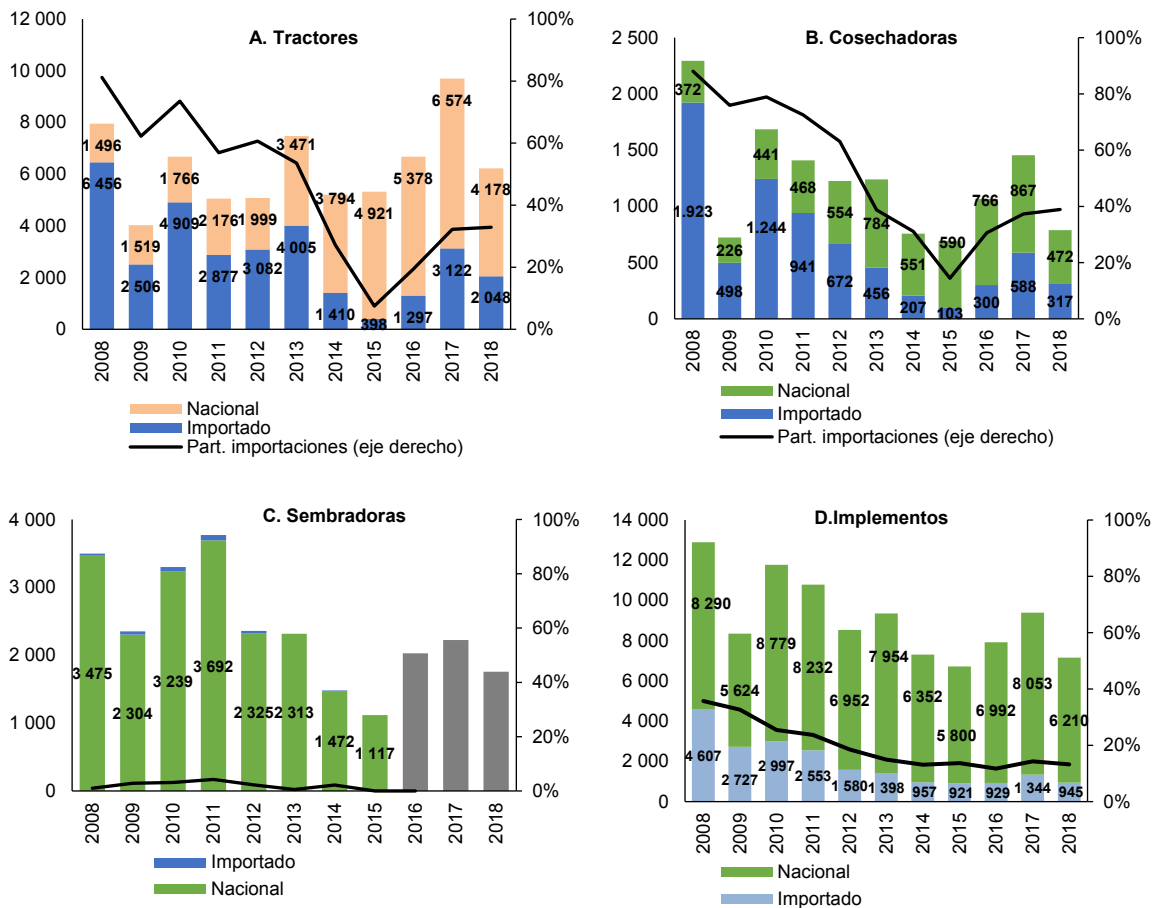
Fuente: OEDE.

Las ventas del sector también siguieron un patrón común entre los diferentes segmentos. Por un lado, la caída de la producción del período 2011-2015 se da en el marco de una importante contracción del mercado interno como se observa en la evolución de las unidades vendidas en el mercado nacional (gráfico 24). Las ventas de sembradoras cayeron más del 70% entre 2001 y 2015 (3.771 unidades y 1.117,

en 2011 y 2015 respectivamente). Por su parte el mercado de cosechadoras se contrajo un 50,8% y el de implementos 37,7% en el mismo periodo.

La excepción fue el mercado de tractores, donde las ventas crecieron hasta el año 2013 (las ventas en 2015 fueron prácticamente las mismas que en 2011). En segundo lugar, el gráfico 24 permite constatar que la recuperación de la producción nacional observada en 2016-2017 (gráfico 22) se da en paralelo a un proceso de inversión en el sector agrícola, como refleja la recuperación de las unidades vendidas en estos años. Tanto en tractores como en cosechadoras y en sembradoras prácticamente se duplicaron las ventas. En tercer lugar, se confirman las diferencias estructurales en relación con la incidencia de las importaciones en cada segmento de la industria, sobresaliendo el caso de las sembradoras donde la producción nacional abastece casi todo el mercado local. Sin embargo, más allá de estas diferencias estructurales se observan dos fases que presentan un comportamiento opuesto con relación a la incidencia de las importaciones. Desde 2011-2012 tuvo lugar un proceso de sustitución de importaciones en las empresas líderes en la fabricación de tractores y cosechadoras (Agco, CNH, John Deere, Class, Agrale). En el caso de los tractores, las unidades importadas pasaron de representar el 60,7% (2012) del total de ventas a sólo el 7,5% (2015). En el caso de las cosechadoras, la participación de las importaciones cayó del 63,1% (2012) al 14,4% (2015).

Gráfico 24
Unidades vendidas en el mercado local (nacionales e importadas)



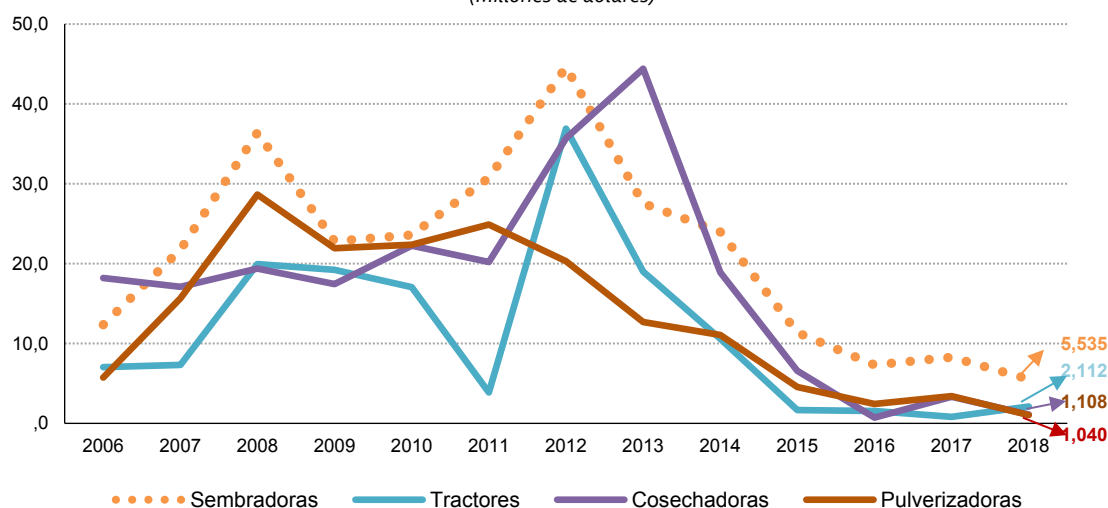
Fuente: UNCOMTRADE e INDEC

Esta tendencia se revierte en 2016. En ambos segmentos la recuperación de las ventas a partir de entonces fue impulsada principalmente por las importaciones de equipos. El coeficiente de importaciones trepó en 2017 al 32.2% en tractores y 37,3% en cosechadoras. En el caso de los implementos y sembradoras la incidencia de las importaciones se mantuvo baja y estable durante los últimos años. Particularmente en el caso de las sembradoras, la incidencia de las compras externas fue prácticamente nula⁵⁰.

Con relación a las exportaciones, los datos relevan distintas fases en la evolución de las ventas externas. La fabricación de tractores, orientada principalmente al mercado interno, tuvo un aumento de las exportaciones en 2012, cuando treparon a los 37 millones de dólares. Sin embargo, desde entonces las exportaciones cayeron hasta 2015 cuando se estabilizaron en un valor promedio en torno a 1,5 millones de dólares (2016-2018). La caída en las exportaciones de tractores es explicada fundamentalmente por la baja en las compras desde la República Bolivariana de Venezuela (por sí solo explica una pérdida de 17 millones de dólares en el período). En el caso de las cosechadoras el pico fue en 2013 con 44 millones de dólares, mientras que la exportación anual media en 2016-2018 fue de solo 1,7 millones de dólares. Al igual que en los tractores, esta tendencia decreciente se explica básicamente por la República Bolivariana de Venezuela (generó la pérdida de un mercado de 20 millones de dólares). En pulverizadoras la caída de las ventas externas comienza en 2008 y se estabiliza en el trienio 2016-2018 en alrededor de los 2 millones de dólares. En ese caso, no sólo se pierde el mercado venezolano (4,3 millones de dólares) sino el uruguayo (5,8 millones de dólares), seguido de Rusia y el Estado Plurinacional de Bolivia (2,4 y 2 millones de dólares, respectivamente). Finalmente, las sembradoras alcanzan el máximo valor exportado en 2012 con 45 millones mientras que el promedio exportado en los tres últimos años apenas supera los 7 millones de dólares. El principal mercado de destino que se contrae es el Estado Plurinacional de Bolivia (que pasó de comprar 10,4 millones a solo 2,2 millones), seguido por la República Bolivariana de Venezuela (pérdida de 6,9 millones) y el Uruguay (6,4 millones)

Pese a que cae como el resto de los segmentos, las sembradoras se mantienen como el rubro de mayor exportación (en 2017 explican aproximadamente el 50% del valor exportado del sector)

Gráfico 25
Exportaciones por segmento de la industria, 2006-2018
(Millones de dólares)



Fuente: UNCOMTRADE e INDEC.

⁵⁰ En 2016, 2017 y 2018 no es posible discriminar las unidades nacionales y las importadas ya que el INDEC no las publicó por motivos de secreto estadístico.

D. Trayectoria tecnológica previa y grado de adopción de las tecnologías 4.0

Como se adelantó en la sección A de este capítulo, el patrón tecnológico de la industria de maquinaria agrícola a nivel internacional se enmarca en la larga trayectoria de las industrias de bienes de capital desde el siglo XVIII. Su papel central en los procesos de difusión intersectorial del progreso técnico sólo ha sido equiparado por la industria de software y microelectrónica industrial, actividades con las que la industria de bienes de capital avanza hacia una convergencia en el marco de la Industria 4.0 desde los 2000. En la Argentina, dicho proceso se evidencia a partir del vínculo entre la industria de la maquinaria agrícola y la importante expansión de empresas de agricultura de precisión locales, que luego de una primera etapa de rápida adopción de dispositivos electrónicos en los equipos, enfrenta desafíos a la hora de adoptar las tecnologías asociadas a la industria 4.0

1. Difusión de la agricultura 3.0

La Argentina se encuentra entre los países que, dada la disponibilidad de tierras fértiles abundantes y la existencia de un sector contratista difundido, posibilita la adopción de técnicas de agricultura de precisión sobre la base de las cuales se sustenta la difusión de la agricultura 4.0 (Swinton y Lowenberg-Deboe, 2002). El INTA comenzó a difundir y evaluar técnicas de agricultura de precisión (AP) desde fines de los noventa, realizando experiencias con monitores de rendimiento. Estas mediciones indican que el grado de difusión alcanzado era elevado hacia 2013 y concentraba el 82% entre las provincias de Buenos Aires (24%), Santa Fe (20%), Entre Ríos (20%) y Córdoba (18%) (Melchiori y otros, 2013).

Las principales técnicas de AP adoptadas según los relevamientos realizados por el INTA en 2018 indican que existen herramientas incorporadas a la maquinaria que, si bien ya tenían un importante grado de difusión en 2013, aumentaron su participación hacia 2018 (Melchiori y otros, 2018). Este es el caso de los pilotos automáticos en tractores y pulverizadoras que incrementaron su participación de 40% a 61%, los sistemas de corte por surco en sembradoras de 7% a 21%, los sistemas de siembra y dosificación variable en sembradores de 27% a 35%, y los sistemas de fertilización variable en pulverizadoras de 29% a 41%, respectivamente. Además de estas herramientas, los sensores para el control sitio específico de malezas que pasaron de 4% a 11%.

Uno de los cambios de relevancia observados entre los usuarios de la AdeP en 2018, es la incorporación de plataformas Web de gestión de información así como el uso de drones. A pesar de su reciente incorporación al mercado, su adopción alcanza el 34% y 40% de quienes practican la AdeP, respectivamente. Entre las fuentes de información disponibles para manejo por ambientes, los mapas de suelo fueron los más reportados, con un aumento de 58% a 72%. Las imágenes satelitales incrementaron su uso en un 19%, respecto de 2013 (Melchiori y otros, 2018).

Un aspecto para destacar de este relevamiento es que, si bien los productores tienden a realizar algún procesamiento de la información generada a partir de las herramientas de AdeP, el procesamiento de datos que realizan los usuarios no ha cambiado considerablemente en los últimos cinco años. Esto podría relacionarse con las capacidades de software que demanda el procesamiento de la información para la toma de decisiones. Es importante profundizar este aspecto, en tanto abre posibilidades para avanzar en el segmento de proveedores (más o menos) especializados de dispositivos de AdeP y aquellas firmas proveedoras de servicios intensivos en conocimiento que proveen las plataformas para el procesamiento de información a partir de la captación, sistematización y procesamiento de los datos.

2. Proveedores de agricultura de precisión y tecnologías 4.0

Desde el punto de vista de los proveedores de agricultura de precisión en la Argentina, un relevamiento de empresas realizado por Llachman y otros (2018) distingue entre distintos tipos de empresas sobre la base del tipo de producto o servicio que ofrecen en el mercado: i) proveedores de agropartes precisas que producen equipos y dispositivos de precisión, empresas de tamaño pequeño y mediano (en promedio 36 empleados); ii) servicios basados en el conocimiento de AdeP, empresas pequeñas o micro (en promedio nueve empleados) que proveen servicios a partir del procesamiento de datos extraídos de dispositivos de AP a partir de plataformas de TIC ; iii) AgTech, también empresas pequeñas (en promedio 19 empleados) que, al igual que los anteriores, prestan servicios en diversos eslabones de la cadena agroindustrial.

Es posible sostener tentativamente que este primer tipo de empresas —que podría caracterizarse como de “proveedores especializados” — surge de trayectorias previas muy diferentes. Así, en este segmento confluyen empresas cuyas capacidades, si bien complementarias a la AdeP, eran muy diferentes, ya sea de la electrónica o de la maquinaria agrícola, y que en respuesta a oportunidades y/o la presión competitiva en sus segmentos de origen han diversificado su actividad hacia la AdeP⁵¹.

En este segmento, y en el marco de este estudio, se entrevistó a una de las principales firmas a nivel nacional en el desarrollo y fabricación de productos de agricultura de precisión. Esta empresa ha llevado adelante desde 2012 una estrategia de I+D sustentada en alianzas estratégicas con firmas de maquinaria agrícola nacional. Su foco se encuentra en el desarrollo tecnológico de un componente clave electromecánico: un motor que se incorpora a distintos dispositivos.

Se trata de una empresa mediana localizada en Santa Fe, que surge como desprendimiento de una empresa de automatización y robotización en el período 2012-2013 y se vinculaba con la maquinaria agrícola como proveedora de consolas y otros implementos a la principal empresa de capital nacional de tractores, a partir de sus capacidades en ingeniería mecánica y electrónica. Cuenta con alrededor de 100 empleados, de los cuales 25 son ingenieros (17 mecánicos y electrónicos y cinco ingenieros agrónomos y de sistemas). El área de I+D se encuentra altamente integrado y su vínculo con instituciones de CyT se limita a contratar profesionales universitarios.

Su principal desarrollo tecnológico es un motor que se utiliza para un dosificador neumático y para los robots desarrollados previamente en su empresa madre. La empresa cuenta, entre sus principales productos, con monitores de siembra, dosificador neumático de alta velocidad, pilotos automáticos y banderillero satelital. En todos los dispositivos desarrollan la placa madre, el cableado, el hardware y el software, e importan los microprocesadores y ciertas inyecciones muy precisas.

Entre sus usuarios se encuentran las principales empresas de maquinaria agrícola locales. Además, son proveedores de una filial de las principales empresas multinacionales presentes en el Brasil. Cuentan con diferentes circuitos de venta: a fabricantes, a productores bajo recomendación de marca, a productores con máquina usada. Como se detalla en la sección D, aún en el caso de transferencia a fabricantes de maquinaria agrícola, no involucra transferencia tecnológica.

En materia de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, la empresa incorpora telemetría a partir de GPRS que —además de ofrecer la posibilidad al productor agropecuario de realizar un seguimiento en tiempo real de su producción, de monitorear la velocidad de aplicación de semillas, la humedad georreferenciada y programar alarmas mediante texto— posibilita a la empresa identificar problemas en los equipos y prestar servicios de postventa. También proveen a los usuarios con servicios de nube,

⁵¹ Hipótesis que se indagó a partir de estudios de caso existentes y entrevistas.

lo que permite al productor comparar patrones respecto a su historia previa, a partir de datos acumulados de uso personal, además de conectar al equipo en forma remota por telefonía móvil.

Existen otras empresas que combinan los desarrollos nacionales —como Abelardo Cuffia y D&E que desarrollaron monitores de siembra— y comercializan equipos importados de empresas globales de sistemas de navegación como es el caso Trimble. En ese marco se difunden plataformas propietarias (Vanatage de Trimble) y abiertas, para la gestión masiva de datos a través de conectividad remota. Un caso similar es la empresa para mapeo e imágenes, Runco S.A. que también adopta equipos y plataformas de empresas líderes internacionales a partir de protocolos ISOBUS. Sin embargo, a partir de entrevistas a empresas locales de este segmento, pude identificarse que las priorizan protocolos de comunicación privados que ofrecen funciones que el ISOBUS aún no ha incorporado.

Como ilustra el trabajo de Llachman y otros (2018) en promedio se trata de empresas cuyo patrón de innovación se basa en la introducción de nuevos dispositivos —65% de ellas comercializan al menos un producto resultado de su esfuerzo de innovación— aunque no quita que importen sensores, componentes importados y en muchos casos comercialicen simultáneamente equipos extranjeros. Se destaca que las firmas de agropartes de precisión emplearon en promedio seis personas con dedicación exclusiva, con un rol preponderante de la formación universitaria (en particular las ingenierías, las ciencias de la computación y las ciencias agrícolas) y la experiencia laboral previa. Las firmas protegen los resultados de innovación a través de patentes y marcas, fidelización de los clientes y llegar primero al mercado. Aún más importante es el hecho de que estas empresas se articulan a partir de relaciones con proveedores y usuarios que son las principales fuentes para la innovación. Fueron importantes las interacciones con el INTA, que ocupó un papel fundamental en la validación a campo de productos.

Si bien las empresas con desarrollo local se orientan principalmente hacia el mercado interno, más del 40% de las mismas registraron algún tipo de exportación.

3. Vínculo entre las empresas de agricultura de precisión y la maquinaria agrícola

El modelo de negocios de las empresas de agricultura de precisión se basa en la venta directa a los productores agropecuarios (dos tercios de sus ingresos) aunque las más dinámicas se vinculan con fabricantes de maquinaria agrícola a través de acuerdos. Luego, tienen lugar distintas modalidades de vinculación mercantiles y no mercantiles dependiendo de la escala y las capacidades tecnológicas de las empresas usuarias y proveedoras. Las empresas multinacionales de maquinaria agrícola no han integrado ni han mantenido acuerdos de colaboración con los proveedores de AdeP locales. Estas empresas cuentan con sus propios dispositivos integrados en el marco de su organización global o las alianzas con proveedores globales de estas tecnologías.

Se puede sostener, por tanto, que un gran porcentaje de equipos de maquinaria agrícola cuentan con dispositivos de agricultura de precisión en la Argentina. A diferencia de las primeras etapas de incorporación de estos dispositivos en los que no existía vinculación alguna entre las empresas, en los últimos diez años se ha avanzado hacia la realización de acuerdos comerciales mediante los cuales el proveedor de dispositivos asume las tareas de instalación en la planta de producción de la maquinaria agrícola y ambos comparten el servicio de posventa. Se ha podido detectar a partir de fuentes secundarias que estas alianzas son cada vez más importantes. Entre ellas, la firma de Agricultura de Precisión Plantium y la firma de tractores Pauny (Córdoba) desarrollaron un acuerdo para incorporar la autoguía desarrollada por Plantium en los tractores. Esto implica que la firma que compra un tractor Pauny tiene un monitor integral Plantium que puede hacer funcionar implementos inteligentes, como una fertilizadora de sólido y líquido, una pulverizadora o una sembradora. Si bien la firma Pauny ha comenzado a adoptar un estándar ISOBUS, para estos dispositivos Plantium desarrolla sus propios protocolos de comunicación, sin evidenciarse los límites de la falta de interoperabilidad y compatibilidad dado el carácter por el momento localizado del sistema técnico. En forma similar, Víctor Juri sumó tecnología de Plantium a fin de equipar el sistema Microfert 80, desarrollado para hacer

fertilización microgranulada. La empresa incorporó la terminal S.Box 11 que permite hacer el control de funciones en la aplicación de micronutrientes. También se puede hacer dosificación variable con el Microfert 80, recurriendo a los mandos electrónicos. Otra experiencia que da cuenta de estas alianzas es el convenio entre Plantium y Metalfor para proveer equipos de Agricultura de Precisión que se incorporan en las máquinas reacondicionadas. La firma Metalfor renueva maquinaria usada mediante estándares industriales que permiten hacer una completa puesta en valor y con garantía de fábrica. A través de la alianza, Plantium abastece a Metalfor con toda la línea de pilotos automáticos y las terminales S.Box7 y S.Box11. De esta manera, las máquinas reacondicionadas a nuevo pueden hacer, por ejemplo, pulverización con corte automático por sección y aplicación de dosis variable.

Puede inferirse que un conjunto de firmas, entre las que se encuentran liderando Plantium y Abelardo Cuffia, juegan un papel central en la difusión de la agricultura de precisión en la maquinaria agrícola. Estas firmas, al igual que los otros proveedores locales de AdeP, adoptan en general protocolos de comunicación específicos con un bajo grado de adopción del ISOBUS, y en el caso de recurrir a servicios basados en computación en la nube, la misma alcanza a su red de usuarios. Mientras predominen estándares específicos, existe un potencial de expansión para pequeñas firmas de servicios basados en conocimiento y AgTech locales, que faciliten la absorción de los datos de los dispositivos de precisión.

4. Empresas de servicios basados en conocimiento (SBS)

Estas empresas son emprendimientos recientes y pequeños —en términos de empleo y facturación— en relación los proveedores de agropartes precisas (Llachman y otros, 2018). En particular, las Agtech serían en su mayoría *start ups* que buscan instalarse en nichos de servicios para eventualmente vender sus empresas habiendo logrado una capitalización a partir de inversores. En ambos casos cuentan en promedio con tres personas en actividades de innovación con el papel preponderante de la formación universitaria (se valora la ciencia de datos y las ciencias de la computación), y presenta menos importancia la experiencia previa que en el caso de los proveedores de agropartes precisas.

Las firmas SBC en general basan sus servicios a partir de la captura de datos —tanto a través de imágenes aéreas, satelitales, el acceso a los datos de sensores instalados en equipos a partir de acuerdos con las empresas de AdeP o directamente con los productores—, el procesamiento de estos —con la utilización de algoritmos computacionales de Inteligencia Artificial (IA) y la computación en la nube— para luego ser entregados en forma accesible los usuarios finales, quienes acceden a los mismos a partir de plataformas digitales. Sus usos son variados, pero se centran en la caracterización de los microambientes en los que operan los productores, monitoreo específico de cultivos de la producción, identificación temprana de plagas a partir de drones o imágenes satelitales, o controles operativos a partir de datos georreferenciados de los sensores en los equipos. También se incluyen nuevos desarrollos que permiten trazabilidad en la cadena a partir de cadenas de bloques (*block chain*).

destacarse destacan en este segmento, que incluye a las SBC y AGTECH, empresas que han tenido un gran crecimiento como es el caso de Auravant (localizada en Buenos Aires), una *start up* nacional que ya tiene una cobertura de 3 millones de hectáreas. También sobresalen empresas extranjeras como la israelí Taranis y la nacional Geoagris. Empresas que ofrecen productos amigables y fáciles de trabajar. No obstante, sus fuentes de datos se basan mayormente en información satelital y de imágenes por UAV, y en menor medida de los equipos de agricultura de precisión.

E. Políticas para el sector y capacidades público-privadas existentes como plataforma de apoyo para el desarrollo y la incorporación de tecnología 4.0 en la provincia de Santa Fe

La principal política de apoyo al sector es el bono fiscal para la industria de bienes de capital que data de 2001 y en la cual se incluye a la maquinaria agrícola. Este bono favorece en mayor medida a las pymes. A través del decreto N° 196/19 se prorrogó el régimen con dos cambios principales: i) se redujo el porcentaje del reintegro, que en el caso máximo (pymes con total integración local de los insumos) alcanza el 8,4% de la facturación neta en el mercado doméstico (este porcentaje ya se había reducido del 14% original a 11,2% en 2018); y en simultáneo ii) se establece que dicho porcentaje puede ser incrementando hasta un 15% en la medida que se acredite la realización de inversiones destinadas a "la mejora de la productividad, la calidad y la innovación en procesos y productos". Sobre el costo de estas inversiones destinadas al desarrollo tecnológico, se ofrece un reintegro del 70%. Con esto se buscó compensar parte de la reducción del beneficio histórico y en paralelo fomentar las inversiones en nuevas tecnologías.

Con el reintegro a las inversiones en I+D, el bono fiscal puede trepar a un 9,7% de las ventas netas (en el caso de una pyme). A su vez, se estipula que las actividades y servicios tecnológicos asociados a los proyectos de inversión deben ser desarrollados por Unidades de Vinculación Tecnológica. De esta forma, se promueve la integración y transferencia entre las empresas y las instituciones de investigación. La lista de sectores comprendidos para contemplar las inversiones abarca, por un lado, Ingeniería, Diseño Industrial e Innovación Tecnológica y, por el otro, las actividades que se entiende comprenden la Industria 4.0: Sistemas de integración, Máquinas y sistemas autónomos, Internet de las cosas, Manufactura aditiva, *Big data* y análisis de grandes datos, Computación en la nube, Simulación de entornos virtuales, Inteligencia Artificial, Ciberseguridad, y Realidad aumentada.

Este cambio en el régimen abre oportunidades para la industria de la maquinaria agrícola y las pymes, en particular, en la medida en que se complementa con acciones sectoriales específicas desde aquellos centros tecnológicos y universidades que cuenten con las capacidades de I+D complementarias a los aprendizajes metalmecánicos de la industria de la maquinaria agrícola. La necesidad de desarrollar proyectos conjuntos entre empresas de maquinaria agrícola, AdeP y servicios basados en conocimiento es una vía poco explorada y que podría implicar el desarrollo local de paquetes tecnológicos.

Entre las capacidades estatales para la asistencia técnica y transferencia de tecnología con posibilidades de implementar acciones orientadas a la Industria 4.0 en Santa Fe, se destaca la Dirección General de Asistencia Técnica, dependiente del Ministerio de Producción. Se trata de un organismo público cuyo inicio data de los setenta en el marco de un proyecto de Naciones Unidas de apoyo técnico a los parques industriales concebidos como parques tecnológicos⁵². Cada uno de los cuatro parques existentes en Santa Fe contaba, así, con una oficina de asistencia técnica, más una oficina en Rosario. A partir de esta estructura, en 1976 se creó la DAT, se fusionaron en cinco unidades en Rosario, y se crearon cuatro delegaciones. Luego de la crisis 2001-2002, y frente a dificultades presupuestarias, la DAT crea

⁵² Naciones Unidas brindó asistencia técnica de especialistas internacionales técnicos en maquinaria agropecuaria que realizaron un diagnóstico inicial y, sobre esa base, establecieron las áreas de acción. Definieron un perfil de asistencia técnica de profesionales que formaron en el extranjero e incorporaron equipamiento que en la década del ochenta no se encontraba disponible en el país.

una cooperadora. La Provincia cedió el equipamiento a esta cooperadora que comenzó a brindar servicios para financiar insumos y equipamiento⁵³.

Aunque este organismo experimentó los sucesivos cambios de orientación de política tecnológica desde los setenta, con una importante reducción de personal⁵⁴, es el principal foco de capacidades estatales con que cuenta el Ministerio de la Producción provincial para implementar una política orientada a la Industria 4.0. Se trata de un organismo con una planta de personal altamente calificado en tecnologías vinculadas a las trayectorias tecnológicas mecánica, química y electrónica, que juega un papel importante en la articulación con capacidades complementarias de la Industria 4.0. Sus instalaciones se encuentran en la zona Sur de Rosario, en un predio de CONICET⁵⁵ junto a otros centros de I+D (INDEAR, IBR, INTI). Allí cuentan con distintos laboratorios, entre ellos, el de Cauchos, Plásticos, Estudios de Materiales, Ensayos mecánicos, Químico, el Laboratorio de Ensayos de Automotores y Especiales y de Ordeño mecánico.

A partir de 2015, la cooperadora de la DAT se constituyó formalmente como Unidas de Vinculación Tecnológica (UVT) y desde entonces ha llevado adelante 23 proyectos tecnológicos, 15 financiados con instrumentos nacionales (FONTAR) y ocho con financiamiento del Ministerio de Ciencia y Tecnología provincial. Si bien su reducida planta de personal les impide realizar las actividades de extensión necesaria para la difusión de la Industria 4.0, cuenta con una plataforma inicial de articulación que puede potenciar acciones en este sentido.

Un resultado (indirecto) de las respuestas defensivas de la institucionalidad pública, frente a esta evolución institucional marcada por las crisis presupuestarias y el compromiso del personal altamente capacitado, es su importante acción de vinculación con el resto de los institutos CONICET e INTI instalados en el mismo predio, y con los centros tecnológicos, que en su mayoría, surgieron a partir de la experiencia y, en algunos casos, como desprendimientos (*spin offs*) de la DAT. Este es el caso del Centro Tecnológico de Muebles de Cañada de Gómez (de la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina, ADIMRA), de la Cámara Argentina de Fabricantes y Proveedores de Equipamientos, Insumos y Servicios para la Cadena Láctea (ADIMRA), del Centro Tecnológico en el Trébol y en cierta medida de CIDETER.

De esta manera la DAT se constituye como un organismo con potencial para articular desde el Estado provincial la Industria 4.0. Para ello, es importante combinar una capacitación del nuevo personal joven, con la experiencia de los ingenieros con trayectoria que están actualmente en el plantel, acceder a la formación en centros tecnológicos internacionales y ampliar el personal a ingenieros electrónicos para laboratorios, e ingenieros en sistemas e industriales⁵⁶. De esta manera se alcanzaría una capacidad interna potente, para seguir especializándose y externalizar el resto de las actividades.

⁵³ Se trata de la Agencia DAT Cooperadora de Desarrollo, en la que están representadas diez empresas metalúrgicas, metalmecánica e inyección plásticos, y miembros revisores de la DAT.

⁵⁴ En 1980 llegaron a contar con un personal de 57 ingenieros y técnicos en especialidades mecánica, química, metalurgia y electrónica que se formaron en el extranjero, en Italia y Alemania. En los noventa, cuando se retira el financiamiento de Naciones Unidas, se reduce la planta y cuentan actualmente con 18 personas (ingenieros mecánicos, licenciado en química Industrial, técnicos universitarios en mecatrónica) y está terminando el proceso de selección para incorporar siete personas (un ingeniero Industrial, un ingeniero en sistemas y becarios con formación en química).

⁵⁵ Colaboran con centros de CONICET en ciertas áreas disciplinarias como las de telemetría. Tienen contratado con CONICET el acceso a redes. En 2009, crearon un centro de diseño y simulación a partir de financiamiento del BID.

⁵⁶ Estos últimos cumplirían la función de extensionismo al ser las caras visibles de la DAT en el territorio en temas de automatización, y telemetría. e identificar los sectores que son más relevantes en la difusión de estas tecnologías que aún no están claramente delimitadas.

En este marco, es de crucial importancia el papel que cumple la fundación CIDETER como referente del empresariado a nivel local, en el conjunto de acciones orientadas a la generación de capacidades tecno-productivas en la industria de la maquinaria agrícola, entre las que se incluyen iniciativas orientadas a adoptar tecnologías asociadas a la denominada Industria 4.0. Desde fines de los noventa, la fundación se convierte en una Unidad de Vinculación Tecnológica que coordina proyectos público-privados de innovación y modernización tecnológica del FONTAR, dependiente la Agencia Nacional de Políticas Científicas y Tecnológicas (ANPCyT). CIDETER se transformó en una de las pocas experiencias a nivel nacional en las que la existencia de una trayectoria de capacidades institucionales previas resultó en un proceso de políticas de abajo hacia arriba (*bottom-up*) (Lavarello, 2009). Comprende a casi la totalidad de empresas pymes nacionales, partistas y terminales⁵⁷, instaladas en sur de Santa Fe y este de Córdoba, a excepción de las filiales de las empresas multinacionales. Desde su creación llevó adelante una importante actividad de capacitación, que alcanzó a más de 40.000 personas entre operarios y profesionales de las empresas.

La focalización desde el período 2007-2008 de los instrumentos del FONTAR hacia el desarrollo de proyectos integrados como los Proyectos de Innovación Tecnológica (PITEC) le permitió avanzar con la creación de un Centro Tecnológico Regional permanente destinado al desarrollo de capacidades empresariales de I+D+i. De esta manera se conformó el Cluster Empresarial Cideter de la Maquinaria Agrícola (CECMA), a partir del financiamiento aportado para diversos proyectos — por distintas fuentes de financiamiento del gobierno nacional, provincial y organismos internacionales. A partir de 2016, con la interrupción de las líneas de financiamiento a nivel nacional del FONTAR, el CIDETER enfrenta un nuevo escenario propicio para la articulación de sus capacidades institucionales y tecnológicas en el marco de los instrumentos fiscales de apoyo a la industria, como es el caso de los bonos fiscales del régimen de promoción de bienes de capital.

Es de destacar que, en abril de 2019, CIDETER lanzó nuevos servicios tecnológicos orientados a la Industria 4.0. a través de una sala de mecatrónica que apunta a generar capacidades en los procesos productivos. Paralelamente se avanzó, por un lado, en la articulación con el Ministerio de Educación de la provincia de Santa Fe para la promoción de la mecatrónica en escuelas de educación técnica de la región y, por el otro, en la sensibilización y capacitación en la adopción de estándares ISOBUS junto al Centro Franco Argentino de Ciencias de la Información y Sistemas (CIFASIS) del CONICET, el INTI, la Universidad Nacional de Rosario, y los Ministerios de Producción, y de Ciencia y Técnica de la Provincia.

Esta articulación entre los niveles nacional, provincial y las cámaras de alcance interprovincial parten de la experiencia en el desarrollo tecnológico del CIFASIS-CONICET en materia de compatibilidad e interoperabilidad de dispositivos entre maquinaria agrícola y la agricultura de precisión. Esta iniciativa tiene como antecedente el convenio firmado entre la Cámara de Empresas Informáticas del Litoral y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación en 2015 para el desarrollo de proyecto vinculado con la aplicación de la norma ISOBUS en la industria nacional de implementos agrícolas. El convenio alcanzó a las compañías santafesinas Balanzas Hook (Venado Tuerto), Gentec (Villa Constitución), Sensor (Totoras) y SIID (Avellaneda) y al grupo de Agrobioinformática del CIFASIS. El aporte realizado por el Ministerio se concretó a través del Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (COFECyT) mediante el instrumento "Proyecto de Innovación para Eslabonamientos Productivos". Se conformó un plan de trabajo que incluyó una primera etapa, en la cual los investigadores desarrollaron un dispositivo genérico que cumple con la norma ISOBUS, y que serviría de puntapié inicial para que cada una de las empresas participantes generaran su propio desarrollo.

⁵⁷ De las 57 empresas incorporadas en el CIDETER, en 1998 llegó a agrupar aproximadamente 446 empresas con distinto grado de involucramiento en las actividades desplegadas. Este importante crecimiento le permite llegar al 60% de las empresas de maquinaria agrícola de la Argentina.

En la segunda etapa se prevé la transferencia de esta tecnología a las empresas. También se implementaría un Laboratorio ISOBUS, que quedaría instalado en el CIFASIS y al cual las empresas podrán recurrir tanto para probar sus productos en la etapa de desarrollo como para obtener una precertificación.

Es de destacar que actualmente sólo existen cuatro laboratorios de ensayo autorizados a nivel internacional para llevar a cabo el proceso de validación. Avanzar en esta dirección sería de crucial importancia para generar las capacidades de las empresas y coordinar una adopción estratégica de los estándares bajo distintos escenarios, buscando mantener el control del paquete tecnológico nacional y provincial. La canalización de estas iniciativas que se están llevando adelante entre CIDETER, INTI, CONICET y el Ministerio de la Producción podría dar una respuesta sectorial común y articulada, indispensable frente a eventuales estrategias ofensivas de empresas multinacionales que podrían desplazar a la industria nacional maquinaria agrícola en general, y santafesina en particular.

F. Limitantes y desafíos de política para la maquinaria agrícola de Santa Fe

En las secciones previas se fueron señalando una serie de cuellos de botella en la difusión de la Industria 4.0 en la industria de maquinaria agrícola de Santa Fe. El objetivo de esta sección es sistematizar y analizar esos elementos, para luego avanzar con los principales lineamientos de política industrial y tecnológica que permitan superar los límites que hoy enfrenta la industria de maquinaria agrícola de la provincia para la incorporación de tecnologías modernas en las empresas. Además en el recuadro 5 se analizan otros cuellos de botella relacionados con la dinámica de la industria local y la articulación al interior de la trama:

Un primer elemento es la magnitud y la composición de las capacidades y la infraestructura de CyT en Santa Fe, que plantean desafíos a la difusión de las nuevas tecnologías en el sector. En particular, se registran áreas de vacancia en recursos humanos calificados y equipamiento en los institutos tecnológicos y agencias de promoción. El caso específico de la DAT refleja una larga trayectoria en capacidades metalmecánicas y electrónica con personal muy calificado que debería reforzarse a partir de la incorporación de nuevo personal. Las capacidades en RRHH deberían fortalecerse así como la asistencia técnica en algunos sectores, como electrónica, sistemas y el desarrollo pyme. En tal sentido, la articulación con el tejido de centros tecnológicos le permitiría fortalecer las capacidades existentes, desarrollar otras relevantes y externalizar el resto.

Por otro lado, el sistema de extensionismo y algunas iniciativas puntuales de las delegaciones regionales del INTI, requieren ser fortalecidos. Asimismo, la incorporación en la DAT de un área con capacidades en ingeniería de sistemas e industrial que actúe directamente en el territorio en temas de automatización y telemetría facilitaría la identificación del potencial de adopción (parcial o integral) de las tecnologías I4.0. Ese rol debería complementarse con el de vinculador entre las necesidades tecnológicas de estos actores y una red de centros tecnológicos presentes en el territorio provincial que pudieran atenderlas.

También se identificaron ciertas competencias vacantes en los recursos humanos calificados en las empresas, algunas de ellas vinculadas con tecnologías blandas y otras más especializadas como la mecatrónica. La articulación existente entre las cámaras locales y otras asociaciones como CIDETER, la educación técnica y la Universidad Tecnológica Nacional es una herramienta que debería potenciarse con mayores recursos, en vistas a cubrir estas áreas. La experiencia en Las Parejas puede ser ampliada a otras localidades en esta dirección.

Sumado a lo anterior, las capacidades tecnológicas de las empresas no son suficientes y existen distancias en materia de base de conocimientos, para implementar tecnologías 4.0. En general, están

centradas en el desarrollo de producto y la metalmecánica, y presentan debilidades en I+D para la concepción de sistemas 3.0 y 4.0. La complementación de capacidades en ingeniería mecánica, con ingeniería electrónica, sistemas y agronómica en equipos de ingeniería propios o con centros tecnológicos cercanos es un requisito fundamental para acelerar los procesos de aprendizaje.

La provincia de Santa Fe cuenta con una muy importante normativa de fomento y reglamentación de parques industriales, que requiere ser revisada frente a los nuevos desafíos de la Industria 4.0, ya que sus principales beneficios se centran en la expansión de planta y no en la incorporación de nuevas tecnologías.

Un último elemento limitante que se identifica, es la calidad —y la recurrencia de fallas— de la infraestructura eléctrica. Estas representan un cuello de botella mayor para la incorporación de robots y la automatización de las plantas situadas en varias localidades de la provincia de Santa Fe. Las variaciones de tensión dañan con frecuencia los equipos e impiden avanzar en una mayor automatización; aspectos que son cruciales para las pymes locales metalmeccánicas.

Recuadro 5

La dinámica al interior de la trama santafesina de maquinaria agrícola y su impacto en la difusión de la I4.0

En el marco del trabajo de campo realizado en este estudio se identificó un conjunto de elementos que inciden en el proceso de incorporación de tecnologías 4.0 en el sector de maquinaria agrícola de la provincia de Santa Fe, vinculados con la estructura y la dinámica del complejo que se describen a continuación.

1. Acceso restringido a agropartes clave

Existe un limitado acceso a ciertas agropartes clave (barras de transmisión) que impiden la expansión de empresas locales hacia equipos autopropulsados de mayor potencia y mayor difusión en el tipo de explotación más dinámica. Esta dificultad se explica por la presencia de acuerdos globales de aprovisionamiento entre las firmas líderes internacionales (como John Deere y CNH) y el principal proveedor internacional (Carraro).

2. Débil vinculación entre usuarios y proveedores

Un desafío que surge de las entrevistas realizadas a empresas de maquinaria agrícola y proveedores de agricultura de precisión es que el vínculo entre proveedores y usuarios logre traducirse en la generación de capacidades en las tecnologías asociadas a la I4.0 por parte de los fabricantes de maquinaria agrícola. Por el momento, la vinculación se limita a la adopción de la técnica y no de la tecnología, entendida como capacidad para intervenir en la concepción de las funciones del dispositivo o la gestión de los servicios al productor. Por ejemplo, en la incorporación en pulverizadoras de la dosificación variable por parte de las firmas locales, no hubo un desarrollo conjunto electrónico desde la concepción. En este sentido, la articulación debe pasar de ser simplemente técnico-comercial a ser tecnológica.

3. Limitadas capacidades en el procesamiento de información agropecuaria

Este aspecto requiere ser atendido, en tanto abre posibilidades para diversificar el modelo de negocios establecido entre los proveedores locales de dispositivos de AdeP y las firmas nacionales y provinciales de servicios intensivos en conocimiento. La posibilidad de integrar maquinaria, electrónica y servicios es un aspecto que aún no se ha desarrollado en un esquema integrado desde su concepción. Al no contar con alianzas de este tipo, el procesamiento de los datos a partir de computación en la nube quedaría centralizado en aquellas empresas (o plataformas) globales con mayor posibilidad de aprovechar economías de red.4. El dilema en la adopción de estándares de comunicación

Otro desafío que surge es la necesidad de contar con una gestión estratégica en la difusión del ISOBUS, definiendo la modalidad y el momento adecuado para su adopción frente a distintos escenarios posibles. Desde la perspectiva de las empresas locales, la difusión de ISOBUS se presenta como un desafío para la industria de implementos y un serio riesgo para las empresas de agricultura de precisión. Frente a ello, se identifican dos escenarios posibles.

Mientras no haya entrada de grandes jugadores en la industria de maquinaria local e implementos, se puede optar por una adopción gradual e ir avanzando en el reforzamiento de las capacidades de las firmas, así como la adopción mixta de ISOBUS y protocolos específicos de comunicación y/o desarrollo de convertidores.

El ingreso de grandes jugadores con estos estándares, no solo en la producción de tractores, sino también en la de sembradoras e implementos, puede implicar un desplazamiento a mediano plazo de aquellas empresas locales que no adopten el estándar y un desplazamiento a corto plazo de las empresas locales de agricultura de precisión.

En uno u otro caso, las respuestas de la industria local requieren, por un lado, una articulación en el seno de las cámaras empresariales vinculadas con los productores locales, y un marco de incentivos y apoyo a la generación de capacidades institucionales en organismos públicos y asociaciones para la transferencia y desarrollo de tecnologías específicas, adopción y convenios de acceso a información, respetando las condiciones de privacidad y seguridad de los datos de los productores. Asimismo, la existencia de un Laboratorio ISOBUS, para validación y precertificación, gestionado por institutos tecnológicos, entidades académicas nacionales y asociaciones empresariales, sería de gran relevancia en un eventual proceso de difusión.

Fuente: Elaboración propia

G. Propuestas para el diseño de políticas para la Industria 4.0 en maquinaria agrícola

La industria de la maquinaria agrícola de Santa Fe ha logrado expandirse y mantener su participación en el mercado nacional en un contexto de creciente competencia internacional. Sus ventajas radican en la acumulación de capacidades metalmecánicas basadas en aprendizajes tecnológicos en los que la interacción con usuarios locales y, en algunos casos, con la infraestructura de CyT nacional localizada en la provincia ha sido clave. Esta trayectoria le ha permitido a la región mantener una importante participación en el mercado de las industrias de pulverizadoras, sembradoras y otros implementos. La adopción de dispositivos de agricultura de precisión a partir de acuerdos comerciales con proveedores locales ha facilitado la difusión de la agricultura 3.0 en la región a un ritmo acelerado.

No obstante, una serie de cambios mayores en el contexto competitivo como el desembarco de importantes marcas internacionales en el segmento de pulverizadoras; su posible expansión a sembradoras incorporando dispositivos no solo de agricultura de precisión sino también agricultura 4.0; y la adopción de estándares ISOBUS en los protocolos de comunicación electrónica entre tractores e implementos por parte de las grandes marcas internacionales, plantean nuevos desafíos a la industria provincial. Sin embargo, en la provincia de Santa Fe, se encuentran localizadas capacidades institucionales correspondientes a distintos niveles de gobierno que, de potenciarse, podrían dar respuesta a este reto.

En el cuadro 10 puede apreciarse de manera estilizada un conjunto de acciones que, de ser coordinadas a distintas escalas de acción de política, podrían dar respuesta a los desafíos de la denominada I4.0

La I4.0 demanda mayor articulación entre el sector productivo y la infraestructura de CyT

La difusión de las tecnologías asociadas a la denominada Industria 4.0 exige ampliar la base de conocimientos más allá de los aprendizajes metalmecánicos e incorporar en forma creciente la electrónica y la ingeniería de sistemas. Estas tecnologías requieren una articulación más estrecha de las firmas y la infraestructura tecnológica local con la infraestructura científica. En este sentido, un primer aspecto que surge de este diagnóstico es la necesidad de impulsar el fortalecimiento de la infraestructura de CyT en tecnologías asociadas con la Industria 4.0, no solo complementando la dotación actual de personal capacitado en competencias metalmecánica y electrónica de los institutos tecnológicos provinciales, sino también la articulación con CONICET y la UNR, que cuenta con capacidades en estas nuevas tecnologías en la provincia, particularmente en cuestiones asociadas a las redes y protocolos de comunicación. Si bien esta es una acción que la provincia está llevando adelante, debería combinarse con la transferencia a la Dirección Provincial de Asistencia Técnica de nuevas capacidades a partir de vinculaciones y el acceso a formación en Institutos Tecnológicos internacionales.

Fortalecer las competencias y el equipamiento 4.0

En forma paralela al fortalecimiento de la infraestructura de CyT, es de crucial importancia la formación de recursos humanos en las nuevas tecnologías, como lo está haciendo el CIDETER junto a la Universidad Tecnológica Nacional y el Ministerio de Educación de la provincia. La organización de la formación de los alumnos de escuelas técnicas en los centros tecnológicos y en los laboratorios universitarios a partir de programas de pasantías es una acción que se está llevando adelante y debería potenciarse en estrecha vinculación con las instancias nacionales, provinciales y locales. El equipamiento de los laboratorios de la infraestructura de CyT local y de la UTN a partir de acciones de política a nivel nacional son de crucial importancia para que estos se transformen en laboratorios de ingeniería piloto.

Expandir los beneficios fiscales y los instrumentos de financiamiento 4.0 para las pymes

La incorporación acelerada de capacidades tecnológicas en mecatrónica en el proceso productivo, la automatización y/o robotización parcial de los mismos requiere escalas de inversión y acceso a financiamiento a partir de instrumentos fiscales y crediticios. En el caso de las pymes, el desarrollo de soluciones 4.0 que impliquen rediseño de equipos en nichos que no sean ocupados por las grandes marcas requiere capacidades de diseño que involucren no solo competencias metalmecánicas sino en sistemas y electrónica, combinadas con conocimientos agronómicos. Para ello, es fundamental reestablecer a nivel nacional las líneas ANR de MINCyT, más allá del esfuerzo que realiza la Provincia en instrumentos similares; así como también incluir en estos financiamientos la adopción de protocolos de comunicación y/o de desarrollos que permitan la traducción entre estándares privados y abiertos. Existen instrumentos a nivel nacional, como el bono de bienes de capital, que exigen no solo gasto en equipamiento sino también gasto en I+D ejecutado juntamente con institutos tecnológicos. En estos desarrollos, CIDETER junto a la DAT y al INTI pueden jugar un papel crucial como Unidades de Vinculación tecnológica con la Infraestructura de CyT.

Readecuar el marco de incentivos y regulatorios contemplando los elementos de la I4.0

Los instrumentos de apoyo a las capacidades de las empresas, la formación de la fuerza de trabajo y la infraestructura de CyT solo son viables si se articulan a nivel nacional con un marco de incentivos y regulatorio consistente con la generación de capacidades en un entorno competitivo que disminuya las barreras de la entrada a las pymes locales. En este sentido, este segmento de empresas cuenta con desventajas en el acceso a componentes y partes críticas que exigen la intervención del gobierno provincial y nacional para el acceso en condiciones competitivas similares a las grandes marcas internacionales. En forma paralela, se requiere un abordaje estratégico en la adopción de estándares ISOBUS. Esto involucra, por un lado, la creación de un centro de validación público-privado de los protocolos de comunicación electrónica entre distintas instituciones y, por el otro, un proceso de migración a partir de convertidores/traductores desde estándares privados de agricultura de precisión a estándares públicos. De esta manera, y en forma combinada con la generación de capacidades en la adopción de dichos protocolos en los equipos, la industria local se encontrará preparada para no ser desplazada por la competencia de las grandes multinacionales.

Por último, este conjunto de áreas de intervención requiere establecer articulaciones sistémicas entre la infraestructura de CyT nacional, los centros tecnológicos y las empresas. La DAT puede ocupar un rol crucial (junto al CIDETER) en materia de difusión de la Industria 4.0 y, fundamentalmente, en el desarrollo de soluciones integradas entre maquinaria, hardware y servicios analíticos en el que participen empresas de maquinaria locales, proveedores de agricultura de precisión y empresas basadas en el conocimiento. Para ello, el gobierno provincial, a través de la DAT, puede jugar el papel de ventanilla de recepción de problemas tecno-económicos de las empresas de maquinaria agrícola y reorientarlas hacia el resto del sistema para su solución.

Cuadro 10
Áreas de política según organismo y nivel de intervención nacional, provincial y local

	Escala geográfica del gobierno / asociación involucrada		
	Nacional	Provincial	Local
Fortalecimiento de la Infraestructura de CyT en Industria 4.0			
Mayor Dotación de RRHH en electrónica, mecatrónica y sistemas	INTI, INTA	UNL, UNR, INTI (ROSARIO) DAT (Ministerio de la Producción)	
Pasantías, Plantas Piloto y Simulaciones en Ecosistema Centros Tecnológicos	CONICET (CIFASIS)	DAT (Ministerio de la Producción)	CIDETER
Vinculación y transferencia internacional en tecnologías I4.0	CONICET (CIFASIS) e INTA		
Formación y capacitación			
Formación en mecatrónica, ingeniería agronómica	UTN	Ministerio CyT y Educación	CIDETER
Pasantías en Centros Tecnológicos para estudiantes UTN y ENET	CONICET (CIFASIS)	DAT (Ministerio de la Producción)	CIDETER
Acelerar I+D y Aprendizaje en firmas			
ANR y Crédito Fiscal para innovación y modernización productiva	FONTAR, FONSOFT, Ministerio de Industria (bonos de bienes de capital) y Programa de Economía Conocimiento	Agencia Provincial CyT y Fundación de la DAT (como Unidades de Vinculación Tecnológicas)	CIDETER (como Unidad de Vinculación Tecnológica)
Ídem: Aprendizaje en protocolos de comunicación	CONICET (CIFASIS)	DAT	CIDETER
Marco de incentivos y regulatorio			
Línea de financiamiento para el sector de Bienes de Capital	Ministerio de Industria (bonos de bienes de capital)		
Organismo de validación y capacitación ISOBUS	INTI y CONICET(CIFASIS)		CIDETER
Articulación Sistémica			
Ventanilla de recepción de problemas tecno-económicos y articulación de red de centros tecnológicos	INTI, INTA a partir de las capacidades de sus centros regionales (Rafaela, Manfredi, Paraná,)	DAT como ventanilla de recepción y reorientación a centros tecnológicos	CIDETER como articulador sistémico local e interprovincial

Fuente: Elaboración propia.

V. El complejo lácteo santafesino, heterogeneidad en la adopción de las nuevas tecnologías asociadas a la Industria 4.0

Entre los complejos analizados en el marco de este estudio, el lácteo es aquel que además de constituir una de las principales actividades agroalimentarias de Santa Fe, tiene el potencial de ser uno de los principales destinatarios de las nuevas industrias 4.0. A diferencia de los sectores analizados anteriormente, este complejo se caracteriza por su carácter de industria usuaria de las nuevas tecnologías.

El complejo lácteo en la Argentina se desarrolló durante varias décadas con un fuerte comportamiento cíclico y una orientación mayoritaria hacia el mercado interno, dando lugar a la temprana consolidación de mercados oligopólicos con una estructura industrial fragmentada y heterogénea. Los cambios macroeconómicos y las políticas de apertura y desregulación de los mercados iniciadas en el país en la década del setenta y profundizadas en los noventa, impulsaron la reestructuración del sector, controlado por un reducido número de grandes empresas y conglomerados de capitales nacionales y extranjeros, con nuevas dinámicas productivas, comerciales y tecnológicas (Gutman, 1999, Gutman y otros, 2004, Gutman y Ríos, 2010).

La provincia de Santa Fe ocupa un lugar central, tanto en la producción primaria e industrial como por su peso en las exportaciones totales del complejo lácteo nacional. La incipiente difusión a nivel mundial de las tecnologías asociadas a la I4.0 en la etapa primaria (tambos) y en el procesamiento industrial, plantea interrogantes en relación con las oportunidades, desafíos y potencialidades que estas tecnologías ofrecen para potenciar la competitividad del complejo en la provincia, así como con las alternativas de política industrial y tecnológica que permitirían impulsar su difusión. En torno a estos interrogantes se organizó el trabajo de campo de este complejo, que incluyó entrevistas a informantes clave, empresas e institutos tecnológicos, además de distintas instancias de gobierno nacional y provincial. Los resultados que se presentan a continuación se concentran en las etapas de producción primaria y de procesamiento industrial.

En la primera sección se introducen las especificidades sectoriales y las tecnologías asociadas a la I4.0 en la producción primaria e industrial del complejo lácteo, considerando los principales proveedores globales de las mismas y sus estrategias. En la segunda se discuten, a partir de la experiencia internacional, las políticas implementadas para la promoción de tecnologías 4.0 en el sector. En la tercera se describe la estructura y evolución reciente del complejo lácteo en Santa Fe. La cuarta sección considera las trayectorias tecnológicas en el complejo lácteo, con especial foco en la etapa de procesamiento industrial. La quinta analiza el grado de difusión y adopción de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteo de la provincia y las dinámicas innovativas actuales con relación a la difusión de la I4.0 en el complejo, identificando los actores privados que dinamizan la trama a nivel provincial. En la sexta sección, por su parte, se bosqueja la infraestructura de ciencia y tecnología (CyT) asociada al complejo en la provincia, así como el contexto regulatorio sectorial, destacando las articulaciones público/privadas para el desarrollo y la incorporación de tecnologías 4.0 en el complejo, y las articulaciones entre los sistemas de CyT locales, provinciales y nacionales. Por último, en la séptima sección se discuten los cuellos de botella para la adopción de tecnologías 4.0 en el complejo y los desafíos de política e instrumentos para la formación de conocimientos y competencias especializadas orientados a impulsar la incorporación de tecnologías 4.0.

A. Especificidades sectoriales y nuevas tecnologías asociadas al complejo lácteo⁵⁸

El surgimiento reciente de tecnologías de avanzada o disruptivas englobadas en el término de industrias 4.0, junto al aumento de la competencia en los mercados mundiales, induce la reestructuración de las industrias alimentarias, impulsada por grandes empresas transnacionales de la alimentación, de la producción de equipos e insumos clave para estas industrias y de grandes y nuevas empresas (*start-up*) proveedoras de servicios tecnológicos. A continuación se describen las principales tecnologías 4.0 asociadas al complejo lácteo a nivel global, las especificidades de su difusión en las etapas de producción primaria y de procesamiento industrial de este complejo, y los principales proveedores globales de estas tecnologías¹. Las tecnologías I4.0 en el complejo lácteo

Frente al nuevo contexto regulatorio y competitivo en estas industrias, y al carácter perecedero de los productos lácteos, los sistemas digitales diseñados para asegurar la trazabilidad de los productos a lo largo de la cadena de valor cobran cada vez más importancia. En la articulación de las tecnologías de los diferentes dominios, las provenientes del dominio digital⁵⁹ asumen un rol central, permitiendo la reducción de tiempos y costos en las etapas de producción primaria e industrial y a lo largo de la cadena de valor. La adopción de estas tecnologías promueve el gerenciamiento sistémico de procesos y etapas, dando lugar a un mayor control a lo largo de la cadena de valor, al aumento la eficiencia en las etapas productivas, logísticas y comerciales, y a la generación de ganancias extraordinarias. El gerenciamiento de los grandes volúmenes de información generados bajo las nuevas tecnologías (ciencia de datos) reestructura a nivel mundial las industrias de insumos y de bienes de capital para estas producciones, con la oferta de nuevos servicios tecnológicos desarrollados por grandes jugadores globalizados como Google e IBM y por start-ups tecnológicas especializadas en sistemas de captura de información y plataformas en la nube (Wilkinson y Rama, 2017).

⁵⁸ Esta sección se basa en Andersen (2017), Connolly (2016), Cargill (2018); Connecterra (2018); Deloitte (2017), Wilkinson y Rama, (2018;) información proveniente de Daily Australia, TodoAgro, Portal Lechero; páginas web de empresas; y en las entrevistas realizadas a empresas e instituciones en Santa Fe.

⁵⁹ Las tecnologías 4.0 más relevantes en el dominio digital incluyen: Internet de las cosas (IoT); Inteligencia artificial (IA); ciencia de datos (*Big Data*); computación en el borde; información de teléfonos inteligentes (*smartphone data applications*); y cadena de bloques (*blockchain*).

El grado de difusión de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteos a nivel mundial es, por el momento, relativamente bajo y difiere en los distintos tipos de empresas. Su adopción está impulsada por las crecientes regulaciones en materia ambiental y de calidad y sanidad de los productos alimentarios, y por las estrategias de diferenciación de productos de las empresas en respuesta a las exigencias de alimentos saludables y seguros.

En respuesta a estos desafíos, las empresas lácteas comienzan a implementar en sus procesos productivos en la logística y en las relaciones con sus proveedores, y en los sistemas electrónicos de trazabilidad incluyendo tecnologías de IoT⁶⁰. Las empresas líderes adoptan sistemas para digitalizar sus actividades productivas y comerciales, buscando disminuir costos y tiempos de producción y circulación.

La adopción de sistemas digitales de rastreabilidad junto a las incipientes innovaciones en los lugares de consumo (casa conectada, cocinas inteligentes) promueve una mayor integración a lo largo de las cadenas de valor lácteas facilitando la implementación de sistemas *just-in-time*⁶¹.

En la difusión de estas tecnologías, en particular en las grandes empresas de la industria, la articulación proveedores-usuarios ha jugado un papel central. Los principales proveedores de las tecnologías 4.0 para el complejo lácteo conforman un conjunto de empresas globales diferenciadas por su tamaño, su origen y sus estrategias de especialización tecnológica y sectorial. Es posible identificar en ellas diversas estrategias empresariales y tipos de empresas. Se encuentran empresas especializadas en la provisión de parte de los componentes tecnológicos de la manufactura 4.0, y grandes empresas globales oferentes de paquetes tecnológicos completos y cerrados, como es el caso de DeLaval o GEA Westfalia; empresas orientadas a la provisión de servicios tecnológicos para una de las etapas del complejo, y otras que abarcan con sus servicios a productores tamberos y a empresas industriales; grandes jugadores globalizados como IBM o Cargill que comienzan a desarrollar tecnologías digitales para las empresas de la alimentación, junto a *start-up* tecnológicas que producen sistemas de software adaptados a diversas industrias y tamaños de empresas.

Las principales tecnologías 4.0 asociadas a las etapas primarias e industrial del complejo lácteo, y las orientadas a la articulación de la cadena de valor, así como algunos de los más importantes proveedores globales de estas tecnologías se presentan a continuación.

1. Tecnologías 4.0 en el tambo

En la etapa primaria del complejo lácteo, el tambo, las tecnologías digitales y de automatización o robotización de procesos han dado lugar al surgimiento del tambo de precisión y el tambo robótico, sustentado en el desarrollo de sistemas tecnológicos que combinan dominios físicos con dominios digitales para la captura de datos y plataformas en la nube con el desarrollo de software especializados.

El tambo de precisión comprende sistemas que integran varias tecnologías digitales que permiten medir para cada animal parámetros de interés, con el propósito de reducir costos y aumentar la eficiencia técnica y económica de los sistemas de producción de leche. Incluyen tecnologías (sensores) para medir indicadores fisiológicos, de comportamiento y de producción de cada animal, con el propósito de maximizar el rendimiento de la vaca, detectar tempranamente enfermedades, el nivel promedio de salud del rodeo y problemas en la producción. Ejemplos de este tipo de tecnologías son los sistemas de registro de rendimiento de la leche y diversos monitores para medir, entre otras variables, los componentes de la leche, la detección de la salud animal, la actividad de cada animal, el proceso de alimentación (rumia) de las vacas. La aplicación de estos sensores, junto al procesamiento de las informaciones captadas aplicando

⁶⁰ La empresa multinacional suiza Nestlé, por ejemplo, ha avanzado en la adopción de las plataformas tecnológicas informáticas para gerenciar sus actividades empresariales, y en el desarrollo de productos nutracéuticos (Wilkinson y Rama, 2018).

⁶¹ Los sistemas organizativos tecnológicos *just in time* posibilitan una rápida respuesta de las empresas a las demandas de sus clientes y la reducción de stocks y de espacios de almacenamiento.

software especializado y sistemas de apoyo a la gestión del tambo, mejora los procesos de toma de decisiones del productor tambero (tecnologías preventivas y predictivas).

Este sistema se complementa con tecnologías de automatización. Las más comunes y difundidas reemplazan trabajos de rutina: extractor automático de pezoneras, suministro de alimento individual o grupal, puertas de aparte de vacas para tratamiento o inseminación, entre otras. El tambo robot, constituye un paso adicional del tambo de precisión, integrando estas tecnologías con procesos robotizados. El ordeño robótico es una tecnología desarrollada al final de los ochenta que se difundió en la década siguiente, y ha estado disponible comercialmente en Holanda, el Reino Unido y en países como Canadá y los Estados Unidos desde mediados de los noventa. En este sistema, las vacas se ordeñan de forma autónoma y voluntaria, buscando lograr más ordeños y cosechar más leche. Puertas inteligentes de aparte autorizan o no el paso de los animales entre las distintas áreas. El sistema robótico identifica automáticamente a la vaca y aplica un aerosol desinfectante en los pezones antes de que un brazo robótico coloque la pezonera para ordeñar. Cada vaca cuenta con un collar o una caravana electrónica, que es leído por un sensor ubicado antes de la puerta. La robótica aplicada al ordeño es una tecnología que surgió hace más de 20 años, desarrollada inicialmente en explotaciones pequeñas de Europa para cubrir un déficit de mano de obra. En la actualidad, existen en el mundo más de 20.000 tambos comerciales robotizados, la mayoría en sistemas estabulados. Su inserción en tambos pastoriles es más reciente (los primeros trabajos datan de 2007-2008) y de mayor complejidad.

Los Estados Unidos, Canadá, Holanda, Nueva Zelanda y Australia, entre otros países importantes productores de productos lácteos, han implementado sistemas robóticos de ordeño y sistemas de tambos de precisión. A mayor producción de leche, menores costos de mano de obra y, simultáneamente, la generación de un importante número de registros digitales a través de sensores que impulsan el funcionamiento del tambo de precisión son los principales factores que incentivan a los tamberos a adoptar la robotización. Los proveedores globales de las diversas tecnologías que forman parte del tambo robot/tambo de precisión pueden ofrecer paquetes tecnológicos completos, llave en mano, en los que integran los diversos componentes digitales y de dominio físico de estos sistemas tecnológicos, o bien especializarse en la oferta de tecnologías robóticas o de servicios tecnológicos digitalizados. Como puede apreciarse en el recuadro 6, Nueva Zelanda, Holanda, Israel, Bélgica, Australia, Alemania son, entre otros, importantes países de origen de estas tecnologías, en general con representación en la Argentina

Recuadro 6

Proveedores de tecnologías I4.0 para el tambo

1. Paquetes tecnológicos integrados: Los líderes en la provisión de tecnología robótica para el tambo, que ofrecen paquetes tecnológicos completos y cerrados son DeLaval, empresa multinacional sueca y la empresa internacional holandesa Lely. Otras importantes empresas proveedoras de paquetes completos son la multinacional alemana GEA Westfalia, y Pearson Milking Technologies, empresa irlandesa que fabrica equipos robotizados para el ordeño utilizando tecnologías laser y de scanning. La mayor parte de estas empresas tiene oficinas comerciales en Argentina

2. Proveedores de tecnología no integrada: Entre estas empresas se encuentra Boumatic, una firma internacional de origen belga actualmente con casa central en EEUU, que ofrece robots para el ordeño utilizando tecnologías de programación de visión; y DairyMaster, start-up con base en Irlanda, que produce salas automatizadas de ordeño

3. Paquete de software integrado: Numerosas *start-up* tecnológicas se encuentran entre los principales proveedores de software especializados para el monitoreo digitalizado de algunos aspectos centrales de supervisión de la actividad del tambo (mastitis, identificación del rebaño, sobredosis de antibióticos, rendimiento). La información almacenada en plataformas en la nube se entrega al productor en sus computadoras o celulares. En su mayoría, ofrecen sus servicios tecnológicos a tambos de todos los tamaños. Entre ellas se encuentran:

Allflex, una empresa de Nueva Zelanda, líder en identificación animal con tecnologías de radiofrecuencia, visual y electrónica (caravana electrónica); integra esta tecnología con el uso de software de gestión, sistemas de pesajes automáticos de animales para seguimiento y control, sistemas automáticos de clasificación y aparte de animales, y

estaciones automáticas de alimentación de animales. Posee subsidiarias tecnológicas y de manufactura en varios países (Estados Unidos, Canadá, Europa, Australia, Brasil, China,) y redes de distribución en 80 países, incluida Argentina.

Afimilk, empresa israelí especializada desde hace más de 40 años en la provisión de soluciones tecnológicas para el monitoreo y seguimiento de diversos aspectos de la producción en el tambo, que cuenta con una red comercial en más de 50 países, incluida Argentina.

Connecterra, empresa holandesa de informática que ha desarrollado la plataforma IDA, un servicio basado en inteligencia artificial para asistir a los productores de leche utilizando la información recogida de las vacas lecheras, con collares inteligentes que disponen de sensores para monitorear el comportamiento animal, y de ese modo detectar problemas de salud con 24 horas de anticipación antes de volverse críticos. Sus sistemas están adaptados a todos los tipos de tambos.

Cainthus, *start-up* irlandesa (en asociación estratégica con Cargill desde fines del 2018) combina visión por computadora e imágenes predictivas basadas en inteligencia artificial para identificar y monitorear la salud y el bienestar del rodeo, proveyendo información diaria.

Fuente: Elaboración propia.

2. Tecnologías 4.0 en las industrias lácteas

Al igual que en el caso del tambo, algunas tecnologías asociadas a las industrias 4.0 comienzan a difundirse en las industrias lácteas, particularmente en las grandes empresas del sector, produciendo impactos disruptivos en las estructuras productivas y en las articulaciones en la cadena láctea, mientras que otras comienzan a desarrollarse. En general, se encuentran en una etapa inicial de difusión y provienen de los tres dominios señalados (digitales, físico y biológico):

- i) Tecnologías de automatización parcial de procesos asociadas a controles de calidad y seguridad de los productos, con sensores y plataformas en la nube.
- ii) Automatización total de procesos productivos, combinando software, hardware y equipamiento industrial en empresas con sistemas integrados de automatización. Estos sistemas posibilitan el control integrado de todo el proceso desde el preprocesamiento de la leche, el procesamiento y el control de lotes finales, compartiendo y centralizando la información para garantizar la seguridad y calidad de materia prima y productos.
- iii) Robotización de procesos parciales o aislados (robots de selección y colocación), como se observa en algunas empresas elaboradoras de quesos, y en las etapas de empaquetamiento y "palletizado". Todavía no se ha alcanzado la robotización de todo el proceso productivo.
- iv) Tecnologías basadas en el dominio digital, tanto para las tareas de gestión comercial de las firmas como para asegurar la trazabilidad de los productos en las diversas etapas productivas de la empresa, incluyendo almacenamiento y logísticas. Dentro de ellas comienza a difundirse la tecnología de bloques (*blockchain technology*), para asegurar la trazabilidad, el control, y la comunicación a lo largo de todas las etapas de las cadenas de valor del complejo lácteo⁶². Estas tecnologías garantizan la calidad y seguridad de los alimentos, aseguran el control del origen de cada insumo y facilitan estrategias de justo a tiempo y la "customización" de la producción, impulsando la coevolución entre las innovaciones tecnológicas y las organizacionales.

⁶² Se trata de una base de datos numéricos infalsificables en la que se inscriben todas las informaciones y todas las intervenciones efectuadas en cada una de las etapas por el conjunto de los actores de la cadena. Con tecnologías digitales y almacenamiento en la nube, consiste en sistemas de trazabilidad en tiempo real de las cadenas alimentarias basadas en HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*), y en IoT.

Tecnologías del dominio biológico, biotecnología sintética, que facilitan las estrategias de diversificación de productos. Entre otras, la producción de nutraceuticos, alimentos que además de su función nutritiva tiene efectos beneficiosos para la salud.

Como se detalla en el recuadro 7 las tecnologías de automatización asociadas a dispositivos y a plataformas digitales diseñadas para controlar la calidad y la seguridad de los productos en las diversas etapas productivas, comerciales y logísticas de las empresas lácteas se han difundido en las mayores empresas globales de la industria. Entre ellas, la empresa sueca Tetrapak, pionera en envases para alimentos, implementó tecnologías 4.0 que posibilitan controlar en tiempo real la calidad de los productos en cada envase.

Las tecnologías de bloques, por su parte, están siendo adoptadas por las grandes cadenas globales de la comercialización minorista de alimento, como la francesa Carrefour, y grandes empresas de la alimentación (Arla Foods y Dairy Farmers of America, DFA). Carrefour implementará la primera *blockchain* europea en 2019 para rastrear el origen de productos lácteos, en buena medida para hacer frente a los requerimientos regulatorios en el comercio internacional (Portal lechero).

Recuadro 7

Proveedores de tecnologías 4.0 para la industria láctea

Varias de las empresas informáticas se orientan a la provisión de servicios de monitoreo y control de la calidad y seguridad de los alimentos, en muchos casos asociadas a grandes empresas proveedoras de equipos de automatización y robotización para las industrias usuarias. Entre ellas cabe destacar:

1. Proveedores globales de equipos e ingeniería para automatización industrial. Entre otros, se encuentran las siguientes empresas: i) el Grupo ABB, una corporación multinacional con sede en Suiza, segunda empresa a nivel mundial en automatización industrial y mayor proveedor mundial de equipos de automatización y control para la industria láctea. Entre sus clientes se encuentran Arla Foods y Fonterra^a. ii) Siemens, empresa transnacional alemana que ha desarrollado un sistema integral de automatización, TIA (Totally Integrated Automation), el que combina software, hardware y equipamiento industrial, mediante el cual busca controlar de manera integrada todo el proceso, desde el preprocesamiento de la leche, el procesamiento y el control de lotes finales, con distintos sistemas que comparten su información. Siemens está implementando un sistema de "industria láctea 4.0" junto a una de las mayores empresas lácteas de China, la firma Mengniu Dairy Company, para asegurar el control de la calidad y seguridad de sus productos, logrando la trazabilidad de la calidad en todo el proceso de producción, con una reducción de tiempos de entre 10 y 15%^b. iii) ProLeiT AG, empresa alemana que ofrece tecnología de control de procesos, soluciones de automatización y sistemas de control de procesos con funciones integradas para industrias de procesos en todo el mundo, incluyendo las lácteas. Danone, multinacional francesa, es una de sus clientes. iv) Rockwell Automation empresa de EEUU, con sede en Wisconsin, proveedora de automatización e informatización industrial. Ofrece sistemas de control avanzado en secadores y evaporadores, para reducir costos y cumplir especificaciones de calidad, y la aplicación de control predictivo en modelos de secadoras de lácteos. Son proveedores de la cooperativa neozelandesa Fonterra, líder mundial de productos lácteos y el mayor exportador de lácteos del mundo, y de la cooperativa Murray Goulburn, la mayor productora australiana de leche^c.

2. Empresas globales de servicios tecnológicos, especializadas en tecnología de bloques (blockchain technologies) y en tecnologías digitales para las industrias lácteas. Entre ellas:

i) IBM, que lanzó en 2018 IBM Food Trust, una plataforma de rastreo de alimentos basada en DLT. Ocho grandes empresas alimentarias globales se han asociado con IBM formando un consorcio para la implementación de tecnologías de bloques, entre ellas Nestlé, Unilever y Walmart; ii) Ripo.eo, *start-up* tecnológica con base en San Francisco, EEUU, empresa de avanzada en el desarrollo de tecnologías de trazabilidad. Se asoció con la cooperativa Dairy Farmers of America, una de las mayores empresas mundiales en la producción de leche, para implementar una plataforma blockchain; iii) Connecterra, empresa holandesa de informática que también provee servicios tecnológicos a través de su plataforma IDA

3. Proveedores globales de los sistemas ERP (Enterprise Resources Planning), plataformas informáticas para la integración de datos y software de gestión de diversas áreas de las empresas. Entre ellos se encuentran la empresa alemana SAP y la estadounidense Oracle, que proveen plataformas con diversos módulos y herramientas para conectar distintos sistemas –por ejemplo, los datos de las computadoras PLC de los equipos de producción, y los datos

de trazabilidad en la logística- con una plataforma unificada de gestión. La firma Connecterra, una empresa holandesa de informática que también provee servicios tecnológicos a través de su plataforma IDA, se encuentra en este grupo de proveedores

Por último, en relación con las tecnologías de envases, la empresa multinacional de origen sueco, Tetrapack, ha implementado un sistema de escaneo y de calidad envase por envase (no por muestreo), cuyo paquete tecnológico completo es vendido a empresas multinacionales de la alimentación.

Fuente: Elaboración propia.

^a Grupo ABB, "Dairy factory automation and optimization" <https://new.abb.com/control-systems/industry-specific-solutions/food-beverage/segments/dairy>.

^b Siemens, caso de "industria láctea 4.0" <http://w2.siemens.com.cn/stories/StoryShow/FindStory/27?culture=en-US>

^c Esta empresa instaló en una planta de Fonterra (Holanda) un sistema integrado, con automatización y control del proceso productivo, y la interconexión de los distintos dispositivos, utilizando el protocolo EtherNet/IP <https://www.rockwellautomation.com/es>.

B. Promoción de tecnologías 4.0 en el complejo lácteo. Experiencia internacional

En un contexto de mercados agropecuarios históricamente subsidiados en países industrializados como ha sido del caso de la Política Agrícola Común, PAC en la Unión Europea a partir de la finalización de la segunda guerra mundial, más recientemente Noruega, y en menor medida EEUU y Canadá, entre otros) varios países importantes productores de lácteos implementaron instrumentos de apoyo público para el desarrollo y adopción de tecnologías 4.0. Aunque, como se ha señalado, estas tecnologías aún se encuentran en un estadio incipiente de difusión en el caso del complejo lácteo.

El tipo de políticas que aparece con más frecuencia en estos países está vinculado al fortalecimiento de centros tecnológicos y al desarrollo de *clusters* regionales agroindustriales, donde se vinculan instituciones de ciencia y tecnología, universidades, empresas y cámaras empresarias, incluyendo instancias gubernamentales, tanto locales como nacionales. Los programas tecnológicos incluyen en la mayoría de los casos el apoyo a centros tecnológicos que difunden estas tecnologías, como es el caso de los sistemas de ordeño automático, las testean en las condiciones locales y sirven como puerta de entrada a otras tecnologías de ruptura como la lechería de precisión o el tambo robótico. En otros casos están asociados al desarrollo propio de nuevas tecnologías.

A modo ilustrativo se resumen las experiencias en cuatro importantes países/regiones productoras de productos lácteos: Estados Unidos, Unión Europea, Nueva Zelanda y Australia.

En los **Estados Unidos** los principales *clusters* vinculados a las tecnologías 4.0 se encuentran en el Medio Oeste, una tradicional zona agropecuaria de este país.

- La Universidad del Estado de Michigan, por ejemplo, posee una unidad de investigación y desarrollo aplicada al sector agropecuario, la W.K. Kellogg Farm, que instaló un tambo robot experimental y demostrativo (el Pasture Dairy Center), que integra la tecnología de ordeño automático y la gestión basada en pasturas, y busca estrategias para reducir el impacto ambiental sin disminuir la producción. Dicho centro brinda educación sobre la implementación de prácticas sostenibles en la agricultura moderna en todo el estado (<http://farm.kbs.msu.edu/pdc/>).
- Wisconsin, por su parte, es el Estado con mayor cantidad de tambos en los Estados Unidos, y se ubica entre los mayores productores de leche, queso y otros productos lácteos. Las ciudades Madison y Milwaukee son importantes centros de actividad (hubs) de empresas establecidas y emergentes. La Universidad de Wisconsin en Madison (UW-Madison) invirtió 1,16 mil millones de dólares en I+D en 2016, y ocupó el sexto lugar a nivel nacional en términos de volumen de investigación. Ese año, la Facultad de Ciencias Agrícolas y de la Vida de la UW-Madison recibió

más de 92 millones de dólares en fondos que apoyaron la investigación de vanguardia en el Centro de Sistemas Agrícolas Integrados, el Instituto de Agronegocios Renk, el Land Information & Computer Graphics Facility, y otros laboratorios e instalaciones. Los desarrollos de la UW-Madison en agricultura, ingeniería y bioenergía han producido varias “promesas” comerciales que se venden en el mercado a través de la oficina de transferencia tecnológica de la Universidad. (Australian Trade and Investment Commission, 2018).

- Illinois, por último, es el Estado líder en la industrialización de productos lácteos, además de agricultura, procesamiento de alimentos, envasado de carne, molienda de granos y fabricación de maquinaria agrícola, con importantes empresas enfocadas en aumentos de productividad mediante automatización. La Universidad de Illinois es líder estatal en investigación relacionada con la agricultura y el sector lácteo, con iniciativas clave en bioenergía, biotecnología, nanotecnología y sistemas alimentarios y agrícolas. Dicha universidad también mantiene estrechos vínculos con el Centro Nacional para la Investigación de Aplicaciones Agrícolas en Peoria, IL, un instituto que realiza investigaciones sobre nuevos usos de productos agrícolas para productos industriales y alimenticios y sirve como la principal instalación de transferencia de tecnología del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. A su vez, la Universidad de Illinois cuenta con un parque de investigación que aloja centros de I+D de grandes multinacionales como Monsanto, John Deere y Syngenta, muchas *start-ups*, y la incubadora de empresas de la Universidad (Australian Trade and Investment Commission, 2018).

La **Unión Europea** tiene líneas de financiamiento para proyectos de investigación entre varios países, como el caso de Autograssmilk, una asociación de investigadores de Irlanda, Bélgica, Holanda, Suecia, Dinamarca y Francia para estudiar cómo mejorar los sistemas de tambo robot aplicados a pequeños y medianos productores con base pastoril (<https://autograssmilk.dk/>). Holanda, Alemania y Suecia son sede de los mayores proveedores de tambos robot, y poseen un elevado grado de difusión de estas tecnologías. Países como Holanda poseen una amplia red de institutos tecnológicos privados, públicos y universitarios, que realizan I+D en el sector lácteo. Se destaca NIZO, iniciativa que comenzó como una asociación de empresas de la industria láctea para investigación fundamental, desarrollos de proceso y producto, a partir de los noventa integró el consorcio público-privado Top Institute for Food and Nutrition, y en la década de los 2000 se transformó en una corporación privada (<https://www.nizo.com/about-us/since-1948/>). También se destaca el caso de la Wageningen University & Research, que creó la iniciativa Dairy Campus, organización en red de la cadena láctea (<https://www.dairycampus.nl/en/Home/About-us.htm>). En Alemania, desde 2008 todos los centros federales de investigación de alimentos y nutrición se han fusionado en el Instituto Max Rubner (<https://www.mri.bund.de/en/about-us/history/>). Esto incluyó al Centro Federal de Investigación en Lácteos en Kiel, con 150 años de trayectoria. Por su parte, Francia, que es el principal productor en valor de lácteos en Europa, posee una gran red de apoyo tecnológico al sector, incluyendo investigación de frontera. El Instituto Nacional Francés de Investigación en Agricultura (INRA) es el principal centro de investigación en agricultura de Europa y el segundo a nivel mundial, e incluye entre sus áreas de investigación a la ganadería lechera, y a la industria láctea en general (<http://institut.inra.fr/en>). Además, existen otros centros tecnológicos más especializados en el sector lácteo como Actalia, con 12 sedes en distintas regiones de este país (<http://www.actalia.eu/>).

En **Nueva Zelanda**, caracterizada por un sistema lácteo extensivo y de base pastoril, DairyNZ es la institución más importante para la adopción y desarrollo de tecnologías en la producción primaria de leche. Se trata de una asociación de productores primarios, gobierno central y gobiernos regionales que funciona como instituto tecnológico de apoyo a la producción láctea. En el año 2001 establecieron el primer tambo robot experimental a través del “Greenfield Project”, con el objetivo de testear los sistemas de ordeño automático o voluntario (AMS/VMS) que se empezaban a implementar en Europa central. Este proyecto duró hasta 2008 y permitió evaluar esta tecnología en un sistema de producción

distinto al de los países de origen de estas, dado que en Nueva Zelanda predomina el sistema pastoril y una baja densidad de vacas por hectárea, a diferencia de Europa donde existe mayor confinamiento. Esta institución publica guías para los productores sobre otras tecnologías de automatización, tales como sistemas de ordeño rotativo, realiza actividades de investigación y desarrollo en el campo de la genética animal, y ha implementado aplicaciones web y de celular con información clave para los productores. DairyNZ tiene un importante trabajo territorial y adopta planes específicos para cada región de Nueva Zelanda (<https://www.dairynz.co.nz/>).

Australia tiene un esquema de asociación público-privada para el desarrollo tecnológico del sector agrícola-ganadero que incluye al sector lácteo. La principal vía por la cual Gobierno y productores invierten en I+D es el sistema de Corporaciones de Investigación y Desarrollo Rural (RDCs, por su sigla en inglés). Actualmente hay 15 RDCs, cinco pertenecientes y gestionadas por el gobierno, y otras diez gestionadas por el sector privado. Ejemplos de áreas de I+D de estos centros tecnológicos son: identificación electrónica del ganado, investigación de las preferencias de los consumidores en el mercado nacional, marketing y pruebas de productos en el extranjero, mejora de la vida útil de los productos exportados, desarrollo de nuevos materiales de embalaje para mejorar la seguridad alimentaria y reducir costos o desperdicios (Commonwealth of Australia, 2015). Otras asociaciones público-privadas han sido de relevancia en la incorporación de tecnologías 4.0, entre ellas una iniciativa conjunta entre productores primarios, la proveedora de equipos DeLaval y la Universidad de Sidney que crearon un centro de investigación sobre sistemas de ordeño automático, que realiza publicaciones científicas y publica guías de buenas prácticas en estas tecnologías, tienen una calculadora de impacto económico disponible para los productores y forman recursos humanos especializados para el manejo de estas tecnologías (<http://futuredairy.com.au/>).

Si bien las experiencias analizadas no son replicables directamente para el caso del complejo lácteo de la Argentina (o, para el caso de una provincia como la de Santa Fe), tanto por las especificidades de la producción y la industria láctea de cada país, como por los diferentes grados de desarrollo tecnológico, la experiencia internacional relevada permite identificar algunas áreas estratégicas de intervención pública y de articulación público/privada orientadas al desarrollo de tecnologías de ruptura (I4.0) y al fomento de la I+D en estas producciones. Entre ellas cabe destacar:

1. la promoción y el fortalecimiento de los centros tecnológicos encargados del desarrollo y difusión de las nuevas tecnologías, adaptándolas a las características particulares y al tipo de productores y empresas de cada región;
2. la importancia de la asociación público/privada para adaptar la tecnología al medio local y desarrollar tecnologías complementarias a los paquetes tecnológicos de los proveedores globales;
3. el desarrollo de clusters regionales que articulen universidades, centros de CyT, productores, empresarios, proveedores de equipos y servicios;
4. el fomento a la investigación y desarrollo e innovación (I+D+i), destacando la importancia de la instalación de sistemas demostrativos y experimentales y plantas piloto, en algunos casos en asociación con los principales proveedores de equipos y tecnologías de ruptura; y
5. el rol clave de la capacitación y la formación de personal especializado en las nuevas tecnologías.

C. El complejo lácteo en la Argentina. Estructura y evolución reciente en la provincia de Santa Fe y en el país

1. Estructura actual del complejo lácteo en la Argentina

La cadena de valor del sector lácteo está compuesta por las siguientes etapas principales:

- i) Producción primaria de leche, que incluye distintos tipos de establecimientos agropecuarios con cabaña de ganado y tambo, donde se realiza la cría y el engorde de ganado, y el ordeño de las vacas.
- ii) Etapa de procesamiento industrial, que comprende a las usinas lácteas productoras de leches fluidas y en polvo, y las plantas/empresas productoras de quesos y otros productos lácteos.
- iii) Canales de comercialización interna y externa, donde juegan un papel central las grandes cadenas de supermercados e hipermercados, la llamada Gran Distribución (GD).

La producción primaria de leche alcanzó en 2015 los 11.216 millones de litros, de los cuales el 93% se orientó a la industria para su procesamiento, mientras que el 7% restante entró en el circuito informal. El 75% de la leche cruda se destinó a la elaboración de productos industriales, principalmente quesos (33%) y leche en polvo —entera y descremada— (28%), mientras que a la producción de leches fluidas se destinó poco más del 18% (CIECTI, 2012; y Subsecretaría de Planeamiento Estratégico, Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016). La producción industrial en ese año se dirigió mayoritariamente al mercado interno, un 77%, con un consumo anual por habitante de 198 litros, mientras que el 23% restante se destinó a la exportación, compuesta por leche en polvo (55% del total de toneladas exportadas), lacto sueros (20%) y quesos (14%)⁶³.

Producción Primaria

La estratificación actual de los tambos según el volumen de producción diaria de leche muestra la concentración de la producción en pocas unidades de gran tamaño, tendencia que se registra desde años atrás. A comienzos de 2019, sobre un total de 11.272 unidades productivas tambos⁶⁴, el 6% (unos 676 tambos), con una producción diaria mayor a los 6.000 litros de leche, concentraban el 28% de la producción; junto al estrato de tambos que producían entre 4.000 y 6.000 litros diarios, que implica que 1.500 tambos eran en ese momento responsables del 44% de la producción de leche. En el otro extremo, 3.790 tambos (33,6% del total) con una producción diaria menor a los 1000 litros, aportaban sólo el 8% de la producción de leche cruda (OCLA; 2018)

De los diez mayores productores de leche del país, (que en muchos casos engloban a varios tambos), cinco poseen tambos en Santa Fe (Adecoagro, Las Taperitas, Milkland, La Ramada y Las Becerras), dos en Córdoba (Milkland y Grupo Fabro) y cuatro en Buenos Aires⁶⁵. La empresa Adecoagro es la principal productora según volumen diario de leche (más de 300 mil litros por día)⁶⁶. En su mayoría, muestran una

⁶³ "Informes de Cadenas de Valor: Láctea". Subsecretaría de Planificación Económica, Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016.

⁶⁴ Según datos publicados por SENASA—Secretaría de Gobierno de Agroindustria. El concepto de unidad productiva se utiliza para identificar a los titulares que poseen ganado dentro de un mismo establecimiento agropecuario. A nivel nacional, la cantidad de unidades productivas con actividad de tambo no es necesariamente igual a la cantidad de productores, ya que un mismo productor puede ser titular de varias unidades productivas en distintas zonas del país.

⁶⁵ Según publica OCLA (<http://www.ocla.org.ar/>) sobre la base de datos recopilados por *TodoAgro*.

⁶⁶ La empresa Adecoagro fue creada en 2002 a partir de la confluencia de fondos de inversión locales y extranjeros, con participación de George Soros. Inició sus actividades adquiriendo los campos de Perez Companc, y luego avanzó con varias adquisiciones y fusiones en la Argentina (entren ellas la compra del 50% de la empresa industrial La Láctea en 2007, y su posterior venta en 2013), el Brasil y el Uruguay. Posee dos tambos estabulados (*free-stall*) en Santa Fe, con 7.000 vacas en ordeño, y produce 1,4 MW de energía eléctrica a partir de efluentes. En 2017, Soros vendió sus acciones (20% del total). Con la adquisición de dos plantas a SanCor, prevé elevar la producción primaria de leche hasta 550 mil litros por día. Actualmente cotiza en la bolsa de Nueva York, tiene sede legal en Luxemburgo y la gerencia es argentina (ambito.com).

tendencia hacia la intensificación de la producción de leche con el confinamiento de los animales, en parte buscando una mayor productividad y eficiencia, y en parte liberando tierras para usos agrícolas.

Las principales cuencas lácteas se encuentran en la Región Pampeana: en 2015 la primera provincia productora fue Santa Fe, con 35% de los tambos y 35% de la producción, seguida de Córdoba (31% de los tambos y 33% de la producción), Buenos Aires (23% y 25% respectivamente), Entre Ríos (5 y 4%), La Pampa (2% y 2%) y Santiago del Estero (2% y 1%).

Producción industrial

La industria láctea argentina es un sector muy heterogéneo, con presencia de pocas grandes empresas multiplantas y multiproductos de capitales nacionales y extranjeros, medianas empresas más especializadas, importante presencia de cooperativas, y varios centenares de pequeñas firmas, muchas de las cuales operan en circuitos marginales, entre las que se encuentran los llamados tambo-fábrica. Conforman una estructura industrial fuertemente estratificada característica de un oligopolio diferenciado y muestran diferentes especializaciones en cuanto a gama de productos y orientación de mercado (Gutman, 2007).

En el año 2018 la industria procesó 10.527 millones de litros en 670 empresas elaboradoras, unas 230 empresas menos que las registradas diez años antes (Dirección Nacional de Lechería, 2019; Castellanos y otros, 2009), lo que revela el fuerte proceso de concentración y centralización que ha atravesado la industria, agudizado en años recientes frente a la crisis que atraviesa la economía nacional.

Se trata de una industria fuertemente concentrada. En 2015 el 5% de las empresas recibía la leche del 61% de los tambos, y participaba en un 67% del procesamiento total de leche (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016). Tres años después, en 2018, las mayores empresas del sector, con un procesamiento diario de leche mayor a los 250.000 litros, que representan el 3,6% del total de firmas, procesaban casi el 60% del total de leche del país. La gran mayoría de las empresas lácteas (65% del total) procesa menos de 10.000 litros/día, elaborando el 5,4% de la materia prima (OCLA, 2018). Dentro de este grupo hay varias empresas artesanales y numerosos tambos-fábrica que operan en el mercado informal.

Cuadro 11
Estratos de industrias lácteas según procesamiento diario de leche, 2018

Litros procesados por día	Estrato	Cantidad de empresas	Cantidad de empresas (Porcentaje del total)	Procesamiento (Porcentaje del total)
0-10 000	Pequeños tambos-fábricas	418	64,8	5,4
10 000-50 000	Empresas chicas-medianas	156	24,2	13,7
50 000-100 000	Empresas chicas-medianas	24	3,7	6,4
100 000-250 000	Empresas medianas-grandes	24	3,7	15,8
250 000-500 000	Empresas medianas-grandes	13	2,0	17,4
> 500 000	Empresas grandes	10	1,6	41,3

Fuente: Elaboración propia sobre la base de OCLA y Dirección Nacional de Lechería (DNL).

La cúpula empresarial, ha registrado importantes modificaciones en los últimos años, que reflejan tanto el impacto de la crisis económica y el proceso de centralización en curso, como la desarticulación de la principal cooperativa del país (SanCor), y el ascenso de algunas empresas medianas especializadas. El primer lugar, por volumen procesado de leche, fue alcanzado por La Serenísima (que años anteriores ocupaba el segundo lugar). Sin embargo, La Serenísima disminuyó su procesamiento

en la última década, pasando de cerca 4,8 millones de litros diarios a 3,9 en 2018⁶⁷. El segundo lugar fue ocupado por la multinacional de origen canadiense Saputo, empresa que empezó a operar en el país en 2003 tras adquirir Molfino Hnos., y se asienta en la producción de quesos, leche en polvo y caseína. La empresa santafesina Williner/Illolay es la tercera en el ranking, y SanCor, que hace diez años era la mayor empresa procesadora de lácteos del país, con un procesamiento de cerca de 6 millones de litros diarios, aparece en el cuarto puesto con 1,1 millones de litros diarios⁶⁸. Se destaca, también, el ascenso de varias empresas nacionales medianas, especializadas en la elaboración de quesos: dos cordobesas (Punta del Agua y Noal) y una de Santa Fe (Tregar), que ascendieron hasta los puestos 5, 6 y 7 del ranking⁶⁹.

2. El complejo lácteo en la provincia de Santa Fe

La provincia de Santa Fe ocupa un lugar medular en el complejo lácteo del argentino. Santa Fe ha sido la principal provincia productora de leche cruda, presenta elevados parámetros relativos de productividad, concentra a buena parte de las mayores usinas lácteas, y es la mayor exportadora de productos de esta industria.

Al igual que lo registrado a nivel nacional, las etapas primarias e industriales del complejo se caracterizan por estructuras productivas concentradas, con elevada dispersión de productividades. Las formas de articulación entre tambo e industria, con predominio de las relaciones contractuales, han jugado un papel central para impulsar la modernización y el cambio tecnológico en el tambo, y dieron lugar a la apropiación asimétrica de los valores generados a lo largo de la cadena, y a reiterados conflictos intersectoriales.

Producción primaria

Santa Fe cuenta con las principales cuencas lecheras del país. En 2015 fue la primera provincia productora de leche cruda, con una participación del 35% en el total nacional que alcanzó ese año unos 11.216 millones de litros (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016). A su vez, un 35% de los aproximadamente 10.000 tambos que había en el país en ese año se localizaba en Santa Fe, principalmente en la cuenca Santa Fe Centro, mayor cuenca de la provincia y del país (30% de la producción nacional) y en la cuenca Santa Fe Sur. Los departamentos con mayor cantidad de tambos de la provincia son Castellanos, Las Colonias y San Cristóbal (Terán, 2008). Con cerca de 1,1 millones de cabezas de ganado destinadas a producción de leche, Santa Fe ocupa el segundo lugar a nivel nacional, y se convierte en la provincia más productiva (35% de la leche del país con el 31% de las vacas lecheras).

El número total de tambos muestra una tendencia decreciente, concentrándose cada vez más la producción en pocos tambos grandes y medianos grandes, procesos que se verifica en las principales cuencas lácteas del país. De acuerdo con Lacelli y otros (2006), en la Cuenca Central de Santa Fe predominan los tambos del estrato medio (con una entrega promedio de 2.100 litros/día), que explican

⁶⁷ La composición accionaria de esta empresa cambió, con la entrada de Arcor a fines de 2015, que desplazó a Mastellone Hnos. como principal accionista individual.

⁶⁸ Debido a su fuerte endeudamiento, SanCor comenzó en 2016 una etapa de profunda reestructuración que implicó el desprendimiento de la mayoría de sus activos en la industria láctea. Vendió al grupo Vicentín su línea de yogures, postres y flanes por cerca de USD 100 millones, y a Adecoagro dos plantas elaboradoras (Morteros y Chivilcoy) por USD 45 millones. Actualmente sigue con el proceso de desprendimiento de activos, adquiridos por varias empresas del sector (La Tarantella, Alaisa, San Gotardo y Coop. Huanchilla).

⁶⁹ OCLA sobre la base del ranking elaborado por *TodoAgro* a partir de información brindada por las empresas.

el 39,3% de los tambos y el 47,4% de la producción, mientras que el estrato inferior (con 1000 litros diarios de entrega) concentra casi el 50% de los tambos de la Cuenca y explica el 28% de la producción. En la Cuenca Sur, segunda en importancia de la provincia, la actividad se haya más concentrada. En esa cuenca la unidad promedio del estrato superior es marcadamente mayor, en tanto en el estrato inferior se encuentra el 57% de los tambos, que explican solo un 28% en la producción.

Estas tendencias se profundizaron en la siguiente década. A su vez, cinco de los diez mayores productores de leche del país a fines de 2018⁷⁰, propietarios de mega tambos, tienen presencia en Santa Fe:

- Adecoagro, que en 2018 adquirió las plantas industriales de Sancor de Morteros (Córdoba) y Chivilcoy (provincia de Buenos Aires).
- Las Taperitas, asociada al Grupo Williner/Ilolay con tres plantas industriales en Santa Fe.
- Milkland SA, que pertenece al Grupo Boglione propietario de la empresa industrial La Sibila (localizada en Entre Ríos).
- La Ramada, de la familia Gonella, que posee su planta en Franck, Santa Fe.
- Las Becerras propiedad de la familia Espiñeira, propietaria de Lácteos Verónica, con tres plantas industriales en la provincia.

La evolución de la producción primaria a nivel provincial siguió una tendencia similar a la de la producción nacional en los últimos años. Entre 2010 y 2015 el nivel de producción anual en la provincia se mantuvo relativamente estable en torno a los 2.900 millones de litros, en 2016 cayó un 21%⁷¹, y empeoró en 2017-2018.

Procesamiento industrial

De acuerdo con datos del Ministerio de Trabajo, en la provincia de Santa Fe se encuentran 164 empresas localizadas en su mayor parte en los departamentos Castellanos (57% de la leche procesada en toda la provincia) y Las Colonias (21%) (INTA, 2008). En la provincia se reproducen los principales rasgos que exhibe la industria láctea a nivel nacional: concentración de la producción en pocas grandes empresas de capitales nacionales y filiales de empresas multinacionales que, junto con el estrato de empresas medianas grandes, procesan la mayor parte de la leche, y numerosas pymes con fuerte atraso tecnológico y baja participación en el procesamiento industrial. La industria láctea en la provincia está más concentrada que a nivel nacional.

Como se observa en el cuadro 12, cuatro de las cinco empresas multinacionales que operan en el sector en el país se encuentran en la provincia⁷². El primer lugar por volumen procesado de leche fue alcanzado por Saputo. La cooperativa SanCor ocupa el tercer lugar del ranking con un procesamiento diario de 1,1 millones de litros, y enfrenta desde el 2016 una fuerte reestructuración de sus activos industriales. Se destaca el ascenso de Tregar (García Hnos. Agroindustrial SRL), empresa nacional mediana que ocupa el 4º lugar en el ranking provincial, inicialmente especializada en la elaboración de quesos, que muestra una creciente diversificación, incorporando la producción de productos frescos comercializados en los principales centros del país. Por su parte, Milkaut, que fue propiedad de una cooperativa de tamberos, pasó a formar parte del grupo multinacional Bongrain, de origen francés. Una joven empresa en ascenso es Pampa Cheese, creada en 2008, que ocupa el puesto 12 del ranking santafesino y se encuentra especializada en quesos y orientada a la exportación. Esta empresa figura entre las 25 primeras procesadoras lácteas del país.

⁷⁰ En base a datos de Todo Agro, OCLA y relevamiento propio.

⁷¹ Datos del Ministerio de Producción de Santa Fe.

⁷² Danone, multinacional francesa que ocupaba el 8vo lugar del ranking nacional según procesamiento diario de leche en el 2018, está ubicada en Buenos Aires.

Cuadro 12
Principales empresas de la industria láctea en Santa Fe, 2018

Empresa	Tipo de empresa	Año de inicio de actividades en el país	Segmentos de producción	Procesamiento diario de leche (en miles de litros) ^a	Ranking nacional de procesamiento de leche
Saputo	EMN	2003	Quesos, manteca, cremas, leche en polvo, caseína, proteína de suero	3 750	2
Williner	EN	1928	Dulce de leche, leches fluidas (UAT), leche en polvo, mantecas, yogures, cremas, quesos, postres	1 650	3
SanCor	EN/coop	1938	Leche en polvo, leche entera, mantecas, quesos, dulce de leche, cremas.	1 100	4
Tregar	EN	1940	Yogures, dulce de leche, cremas, leches fluidas (UAT), postres, quesos, leche en polvo, suero en polvo, leches infantiles	840	7
Verónica	EN	1923	Leches fluidas (UAT), leche chocolatada, leche en polvo, dulce de leche, mantecas, cremas, quesos	800	8
Grupo Bongrain - Milkaut	EMN	2006	Leches fluidas (UAT), leche en polvo, dulce de leche, cremas, mantecas, yogures, leche chocolatada, quesos	730	10
Corlasa - Grupo Gloria	EMN	2006	Leche en polvo, alimentos funcionales, cremas	640	11
Nestlé	EMN	1929	Fórmulas infantiles, alimentos funcionales, leche en polvo	580	12
La Ramada	EN	2003	Leche en polvo	420	16
Ramolac	EN	1950	Yogures, quesos, dulce de leche, crema, mantecas, leche fluida, leche en polvo, suero en polvo	265	18
Lácteos Tremblay	EN	2005	Quesos, leches fluidas (UAT), leche chocolatada, yogures, mantecas, dulce de leche, crema,	260	20
Pampa Cheese	EN	2008	Quesos	250	23
La Mucca-Lactalis	EMN	-	Quesos	160	33
Cassini y Cesaratto	EN	1991	Quesos	88	46

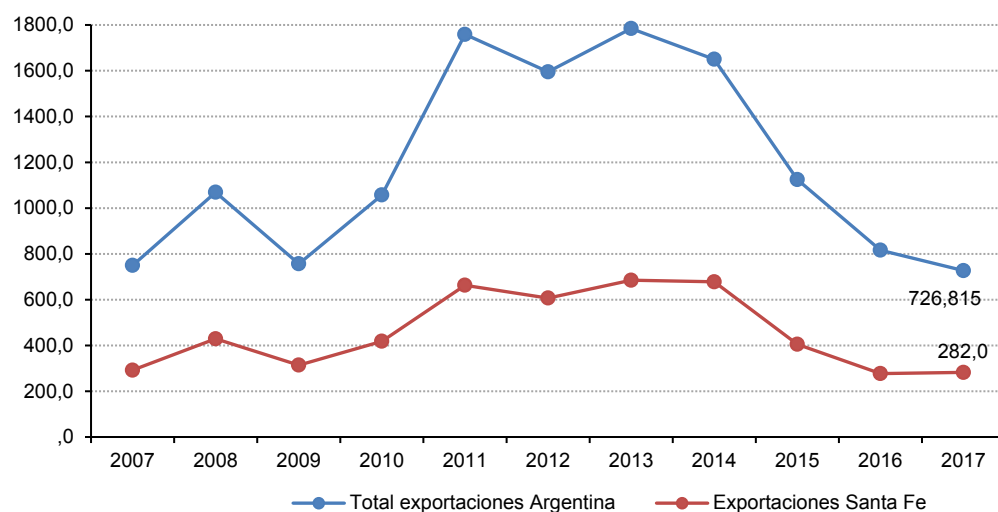
Fuente: Elaboración propia sobre la base de TodoAgro (2018).

^a Comprende el procesamiento en todas las plantas de la empresa, no solo las de Santa Fe. EN: empresa nacional; EMN empresa multinacional, Coop: cooperativa.

Santa Fe es el principal origen provincial de las exportaciones argentinas de productos lácteos, desde leche en polvo hasta quesos y leche modificada. En el 2018, con una exportación nacional de productos lácteos de 1.007,3 millones de dólares, Santa Fe participó con el 34% del total, mientras que en 2015 la provincia fue el origen del 44% de las exportaciones. Asimismo, en 2015 Santa Fe fue el origen del 45% de las exportaciones de leche en polvo que alcanzaron a nivel nacional los 1095 millones de dólares, el 82,5% de las exportaciones de quesos, que fueron en total de 1766 millones de dólares, y el 91% de las de leche modificada, que llegaron a 61.5 millones de dólares para todo el país, registrando también exportaciones de lactosueros y otros productos lácteos (Ministerio de Hacienda y Finanzas, 2016). Los principales destinos de la leche en polvo fueron la República Bolivariana de Venezuela, el Brasil, Argelia y más recientemente China; las exportaciones de los quesos se orientaron a Rusia, Brasil

y Chile; las de lactosueros a China, Brasil e Indonesia, y la caseína a Canadá y los Estados Unidos y, en menor medida, al Brasil y a Dinamarca (Subsecretaría de Planeamiento Estratégico, 2016).

Gráfico 26
Exportaciones de productos lácteos, total país y origen Santa Fe
(En millones de dólares FOB)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de DNL-Secretaría de Gobierno de Agroindustria e IPEC (Santa Fe)-INDEC.

Los principales destinos de la leche en polvo fueron la República Bolivariana de Venezuela, el Brasil, Argelia y más recientemente China; las exportaciones de los quesos se orientaron a Rusia, Brasil y Chile; las de lactosueros a China, Brasil e Indonesia, y la caseína a Canadá y los Estados Unidos y, en menor medida, al Brasil y a Dinamarca (Subsecretaría de Planeamiento Estratégico, 2016).

La dinámica de las exportaciones provinciales siguió la evolución cambiante de las exportaciones lácteas en los últimos 15 años (gráfico 26). Estas crecieron en forma sostenida entre 2003 y 2008 y alcanzaron a fines de este período cerca del 20% del valor bruto de la producción láctea, convirtiéndose así en factor clave en relación con las inversiones, volúmenes y precios pagados a los productores primarios. En el período 2008-2018, los mayores valores y cantidades exportadas se produjeron entre 2011-2014, debido tanto a los mayores volúmenes exportados como al aumento del precio internacional de la leche en polvo. Desde entonces, el precio internacional de la leche en polvo cayó, así como las cantidades exportadas, y ambas medidas quedaron por debajo de los niveles de hace una década (Fernández Bugna y Porta, 2013, Gutman y otros, 2009).

D. Trayectorias tecnológicas en el complejo lácteo santafesino

Las trayectorias tecnológicas de las últimas dos décadas en el complejo lácteo de la provincia de Santa Fe posibilitaron la generación, si bien heterogénea y asimétrica, de ciertas capacidades tecnológicas para la posterior adopción, todavía incipiente, de tecnologías 4.0, tanto a nivel de la producción primaria como de la industria procesadora.

Producción primaria

La articulación industria-tambo ha sido un importante vehículo para la modernización tecnológica del tambo, a través de contratos que estipulaban un sistema de bonificaciones y castigos

en el precio de la leche, centrado en la difusión de la cadena de frío y en los contenidos de grasa butirosa y proteínas de la leche (requisitos que cambian según el tipo de producto lácteo final). Las grandes usinas lácteas otorgaron asistencia técnica y financiera a los tambos para alcanzar los parámetros establecidos, y se logró una amplia difusión de las técnicas asociadas a estos procesos en los tambos grandes y medianos.

En un sistema productivo históricamente caracterizado por su base pastoril, la mayoría de los grandes y medianos tambos muestra una tendencia hacia la intensificación de la producción de leche con el confinamiento de los animales, tanto en busca de una mayor productividad y eficiencia como, según el caso, de la liberación de tierras para otros usos (agrícolas).

Las tecnologías de manejo de ordeño y de identificación del rodeo vacuno asociadas a estos sistemas de confinamiento (a través de sensores y de la trazabilidad del ganado) comienzan a difundirse entre los tambos de mayor tamaño, sentando las bases tecnológicas para la difusión de tecnologías avanzadas de lechería de precisión (sensores y drones asociados a plataformas en la nube) y tambo robótico.

Entre los diez mayores productores de leche cruda según el ranking elaborado por TodoAgro⁷³ donde diferencia a los tambos por sistema de producción⁷⁴, existen:

- dos empresas que utilizan tambos estabulados tipo *free stall*, sistema que requiere de elevadas inversiones, ambas en la provincia de Santa Fe, (Adecoagro y La Ramada);
- dos de base pastoril en la provincia de Buenos Aires (Campbell y Peluffo); y
- seis con sistemas híbridos de corral seco (*dry-lots*) y alta suplementación en la alimentación; tres de ellos se encuentran en la provincia de Santa Fe, y todas en transición hacia una mayor intensificación: Las Taperitas (Santa Fe), Grupo Bogleione (Milkland-La Sibila, en Córdoba y Santa Fe), Fabro (Córdoba), Salentinos SA (Buenos Aires) La Dorita (Buenos Aires) y Las Becerras (Santa Fe), casi todos ellos están en torno a los 30 litros por vaca/día.

Producción industrial

Las tecnologías centrales de la industria láctea difieren según el tipo de producto elaborado y el tipo de empresa. En la producción de leches fluidas y en polvo se imponen las tecnologías de proceso continuo que facilitan el logro de economías de escala. La incorporación de nuevas tecnologías en la producción de leches fluidas (procesos de esterilización por ultra altas temperaturas /leches UAT o larga vida) posibilitó la diferenciación de productos en este segmento (leche pasteurizada, ultrapasteurizada y Larga Vida-UHT). En la producción de quesos y de productos frescos están más difundidas las tecnologías de producción en lote (proceso *batch*). Estas innovaciones de proceso (secado de leche,

⁷³ Según informe de TodoAgro: <http://nuevo.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=37576>.

⁷⁴ Los *free stall* son sistemas de confinamiento característicos de zonas donde la disponibilidad de tierra es limitada o bien hay fuerte competencia por el uso del suelo. Se trata de instalaciones de encierre que proveen áreas limpias y secas individuales para cada animal con buenas condiciones para su bienestar. Para mantener los mayores niveles de producción esperados en estos sistemas, es indispensable que el diseño de las instalaciones provea sitios confortables para que las vacas se puedan echar, por lo que uno de los componentes más importantes es el diseño de la cama y la elección de un buen material para las mismas. Este sistema permite gran control de variables para lograr el confort de los animales y mayor independencia ante las condiciones climáticas; es el que requiere menor superficie por animal, pero una elevada inversión inicial y tiene altos costos operativos y de mantenimiento. El *dry lot* es otro tipo de confinamiento con mayor espacio requerido para cada animal, más simple que el anterior, con menos requerimientos de equipamiento y mayor flexibilidad para articularse con otros tipos de sistemas (INTA, 2015).

ultrapasteurización, moderna elaboración de quesos, equipos para identificar la calidad de leche) se centraron, principalmente, en la automatización de los procesos productivos, iniciada a fines de los noventa. Se basaron en tecnologías difundidas, adquiridas a través de la importación de equipos a proveedores globales, e incorporando automatización de procesos en el ámbito de la producción, la logística y el *packaging*. Impulsaron, a su vez, innovaciones adicionales vinculadas a estrategias de *just in time*⁷⁵, a la recepción y manejo de la materia prima, y a la incorporación del frío en los tambos. La intensidad de estas innovaciones ha variado según el tamaño de las empresas. Las mayores firmas del sector importan plantas llave en mano o bien el equipamiento principal, y sus plantas se ubicaron en niveles tecnológicos similares a las mejores prácticas internacionales en relación con estas tecnologías. Las empresas medianas y pequeñas, que muestran un fuerte atraso tecnológico, recurrieron a proveedores locales (Benés y Castellanos, 2012; Gutman y Ríos, 2010).

Las innovaciones de producto se basaron en nuevas tecnologías de insumos y aditivos, introducidas por filiales de empresas multinacionales y basadas en la moderna biotecnología y en innovaciones en el *packaging*, que apoyaron la estrategia de control de calidad y de diferenciación de productos. En una industria caracterizada por la conducta imitativa de desarrollos externos y por su dependencia de los proveedores de equipos e insumos para sus estrategias innovativas, se registra desde los noventa una conducta innovativa más independiente en las grandes y medianas empresas lácteas, con desarrollos innovativos propios, articulados en alianzas estratégicas con el sistema sectorial local de CyT, particularmente el desarrollo de productos en los dinámicos segmentos de los alimentos funcionales o nutraceuticos (Gutman y Ríos, 2010)

Las innovaciones productivas fueron acompañadas por importantes innovaciones organizacionales, tanto al interior de las empresas (especialización de plantas, cambios en la forma de gobierno o *governance* industrial,) como en la búsqueda de la calidad total a través de la adaptación a las normas y estándares internacionales, y de sistemas de implementación y control de la calidad a lo largo de la cadena de proveedores y clientes y de la logística (trazabilidad, controles electrónicos de rastreabilidad).

En resumen, las trayectorias previas de productores y empresas del complejo lácteo de la provincia —en particular las referidas a la automatización (parcial) de procesos, a la implementación de controles de calidad y de estándares internacionales, y al establecimiento de sistemas de trazabilidad—, les posibilitaron a las empresas de los estratos de mayor tamaño y de mayores niveles de tecnificación avanzar hacia la adopción (parcial e incipiente) de tecnologías 4.0.

E. Grado de adopción de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteo de Santa Fe⁷⁶

El grado de adopción de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteo de Santa Fe es aún incipiente, y a la vez es heterogéneo según etapas del complejo y tipo de productores o empresas.

Se han podido identificar dos impulsores (drivers) de estas estrategias, asociados principalmente a dos diferentes tipos de usuarios, actuales o potenciales.

Por una parte, se encuentran las grandes empresas globales de tecnologías comprendidas en la categoría de industrias 4.0. Estas empresas, ya sea con paquetes cerrados o con la oferta de

⁷⁵ Es el caso de las tecnologías de "diferenciación postergada", que posibilitan alcanzar, a la vez, economías de escala y de gama; combinan en las mismas plantas o en plantas especializadas líneas de producción en series largas de bienes intermedios fácilmente almacenables junto con líneas de producción cortas de bienes finales diferenciados, que se elaboran en respuesta a la evolución de la demanda y a las órdenes de compra de las cadenas minoristas (Gutman y Ríos, 2010).

⁷⁶ Esta sección se basa en las entrevistas realizadas a organismos públicos, instituciones de CyT y empresas de la provincia de Santa Fe en el mes de junio de 2019 (ver anexo 1 de este documento) y en información de empresas provenientes de sus páginas de internet.

componentes estratégicos de las tecnologías del dominio físico o digital asociadas a la Industria 4.0, se articulan tanto con las grandes firmas industriales y productores del complejo que incorporan estas tecnologías a través de ellas, como con las empresas medianas, que han alcanzado un nivel de desarrollo tecnológico adecuado para avanzar hacia las tecnologías de manufactura de ruptura (automatización de los procesos productivos, sistemas digitales de gestión de la empresa).

Por otra parte, existe en el complejo un vasto conjunto de microempresas y pymes con fuerte atraso tecnológico y productivo que no ha alcanzado los umbrales mínimos requeridos para avanzar hacia la incorporación de tecnologías de punta. Estas empresas (productores) son el foco principal de las actividades y programas de extensión, capacitación y asistencia tecnológica de los centros de CyT de la provincia referidos en la sección anterior.

En el contexto de un complejo que muestra una fuerte heterogeneidad entre los distintos estratos de la producción tanto en la producción primaria como en la industrial, y que atraviesa por un período de crisis y reestructuración, marcado fundamentalmente por la reestructuración de la empresa más importante de la región (Cooperativa Sancor), se han podido identificar algunas experiencias avanzadas en la adaptación, difusión e inicios de adopción de tecnologías 4.0.

Adopción de tecnologías 4.0 en la producción primaria

Desde los años noventa, y sin modificar la estructura heterogénea del sector, se difundieron en los tambos santafecinos modernas técnicas de manejo de los rodeos y de alimentación animal, así como equipos de frío y de higiene y, en general, procesos de mecanización, que se tradujeron en importantes aumentos en la productividad y en la calidad de la leche, impulsando el proceso de concentración mencionado y el desplazamiento de los tambos más chicos (Gutman y otros 2009). Más recientemente, se profundizó la adopción de sistemas de producción estabulados, de confinamiento, con la suplementación en la alimentación, sistemas que constituyen la base organizativa potencial para la implementación de sistemas de tambo 4.0 (tambos de precisión y tambos robot), ya que los sistemas de confinamiento (y sobre todo del tipo free stall) posibilitan la implementación de robótica avanzada, en particular robots de alimentación del ganado, robots de limpieza y robots de ordeño (como el sistema de ordeño rotativo).

La provincia de Santa Fe cuenta con la experiencia de la instalación de un tambo robot experimental en los predios del INTA EEA de Rafaela, para sistemas de base pastoril, los denominados AMS o VMS⁷⁷. El tambo experimental de Rafaela fue el primero de este tipo en el país, implementado a partir de un acuerdo con la empresa proveedora de equipos DeLaval⁷⁸. En el convenio de vinculación tecnológica entre DeLaval y el INTA EEA Rafaela, el INTA aporta el predio y la infraestructura y DeLaval un paquete tecnológico cerrado que incluye las tecnologías de precisión y el brazo robótico para el ordeño, con el propósito de validarlas en un sistema pastoril intensificado. El tambo robótico comenzó a funcionar en 2015, con un módulo individual para el ordeño simultáneo de 65 vacas. Se trata de un sistema que integra robótica avanzada, sensores y monitoreo en tiempo real, software especializado (de origen israelí) y la explotación de la gran cantidad de datos generados (Big Data). Integra las técnicas

⁷⁷ Automatic Milking Systems (AMS), también denominados Voluntary Milking Systems (VMS).

⁷⁸ Información sobre esta experiencia fue proporcionada por Miguel Taverna, a cargo del tambo robótico de Rafaela.

del tambo de precisión, y el brazo robótico elimina el ordeño manual⁷⁹. Esta tecnología ya está validada por la EEA de Rafaela y actualmente existen otros 20 casos en Argentina, dos de ellos en Santa Fe, y cerca de 100 proyectos en carpeta de implementación⁸⁰.

El tambo robot es un claro exponente del potencial de la Industria 4.0, de su carácter integrado y sistémico, y de las alternativas para una progresiva automatización y robotización del tambo. Es posible implementar sucesivamente varias de las tecnologías asociadas al tambo de precisión, especialmente en los casos de sistemas de producción estabulados, con el conjunto de sensores y software especializados que permiten lograr un mayor control del proceso productivo, aumentando la productividad de cada vaca y del conjunto de la explotación tambera, antes de la incorporación del tambo robótico.

Existen en Santa Fe varias grandes explotaciones tamberas estabuladas que han avanzado en la implementación del tambo de precisión. Es el caso, por ejemplo, del Grupo Chiavassa de Carlos Pellegrini, que adoptó tecnología israelí, basada en collares para la medición de la actividad del animal y la rumia. Esta práctica, de generalizarse, podría dar lugar al desarrollo de proveedores locales y nacionales vinculados a estos componentes, en particular de sistemas especializados de software para la captación de datos y la generación de plataformas en la nube. Actualmente, la provisión de estas tecnologías está concentrada en su mayor parte en las dos grandes empresas globales de robotización de tambos, DeLaval (Suecia) y Lely (Nueva Zelanda), las que tiene agencias de representación en el país, a las que suman algunas empresas israelíes proveedoras de software y sensores.

Adopción de tecnologías 4.0 en la industria láctea

La adopción de tecnologías 4.0 en las empresas lácteas radicadas en la provincia ha sido desigual, y supeditado al tamaño de las firmas, a sus formas de organización y al tipo de especialización productiva. Las principales áreas de difusión de estas tecnologías son la administración y la gestión organizacional de las empresas, con la implementación de software de gestión; la incorporación total o parcial de la automatización de procesos, asociando las áreas de IT (tecnologías de la información) y de OT (tecnologías de operaciones); y la implementación de sistemas de trazabilidad al interior de las plantas productivas y en los sistemas de depósito y logística de las empresas, para garantizar calidad y seguridad de los productos.

La industria láctea santafesina muestra una estructura muy heterogénea, con un acotado número de grandes y medianas empresas tecnológicamente avanzadas, y un gran número de pequeñas y medianas empresas con fuerte atraso tecnológico.

En las grandes empresas, con importante presencia de filiales de empresas multinacionales, los softwares del tipo plataforma de gestión SAP, ERP y JD Edwards de Oracle se articulan con los sistemas de calidad implementados, combinando los sistemas informáticos de gestión y los sistemas de calidad. Lo mismo sucede con la integración en las plataformas de gestión con los sistemas de logística y, crecientemente, con los sistemas del proceso productivo en la planta industrial, lo que genera un gran volumen de datos con potencial explotación a partir de herramientas la ciencia de datos, la computación en la nube y la Inteligencia Artificial.

⁷⁹ De acuerdo con los expertos del INTA EEA Rafaela el costo estimado para la instalación de un tambo robótico es, en el caso de ordeño de grupos de 65 vacas, aproximadamente de unos 150.000 dólares, amortizable en doce a quince años. Esta tecnología puede aplicarse en tambos estabulados con rodeos de 1.000 o más vacas, repitiendo módulos individuales o con sistemas rotativos con brazos robóticos.

⁸⁰ Si bien el primer robot ordeñador en Argentina se instaló en el INTA Rafaela, el sistema de ordeño voluntario se está difundiendo en Córdoba y Buenos Aires. En Córdoba la empresa DeLaval está proyectado la instalación de 19 robots y la empresa Lely de otros 16 tambos robot.

En las empresas medianas y grandes, la tecnología organizacional más difundida es el uso de software para la gestión; (trazabilidad parcial, principalmente aguas abajo) mientras que otras la implementan en la gestión de áreas particulares o para focalizarse en aspectos relacionados con la parametrización y estabilidad de ciertos procesos (Benés y Castellanos, 2012). Este segmento de empresas se encuentra avanzando en la automatización de procesos, que es aún parcial y mayormente asociada al final de línea (empaquetado y "paletizado").

Por su parte, las pymes del sector necesitan avanzar en la adopción de las tecnologías difundidas de proceso y en la estandarización y control de calidad de los procesos productivos, como paso previo para la adopción de tecnologías 4.0. Algunas, entre las más atrasadas del sector, requieren asimismo avanzar en el registro contable de sus operaciones productivas y comerciales.

¿Cuál es el grado de adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en empresas de la provincia? Entre las grandes empresas lácteas, EMN Saputo, CORLASA, Milkaut y Nestlé y la empresa nacional Williner han avanzado en la adopción de estas tecnologías, en algunos casos con procesos totalmente automatizados y articulados con software de control de calidad y seguridad.

El grado de diversificación y especialización de las empresas también incide en la implementación de algunas de estas tecnologías, en especial la automatización de los procesos productivos. Se destaca, por una parte, el caso de empresas medianas-grandes (como Tregar García Hnos.) altamente tecnificadas, con diversificación de la cartera de productos. Tregar cuenta con un proveedor local para el software de automatización industrial, la empresa santafesina Interdata. Por otra parte, existen empresas medianas más especializadas, como es el caso de Cassini y Cesaratto, que muestran un alto nivel de automatización de procesos, y de automatización y robotización en su planta industrial de quesos naturales.

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 se sugirió en el capítulo 2

En resumen, en el complejo lácteo la difusión de tecnologías de ruptura, relacionadas con las tecnologías 4.0, que es aún incipiente y se desarrolla de manera muy heterogénea, se concentra en las siguientes áreas:

- i) Adopción de procesos de automatización parcial y su incipiente articulación con plataformas digitales.
- ii) Gestión organizacional.
- iii) Aseguramiento de los parámetros y estándares de calidad al interior de los establecimientos y plantas productivas y a lo largo de la cadena de proveedores (trazabilidad).

Una mayor difusión de estos procesos, que alcance no solo a las empresas de mayor porte, capacidad financiera y tecnificación, requerirá del apoyo estatal deliberado. En tal sentido, la provincia de Santa Fe cuenta con un conjunto de entidades locales, provinciales y regionales que conforman una importante red de apoyo a estas producciones, así como con programas de apoyo para las pymes, con especial atención a los requerimientos para la adopción de las tecnologías 4.0, que la ubican en una posición favorable desde el punto de vista organizacional e institucional.

F. Capacidades público-privadas en Santa Fe, plataformas de apoyo para el desarrollo y la incorporación de tecnología 4.0 en el complejo lácteo

Las instituciones académicas y de CyT de la provincia juegan un papel central en la difusión de modernas tecnologías en el complejo lácteo⁸¹, buscando una mayor homogenización de las condiciones productivas y tecnológicas de productores y empresas y una mayor adopción de estándares de calidad e higiene en la producción de lácteos, prerrequisitos para la difusión y adopción de tecnologías 4.0.

Las actividades y programas de estas instituciones se han orientado en su mayor parte al apoyo de empresas pequeñas y medianas-pequeñas del complejo, que son las que muestran los mayores atrasos relativos en los parámetros tecnológicos.

Además de los programas implementados por el Ministerio de Producción de la Provincia, a través de las secretarías y direcciones sectoriales específicas, así como y de la Dirección General de Asistencia Técnica (DAT) que brinda apoyo técnico a las pymes para la modernización y la innovación tecnológica; y por el Ministerio de Ciencia y Técnica a través de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (AsaCTel) que otorga financiamiento con Aportes No Reintegrables (ARN) enmarcados en convocatorias orientadas a promover la interacción entre el sector científico y el productivo⁸² un conjunto de instituciones y centros de CyT brindan asesoramiento tecnológico y capacitación para las pymes y varias de ellas cuentan con programas específicos de tecnología 4.0.

Entre estos organismos e instituciones públicas se encuentran:

- i) Instituciones municipales como el Instituto Tecnológico Rafaela (ITEC), y el Instituto de Capacitación y Estudios para el Desarrollo Local (ICEDEL), ambos de Rafaela.
- ii) Institutos universitarios de investigación como el Instituto de Lactología Industrial (INLAIN) y el Instituto de Tecnología Alimentaria (ITA) de la Universidad Nacional del Litoral y la Carrera en Gestión de la Tecnología de Rafaela de la Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf);
- iii) Institutos de CyT del INTA, INTI y Conicet.
- iv) Centros Tecnológicos locales como el CENTEC de Rafaela o el más reciente CENTEC de El Trébol.

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, CERELA; la Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos, PROIMI; el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos, CIDCA; y laboratorios especializados de universidades nacionales (UNL y UNR).

A su vez, un conjunto de cámaras empresariales que agrupan a productores primarios y a empresas industriales participa en redes público-privadas para apoyar la difusión y gestión de tecnologías 4.0. Entre ellas se encuentran la Mesa de Productores de Leche de Santa Fe (MEPROLSAFE), Productores de Leche Asociados del Sur De Santa Fe y Córdoba (PLASSACO), y la Asociación de Pequeñas y Medianas Empresas Lácteas (APyMIL).

⁸¹ Esta relevancia quedó evidenciada en las entrevistas a los actores sectoriales realizadas durante el trabajo de campo, especialmente en las localidades de Santa Fe y Rafaela.

⁸² En particular, se destacan la línea Innovación Productiva 2018 e Investigación aplicada a pymes 2018, orientadas principalmente al apoyo de los procesos de innovación y de crecimiento del sector empresarial provincial.

La ciudad de Rafaela, por su parte, cuenta con una importante red de instituciones públicas y privadas, la Red de Ciencia, Tecnología e Innovación de la ciudad de Rafaela y la Región, Red CTel, proyecto que surge del Plan Rafaela Productiva 2020 con el objetivo de consolidar la articulación del trabajo de las instituciones de ciencia y tecnología e investigación con el resto de los actores sociales y el Estado, generando un ámbito local para coordinar acciones. Participan en esta Red 14 instituciones: entre organismos municipales, instituciones de C y T con representación local, universidades nacionales regionales y locales, cámaras empresariales y otras asociaciones privadas⁸³. Esta Red ha impulsado la difusión de las tecnologías 4.0 como elemento estratégico para el aumento de la competitividad de las empresas locales y provinciales, articulando y potenciando iniciativas tendientes al desarrollo de las capacidades empresariales, a la capacitación de pymes lácteas, en particular para la adquisición de los umbrales tecnológicos mínimos para acceder a las nuevas tecnologías (registro de actividades, automatización de procesos), al acompañamiento de las mismas para la adopción de las nuevas tecnologías, y al apoyo para el desarrollo local de proveedores especializados en maquinaria y servicios tecnológicos asociados a las industrias 4.0. En buena medida como resultado de este tipo de articulación institucional, Rafaela se ha convertido en un centro de relevancia a nivel provincial para la difusión de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteo

Entre el conjunto de programas de apoyo de las instituciones de la Red a las pymes del complejo lácteo, que directa o indirectamente, impulsan la adopción de tecnologías 4.0 a través de programas de capacitación, sensibilización y asistencia técnica, cabe destacar las siguientes:

- El INTI-Lácteos de Rafaela, juntamente con el INTA 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 tecnologías de elaboración de quesos, en algunos casos en asociación con empresas de la región, como el desarrollo de un queso funcional para la empresa Cassini y Cesaratto; y el escalado de bioprocesos de conversión de lactosa derivados de lactosuero (Ecosuero), en algunos de ellos aplicando técnicas biotecnológicas. Para los desarrollos de biorefinamiento contaron con el financiamiento de un Fondo Nacional Sectorial (FONARSEC) para el que se asociaron con la UNRaf. Ofrecen también instalaciones para la incubación de pymes lácteas innovativas.
- La Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Rafaela, asesora a los tambos en tecnologías de producción de leche, alimentación y salud animal y manejo de rodeos. En 2018 instaló en su estación 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

⁸³ Los participantes de la Red son: Municipalidad de Rafaela, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI); Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA Estación Experimental Agropecuaria Rafaela); CONICET; Universidad Tecnológica Nacional (UTN, Facultad Regional Rafaela); Universidad Nacional de Rafaela (UNRaf); Universidad Católica de Santiago del Estero (UCSE Rafaela); Universidad Católica de Santa Fe (UCSF); Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales (UCES, Sede Rafaela); Instituto Tecnológico Rafaela (ITEC), integrado por la Municipalidad y la Fundación para el Desarrollo Regional; Instituto PRAXIS (perteneciente a UTN-FRRa); Asociación Civil para el Desarrollo y la Innovación Competitiva Agencia Rafaela (ACDICAR); Instituto de Capacitación y Estudios para el Desarrollo Local (ICeDeL), Instituto de capacitación y estudios para el desarrollo local, de la Municipalidad de Rafaela; y el Centro Industrial y Comercial de Rafaela y la Región (CCIRR).

prácticas de calidad de los procesos y de automatización de procesos, como paso previo para la adopción de tecnologías 4.0.

- El Comité Técnico de Alimentos del Programa de Competitividad Territorial (BID - FOMIN - ACDICAR) de la Red de CT ha generado un conjunto de líneas de trabajo orientadas al sector lácteo, que muestran en la actualidad diferentes grados de avance, orientadas a aspectos de calidad y seguridad de los productos lácteos y de sus proveedores, certificación de equipos críticos asistencia a las pymes de la región, y en particular al relevamiento de la Pyme láctea de la región, todos ellos aspectos críticos y de abordaje necesario para la adopción de las nuevas tecnologías ⁸⁴.
- Las temáticas vinculadas con la manufactura avanzada y las tecnologías 4.0 se abordan, en particular, en la Red de CTel, en dos de sus grupos de trabajo: el Grupo de Vinculación Tecnológica, con workshops de I4.0 en los temas de informática aplicada, impresión aditiva, robótica y tecnología y sustentabilidad; y en el grupo de Industrias 4.0 con talleres de expertos y actividades de sensibilización de empresas.
- La labor del Centro Tecnológico CENTEC de Rafaela, creado en 2015 a partir del apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, por medio del Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR). es una Red institucional que ofrece servicios especializados en manufactura, industria digital y capacitación. Está conformado por ACDICAR, INTI Rafaela, UNRaf, ITEC Rafaela y UTN FRRA. En 2018 incorporó 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.
- Las actividades del Centro Tecnológico El Trébol, instalado en conjunto con la Cámara Argentina de Fabricantes y Proveedores de Equipamientos, Insumos y Servicios para la Cadena Láctea (CAFyPEL) en forma articulada con la Dirección General de Asistencia Técnica (DAT) del Gobierno de Santa Fe. CAFyPEL es una cámara gremial que cuenta unos 29 asociados, mayormente empresas nacionales radicadas en la Provincia de Santa Fe, con la presencia de agencias comerciales de algunas empresas extranjeras proveedoras de paquetes tecnológicos de I4.0, como DeLaval y GEA Farm Westfalia. El Centro posee un laboratorio de ensayo de componentes diseñado por la DAT. Inicialmente elaboraron proyectos para proveer a tambos de tecnología 4.0 para identificar el ganado, monitorear las vacas a través de sensores y realizar modelos predictivos. Posteriormente redefinieron el proyecto orientándolo a sensores para el tanque de frío.

Como se desprende de las iniciativas y acciones descriptas, diversas instituciones locales y provinciales desarrollan tareas de capacitación, sensibilización y asistencia tecnológica orientadas a las pymes lácteas para para impulsar la difusión de las I4.0, ya sea en forma directa, o bien apoyando la

⁸⁴ Como ejemplo de la articulación alcanzada en estas actividades, en la línea de calidad en envases participan el Instituto de Tecnología Celulósica, la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral, INTI Lácteos, el Instituto Tecnológico Rafaela, y las empresas Williner, Milkaut, SanCor, Saputo, Faben, Papel técnica, Indupal, Amipack y Plásticos Rafaela (Benés y Castellanos, 2012).

modernización tecnológica de un número relevante de pymes que muestran fuerte atraso tecnológico, como paso previo para la adopción de las nuevas tecnologías.

Adicionalmente, un conjunto de regulaciones orientadas al complejo lácteo a nivel nacional y provincial ha avanzado en la definición de reglas de juego más claras para el sector, promoviendo la implementación de parámetros y estándares de calidad e higiene de la leche y acentuando la transparencia a lo largo de la cadena en relación con el precio y modalidades de pago de la leche cruda. Estas regulaciones, al mejorar las relaciones intersectoriales, han facilitado al mismo tiempo la difusión de nuevas tecnologías al apoyar la adopción de normas y parámetros acordes con las mejores prácticas internacionales.⁸⁵

A nivel nacional, en 2016 se crea el Sistema Integrado de Gestión de la Lechería Argentina, SIGLeA, (Resolución 229/2016), que incorpora las funciones del sistema de pagos previo⁸⁶ y establece parámetros de calidad de referencia de la leche, con carácter universal y obligatorio para todos los actores del sector (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016).

En síntesis, la provincia de Santa Fe cuenta con una importante Red de Ciencia y Tecnología que 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. Se destacan, más allá de su carácter incipiente, ciertos programas sobre tecnologías 4.0 que pueden resultar clave para el segmento de las pymes, permitiéndoles:

- i) avanzar en las condiciones mínimas para su aplicación a partir de la estandarización de procesos y productos, control de la producción, normativa higiénico-sanitaria, digitalización de la gestión contable y administrativa y sensibilización de los actores;
- ii) actuar como *lead-user* de estas tecnologías, como en el caso del tambo robot experimental del INTA EEA Rafaela; y
- iii) promover el desarrollo de proveedores locales de tecnologías complementarias.

No obstante, un conjunto de cuellos de botella presentes en la producción primaria y en el procesamiento industrial del sector lácteo santafesino, dificultan los alcances de la difusión y la adopción de las tecnologías 4.0, en particular en las Pymes, constituyendo desafíos de política para la implementación de estas tecnologías en la provincia. La superación de estas limitaciones, como se verá en las siguientes secciones, demanda un esfuerzo institucional adicional al que la provincia viene realizando. En este sentido, el importante tejido institucional público y privado, local y provincial, representa un activo fundamental en la transformación productiva y tecnológica perfil de empresas lácteas.

G. Desafíos y cuellos de botella en la difusión de la I4.0 en el complejo lácteo de la provincia

El análisis de las limitaciones para la adopción de las tecnologías 4.0 en el complejo lácteo de la provincia de Santa Fe requiere diferenciar la situación de las pymes tecnológicamente más rezagadas, tanto a

⁸⁵ Entre las regulaciones de este tipo aprobadas en Santa Fe se encuentra el Decreto 1532/2009, que define la leche de referencia, y la Resolución 439/2014 que reglamenta las condiciones de composición y calidad de la leche estándar y la obligatoriedad de informar el precio abonado por kilo de proteína y por kilo de grasa butirosa.

⁸⁶ Sistema de Pago de la Leche Cruda sobre la base de Atributos de Calidad Composicional e Higiénico-Sanitarios, 2012.

nivel industrial como de la producción primaria, de los grandes y medianos productores tecnificados en el caso de la producción primaria, y de las grandes empresas multinacionales y nacionales y las medianas empresas en acelerado proceso de adopción de modernas tecnologías en el sector industrial.

Las grandes y medianas grandes empresas industriales que operan en el sector muestran importantes niveles de adopción de tecnologías de automatización y control asociadas a los dominios digitales y físicos de las industrias 4.0, si bien con diferencias en la magnitud y ritmo de incorporación de estas tecnologías. Las mismas se proveen de empresas globalizadas productoras de equipos y servicios tecnológicos especializados, con las que mantienen estrechas articulaciones proveedor/cliente, acuden a empresas locales de software para algunos procesos de gestión empresarial, y tienen acceso a fuentes de financiamiento propias y externas.

Por el contrario, la difusión y adopción de estas tecnologías por parte de las pymes enfrenta importantes obstáculos, en buena medida derivados de su atraso tecnológico, lo que dificulta la adquisición de las necesarias capacidades competitivas por parte de este segmento de empresas. La superación de estos obstáculos requiere, por una parte, el desarrollo de proveedores locales de equipos y servicios tecnológicos de punta especializados en los requerimientos de este estrato de empresas y, por otra parte, el reforzamiento de las actividades de difusión, capacitación y sensibilización que están realizando las instituciones públicas y público/privadas de ciencia y técnica locales y provinciales orientadas al complejo lácteo.

En la producción primaria los principales cuellos de botella en los tambos pequeños y medianos, de acuerdo con los expertos sectoriales de la provincia, se relacionan en primer lugar con los bajos niveles de estandarización de la calidad de la leche y de los controles necesarios para avanzar en procesos de automatización y otras tecnologías 4.0. A ello se suma el escaso conocimiento de este estrato de productores, o la poca difusión, de los beneficios y potencialidades alcanzables con la adopción de tecnologías 4.0 y de las diversas tecnologías digitales, así como de la importancia de la información que podría generarse a través de sensores y otros dispositivos digitales para la toma de decisiones en la explotación tambera. La creciente presencia local y provincial y nacional de agencias comerciales de los principales proveedores globales de servicios tecnológicos para el tambo, así como las tareas de extensión llevadas adelante por la Estación Experimental INTA Rafaela contribuirán a una mayor difusión de los beneficios de estas tecnologías.

En otro orden, varios aspectos de la infraestructura disponible, tanto en caminos y accesos a la producción tambera como en redes de conectividad, se transforman en obstáculos, directos o indirectos para la difusión de las modernas tecnologías. En particular, el reducido alcance de la conectividad y la baja calidad de la infraestructura eléctrica en varias regiones de la provincia constituyen un importante obstáculo para la difusión de las industrias 4.0. Asegurar la conectividad de las redes digitales, aparece como una de las claves para el potencial aumento de productividad asociado con estas tecnologías.

Otro factor de relevancia lo constituye las dificultades para el acceso al financiamiento necesario para la adopción de estas tecnologías. Las inversiones para la implementación de las en industrias 4.0 son, en algunos casos, elevadas y sólo recuperables luego de varios años. Por ejemplo, la instalación de un tambo robot para un módulo de 65 vacas requiere de inversiones cercanas a los 150.000 dólares, recuperables en período que va de los 11 a los 15 años.

En la etapa industrial del complejo lácteo, uno de los principales obstáculos para la difusión de las tecnologías 4.0 entre las pymes es, como se ha señalado, su atraso tecnológico y el insuficiente conocimiento de las nuevas tecnologías y de las ventajas que podrían proporcionarles. Se impone, como precondition para avanzar en la adopción de estas tecnologías, el logro de un umbral mínimo de tecnificación, de estandarización y de controles de calidad y seguridad de los procesos productivos.

Los problemas de acceso al financiamiento también están presentes en esta etapa del complejo lácteo. Varias empresas industriales, en particular grandes y medianas, han podido acceder al financiamiento para las actividades de I+D y la actualización de equipamiento e instalaciones productivas mediante instrumentos públicos como el FONARSEC y el FONTAR, y desde el año 2016 cuando estas líneas nacionales vieron recortados sus presupuestos, las empresas acudieron a líneas de financiamiento ofrecidas por la provincia, en particular aportes no reembolsables. No obstante, la adopción de tecnologías 4.0 implica en algunos casos importantes inversiones, lo que se transforma en un cuello de botella en un contexto de muy elevadas tasas de interés y ausencia de instrumentos nacionales con foco en líneas de crédito diferenciadas para inversión de las pymes.

Se ha señalado también como obstáculo, la escasa acción coordinada de las pymes para enfrentar las dificultades asociadas con la incorporación de nuevas tecnologías y aumentar de esta forma su poder de negociación frente a proveedores.

En resumen, y centrado en el estrato de las pymes del complejo, las que constituyen el conjunto más numeroso de empresas y de establecimientos lácteos, los principales cuellos de botella que enfrentan se encuentran asociados a su limitado desarrollo tecnológico, el desconocimiento de las nuevas tecnologías y a las dificultades para el acceso al financiamiento.

La tarea que realiza el importante tejido institucional público y privado local y provincial, orientado al apoyo de este segmento de empresas, a través de diversos programas e iniciativas de colaboración, juega un importante rol para impulsar la transformación productiva y tecnológica de las pymes, pero deben ser potenciados aún más y en algunos casos repensados a la luz del nuevo escenario tecnológico y productivo, que redefine las necesidades y el potencial competitivo de las firmas, especialmente del segmento de las pequeñas y medianas empresas

H. Propuestas para el diseño de políticas orientadas al complejo lácteo de Santa Fe

A partir de las especificidades de la producción primaria y de la etapa industrial del complejo lácteo, analizadas en este capítulo, así como de los desafíos y cuellos de botella para la difusión de modernas tecnologías, pueden proponerse un conjunto de lineamientos de política para la adopción de tecnologías 4.0 en este complejo, que permiten a su vez identificar áreas de intervención e instrumentos específicos de apoyo.

Por una parte, están presentes en la provincia varias instituciones de C y T que realizan importantes tareas de sensibilización, extensión, asistencia técnica y capacitación orientadas a impulsar la modernización tecnológica de productores y empresas del complejo, en especial del estrato de las pymes. Para promover la difusión y adopción de las nuevas tecnologías se vuelve necesario en primer lugar **reforzar la infraestructura de CyT de la provincia**, apoyando particularmente las actividades de los Centros Tecnológicos, de los laboratorios universitarios y los programas universitarios de formación de profesionales especializados, y de las redes público/privadas e instituciones de CyT orientadas al complejo lácteo, instituciones que está llevando a cabo una importante tarea de coordinación de sus acciones a nivel local y provincial. El fortalecimiento de centros tecnológicos y de clusters regionales especializados en la producción láctea, en estrecha asociación con universidades regionales y cámaras empresarias, es una política ampliamente difundida en EEUU (por ejemplo en Wisconsin y en Madison) varios países europeos importantes productores lácteos (Holanda, Francia, Dinamarca), Australia y Nueva Zelanda, países que han implementado políticas para el desarrollo y adopción de tecnologías 4.0.

En el mismo orden de propuestas, es importante, para **potenciar los alcances y los impactos de** los programas públicos e instrumentos de política actualmente existentes dirigidos al apoyo de este complejo productivo, facilitar el **acceso al financiamiento** para el desarrollo tecnológico y las actividades de innovación; **promover una mayor coordinación** de los programas locales, provinciales, regionales y nacionales orientados a la difusión de las tecnologías 4.0 en este complejo. La Unión Europea, por ejemplo, ha desarrollado líneas de financiamiento a la actividad de I+D para proyectos de investigación que involucran a varios países, para estudiar, entre otros temas, mejoras en los sistemas de tambo robot aplicados a pymes de base pastoril.

Un área de políticas de suma relevancia en este complejo está relacionada con las actividades de investigación y desarrollo (I+D) de productores y empresas lácteas. El diagnóstico realizado pone en evidencia que se trata de un aspecto crítico, que está poco (o nada) desarrollado en las pymes del sector. De allí que **impulsar las actividades de I+D y de innovación** particularmente de este estrato de empresas constituya un área central de política e involucra varios temas, algunos de los cuales ya han comenzado a abordarse, como se señaló a lo largo del capítulo, y otros debieran programarse. Destacan a nivel internacional, tanto para el apoyo a la conformación de redes como para el impulso a la I+D, los casos de la Universidad de Illinois, en EEUU que aloja a centros de I+D de grandes empresas proveedoras de modernas tecnologías en su parque de investigación, y aloja a start-up y a incubadoras de empresas; el caso de la Universidad de Wageningen en Dinamarca, que creó una organización en red de la cadena láctea: el Instituto Max Rubner en Alemania, que nuclea a los centros federales de investigación en alimentos; las investigaciones llevadas a cabo en el INRA en Francia, y el apoyo prestado en Nueva Zelanda para la conformación de asociaciones público/privadas para la I+D.

Entre las áreas de intervención que ya cuentan con iniciativas en curso se destacan i) el apoyo a productores y empresas pymes para alcanzar los umbrales mínimos de tecnología, necesarios para la adopción de Industria 4.0, tareas que están llevando a cabo, entre otros, el INTA y el INTI provinciales y locales a través de varios programas y ii) el apoyo a la implementación de **buenas prácticas agropecuarias y manufactureras** y de los estándares regulatorios, política que cuenta también con avances en varios programas públicos.

Adicionalmente, un conjunto de políticas deberá considerar los nuevos requerimientos para el desarrollo tecnológico de los productores del complejo. Entre ellos, es de importancia el **fomento del desarrollo de proveedores especializados** en distintos elementos del paquete tecnológico asociado a las nuevas tecnologías. Teniendo en cuenta que no es necesario la adopción integral/cerrada de este paquete sino que las tecnologías asociadas pueden incorporarse progresivamente (por ejemplo, plataformas digitales y sensores que permitan monitorear la salud del ganado y provean información al productor; software de gestión empresarial; soluciones de automatización a medida de las pymes), el desarrollo de proveedores especializados en diversas tecnologías asociadas a la I4.0 cobra una importancia estratégica. La experiencia de países líderes en los mercados mundial de leche en el apoyo a la I+D de empresas proveedoras de tecnología es ilustrativa al respecto, como se ha señalado en los casos de Estados Unidos, Dinamarca, Alemania y otros países líderes en la producción de lácteos.

La instalación de tambos demostrativos (tambos robotizados, tambos de agricultura de precisión), de plantas piloto con equipamiento en tecnologías de punta, y la incubación de empresas en instituciones de C y T y laboratorios universitarios, constituyen áreas de política relevantes que permitirán potenciar experiencias en curso como las del tambo robótico de la Estación Experimental del Inta Rafaela y las iniciativas del INTI y otras instituciones de la Red de C y T de Rafaela en la difusión de tecnologías de proceso y producto. La importancia del establecimiento de tambos demostrativos es ampliamente reconocida en Nueva Zelanda. En este país, la DairyNZ, la más importante institución asociativa para el desarrollo de tecnologías para el tambo instaló en el 2001 el primer tambo robótico experimental, para

testear los sistemas de ordeño automático en sus explotaciones con predominio del sistema pastoril, realizando una amplia labor de difusión de estas tecnologías y de capacitación de los productores.

Igualmente importantes son las políticas de apoyo a la **conformación de redes y de asociaciones** privadas y público/privadas, entre ellas el fomento de la asociatividad de las pymes primarias e industriales para ganar escala y poder de negociación, y la asociación de empresas con institutos de CyT para el desarrollo de actividades de innovación.

Por último, las actividades y programas de capacitación y sensibilización para **formación de personal especializado en las nuevas tecnologías**, así como la realización de talleres de difusión y de capacitación constituyen políticas centrales para la difusión de las tecnologías I4.0. El apoyo de instituciones de C y T y de centros universitarios especializados es ampliamente reconocido a nivel internacional y, como hemos señalado, ha comenzado a implementarse en la provincia.

Este conjunto de lineamientos engloba diversos programas y actividades de distinto alcance territorial. Las propuestas de política y herramientas que han surgido de este estudio se presentan en el cuadro a continuación:

Cuadro 13
Áreas y herramientas de política para el sector lácteo de la provincia de Santa Fe

	Lácteos		
	Nivel Nacional	Nivel Provincial	Nivel Local
Fortalecimiento de la Infraestructura de CyT en Industria 4.0			
Apoyo a actividades de centros tecnológicos	INTI	DAT (Ministerio de Producción de Santa Fe), UNRaf, UNL	CENTEC de Rafaela, Centro Tecnológico de El Trébol, INTI Lácteos Rafaela
Tambos demostrativos y Plantas Piloto	INTI, INTA		INTA EEA Rafaela
Vinculación y transferencia internacional en tecnologías I4.0	INTA		INTA EEA Rafaela
Formación, capacitación y sensibilización			
Formación en RRHH, ingeniería agronómica, gestión tecnológica, ingeniería industrial	UNRaf	DAT (Ministerio de Producción de Santa Fe), UNL, UTN, UNR	CENTEC de Rafaela
Sensibilización y capacitación	INTA, INTI	DAT, Cámaras empresarias	Red de Ciencia, Tecnología e Innovación de Rafaela.
Impulsar I+D e incorporación de tecnologías de avanzada			
Financiamiento, ANR y Crédito Fiscal a la innovación	FONTAR, FONARSEC, Financiamiento del CFI a través de la Región Centro	Reforzar líneas ANR de Agencia de Ciencia y Tecnología de la Provincia	
Promoción de proveedores locales de tecnologías complementarias	INTI, INTA	Agencia de Ciencia y Tecnología de la Provincia, Ministerio de Producción, Cámaras empresariales, Ministerio de Producción	Centros tecnológicos locales, Red de Ciencia, Tecnología e Innovación de Rafaela.
Marco de incentivos y regulatorio			
ANR y Crédito Fiscal a la innovación e incorporación de estándares	Coordinación a través de la Región Centro	Ministerio de Producción Provincial, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Provincia	
Promover y difundir la adopción de las BPA y las BPM.	SENASA, ANMAT, Coordinación con Región Centro	Ministerio de Producción Provincial	
Articulación Sistémica			
Ventanilla de recepción de problemas tecno-económicos y articulación de red de centros tecnológicos		DAT como ventanillas de recepción y reorientación de proyectos a Centros Tecnológicos, asociación público-privada con cámaras empresarias	Red de Ciencia, Tecnología e Innovación de Rafaela.

Fuente: Elaboración propia.

VI. Lineamientos generales para la difusión de tecnologías 4.0 en la provincia de Santa Fe

La provincia de Santa Fe, caracterizada por un alto grado de diversificación sectorial (en relación con otras provincias de base agropecuaria) y el fuerte peso de la industria manufacturera (23% del VAB provincial)⁸⁷ enfrenta el reto planteado por el avance de un conjunto de tecnologías digitales, físicas y biológicas enmarcadas en la denominada Industria 4.0. A través de la incorporación de sensores y actuadores en distintas máquinas, la mayor conectividad, la computación en la nube y los grandes datos generados en los procesos productivos, la Industria 4.0 posibilita aumentos de productividad en amplios sectores de la economía, reduce los tiempos de los procesos productivos, disminuye los costos del capital fijo, y permite una mayor customización de productos y servicios. Como pudo apreciarse al describir las trayectorias tecnológicas y de los modelos de negocio de los cuatro complejos analizados en el marco de este proyecto (software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y lácteo), este escenario tecnológico alberga la posibilidad de nuevas estrategias de apropiación y disputas por los excedentes generados a partir de estas tecnologías entre grandes firmas globales proveedoras de soluciones de automatización y equipamiento, que ofrecen sus propias plataformas digitales para la interacción entre los equipos y entre los diferentes actores de las cadenas productivas. Entre las firmas predominantes a escala global se encuentran General Electric, Siemens, Sas, Aveva y Schneider. También en la agroindustria grandes firmas realizan desarrollos de plataformas industriales a partir de la interconexión de máquinas y equipos, como John Deere, CNH y Agco en maquinaria agrícola, y Alfa Laval en el complejo lácteo.

La adopción de la Industria 4.0 requiere de ciertas condiciones tecno-productivas fundamentales. Por un lado, es preciso contar con capacidades en actividades transversales o “facilitadoras”, como la industria de software y servicios informáticos (SSI) y la electrónica de agricultura de precisión, que

⁸⁷ De acuerdo con estimaciones de la CEPAL, la industria manufacturera; la agricultura, ganadería, caza y silvicultura; y el comercio y las actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler son las que dan cuenta de una mayor parte del producto en términos individuales y, en conjunto, representan más del 68% del valor agregado provincial

actúan como principales “vectores de difusión” de la Industria 4.0 en actividades de larga trayectoria en la estructura industrial santafesina, entre ellas, la industria de maquinaria agrícola y el complejo lácteo. Por el otro, se requiere la presencia de actividades generadoras de nuevos campos de expansión de la digitalización, como las industrias biofarmacéuticas y de genómica, en las que la provincia de Santa Fe cuenta con un desarrollo incipiente, pero de alto peso a nivel nacional en términos de capacidades de I+D y de bioprocesos.

La industria de SSI juega un rol clave, junto con la electrónica, como vector de difusión de nuevas tecnologías asociadas con la recolección y el procesamiento de grandes volúmenes de datos, recopilados a través de los distintos equipamientos y máquinas automatizados e interconectados a través de internet. La industria de SSI ha mostrado un importante crecimiento desde el año 2003 en la provincia de Santa Fe, y un potencial de desarrollo asociado a las necesidades y soluciones técnicas de las demás actividades productivas de la provincia, factor que se torna especialmente relevante en el actual escenario tecnológico.

En materia de capacidades tecnológicas, las empresas pertenecientes a los cuatro sectores considerados en este estudio se encuentran entre las principales receptoras de financiamiento nacional para iniciativas de I+D entre 2004 y 2016. En particular, cuando se considera la cantidad de proyectos, se destacan los relacionados con software y servicios informáticos y los de maquinaria agrícola, los de la industria láctea y los de otros productos químicos aplicadas a la industria de salud y agrícola. El perfil sectorial de los recursos dedicados a actividades de innovación revela la importancia que estos sectores tienen como potenciales difusores y como usuarios de las nuevas oportunidades tecnológicas vinculadas a la Industria 4.0.

A partir de las capacidades y trayectorias sectoriales identificadas en la provincia de Santa Fe, y teniendo en cuenta los cuellos de botella que limitan el avance tecnológico, el estudio identificó un conjunto de regularidades a nivel internacional en materia de acciones de política industrial 4.0 que pueden orientar el diseño de una política provincial específica con foco en los complejos de software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y lácteo. Estas regularidades se agrupan en siete ámbitos de intervención e involucran a más de un nivel jurisdiccional (nación, provincia y municipio): i) Oportunidades científicas y tecnológicas, ii) Aprendizajes distribuidos socialmente (formación y capacidades de la fuerza de trabajo), iii) Aprendizajes y capacidades tecnológicas de las empresas (velocidad y eficacia con la que internalizan y generan capacidades), iv) Incentivos que afectan la rentabilidad de las empresas (subsidios, tarifas, barreras a la entrada), v) Mecanismos de selección para establecer reservas de mercado para las empresas locales (compra estatal, marco regulatorio, certificación estándares), vi) Patrones de interacción (colaboración) entre distintos tipos de agentes, y vii) Inversión en infraestructura física y digital⁸⁸.

Oportunidades científicas y tecnológicas

Las cuatro experiencias internacionales analizadas (Alemania, Estados Unidos, China, Italia)⁸⁹ muestran que las acciones de política científica y tecnológica 4.0 se orientaron a la convergencia entre las nuevas tecnologías y las trayectorias tecnológicas previas, cuya implementación quedó a cargo de instancias de decisión nacional.

En la Argentina este tipo de acciones también corresponde a decisiones de política nacional de CyT, como es el caso de buena parte de los laboratorios e institutos en la provincia de Santa Fe. En ese marco, las iniciativas nacionales relacionadas con la Industria 4.0 son aún incipientes y acotadas a programas con bajo presupuesto público. La Argentina cuenta a nivel nacional con institutos tecnológicos como el INTI y el INTA con capacidades muy importantes en materia de exploración,

⁸⁸ El análisis pormenorizado de los 7 ámbitos de intervención se encuentra en el cuadro A1 del anexo 2.

⁸⁹ Capítulo 1.

adaptación tecnológica y verificación de estándares. En el año 2019 el INTI creó un departamento de Industria 4.0 que ha avanzado en las primeras etapas de diagnóstico y sensibilización junto al sector privado, en las que participaron las sedes regionales localizadas en Santa Fe. En la medida que esta iniciativa se escale con recursos presupuestarios y mayor articulación con las capacidades científicas y tecnológicas disponibles en la infraestructura nacional de CyT, podría tener algún impacto en las empresas de la región. Existen oportunidades tecnológicas latentes, como ocurre con el desarrollo de la Computadora Abierta Industrial (CAI), cuyo potencial en el desarrollo de sistemas embebidos ha demostrado ser fuente de soluciones para desarrollos de electrónica en tecnologías críticas.

Paralelamente, en materia de software y servicios informáticos (SSI), se pudo identificar la necesidad de la articulación con el nivel nacional para el desarrollo de una plataforma tecnológica para la industria (IIoT, Industrial Internet of Things). Esta plataforma podría brindar financiamiento para la integración de soluciones de automatización y digitalización involucrando a empresas de software existentes en Santa Fe y componentes de IIoT diseñados y ensamblados por empresas de electrónica local, que puedan brindar prestaciones compatibles con las necesidades de empresas medianas y pequeñas, con menores costos y adaptados a diversos grados de estandarización (y eventualmente automatización) de procesos, que las soluciones ofrecidas por los grandes proveedores globales. Santa Fe cuenta con importantes oportunidades en los campos de las TIC, biotecnología y bioinformática localizadas en el Polo Tecnológico de Rosario y el Parque Tecnológico Litoral Centro, con participación de universidades, gobiernos municipales y provinciales y asociaciones empresarias.

Por su parte, la presencia local de capacidades en genómica, diagnóstico in vitro y desarrollo de cultivos celulares en los laboratorios de las universidades nacionales localizadas en la región, en particular la Universidad Nacional del Litoral, o en empresas que desarrollaron sus plataformas en cofinanciamiento con la cartera nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (como Bioceres), brindan la posibilidad de ampliar el ecosistema de vinculaciones más allá de las actuales aplicaciones en salud humana, que se encuentran acotadas a la demanda tecnológica de un conjunto reducido de empresas biofarmacéuticas y de servicios de diagnóstico genético.

Formación de la fuerza de trabajo

Con relación a las acciones orientadas a la transformación de las oportunidades de ciencia y tecnología en capacidades tecnológicas de las empresas se presenta, por un lado, el desafío de formar, o bien complementar la formación de la fuerza de trabajo en la empresa con mayores capacidades técnicas e ingenieriles. Por otro lado, surge la necesidad de acelerar la adopción de las nuevas tecnologías, así como la generación de capacidades internas para la innovación mediante una mayor incorporación de ingenieros electrónicos, ingenieros en sistemas, bioinformáticos, y otras disciplinas asociadas.

Las empresas pequeñas y medianas requieren la formación fuerza de trabajo polivalente que circule por distintas etapas en la línea de producción e incluso en el caso de la industria biofarmacéutica, entre distintos departamentos (como, por ejemplo, I+D, regulatorio y productivo). Los esquemas de formación requieren combinar las instancias en centros educativos formales con las pasantías en centros tecnológicos o empresas, cruciales en los procesos de aprendizaje en la etapa de adopción de la tecnología. En la actualidad, se destaca el rol de la Dirección de Educación Técnica, en actividades de sensibilización sobre la necesidad de tecnologías 4.0, y la formación de estudiantes en electrónica y robótica, en tanto reconocen que son esenciales para su inserción laboral futura. El fortalecimiento de estas capacidades de formación requiere la capacitación docente, la modificación curricular, el financiamiento para la adquisición de equipamiento y la creación de sistemas de pasantías en el marco de los centros tecnológicos, inspirado en la experiencia de CIDETER en Las Parejas junto a la Universidad Tecnológica Nacional y el Ministerio de Educación de la Provincia.

Aprendizajes y capacidades tecnológicas

Alcanzar los umbrales de conocimiento y capacidades por parte de pequeñas y medianas empresas exige instrumentos de financiamiento y horizontes de protección selectiva para la adopción acelerada de este tipo de tecnologías. En industrias con una trayectoria tecnológica basada en la innovación incremental y adaptativa de productos que involucran crecientemente electrónica y software aplicado, como es el caso de maquinaria agrícola y el equipamiento para la industria láctea, se requieren no solo capacidades de ingeniería mecánica sino en sistemas y electrónica, combinadas con conocimientos agronómicos. Por su parte, en materia de incorporación de nuevos procesos 4.0 en industrias usuarias como la industria láctea se verifican dinámicas de adopción diferentes. Las grandes y medianas empresas industriales se proveen de empresas globalizadas de equipos y servicios tecnológicos especializados, con las que mantienen estrechas articulaciones proveedor/cliente, acuden selectivamente a empresas locales de software, y tienen acceso a fuentes propias y externas de financiamiento. Por el contrario, la difusión y adopción de estas tecnologías por parte de las pymes enfrenta numerosos obstáculos. Su superación requiere tanto del desarrollo de proveedores locales de servicios tecnológicos de punta como de actividades de difusión, capacitación y sensibilización por parte de las instituciones públicas y público/privadas de ciencia y técnica.

Estas empresas son las más afectadas por el retroceso de la política científica y tecnológica nacional en los últimos años, en particular por la discontinuidad de los instrumentos FONTAR y FONARSEC desde 2017. La misma abre un espacio de vacancia en materia de subsidios para la actualización tecnológica a través de aportes no reembolsables, subsidios de tasa de interés, o el uso de créditos fiscales a la I+D en un momento en el que la aceleración de la difusión de las tecnologías digitales requiere respuestas de política que estén a la altura —en calidad y magnitud— de los nuevos retos. En la provincia de Santa Fe, la Agencia Provincial de Ciencia y Tecnología compensó parcialmente el retroceso del financiamiento nacional a la innovación mediante la implementación de un conjunto de iniciativas de apoyo al sector privado, que incluyeron aportes no reembolsables financiados con fondos provinciales.

Incentivos fiscales con foco sectorial

En los casos internacionales analizados, el conjunto de acciones incluyó instrumentos fiscales con diversos grados de focalización sectorial. En todos ellos, el perfil sectorial obedeció al tipo de especialización que se buscó preservar. En el caso de la provincia de Santa Fe, el perfil de especialización en sectores proveedores de equipo y maquinaria para la agricultura y la industria alimentaria (láctea y oleaginosa) podría ser reforzado con un mayor apoyo a proyectos que integren capacidades digitales con capacidades en metalmecánica y electrónica. Las industrias farmacéuticas y de semillas podrían también ser de relevancia en la definición de un perfil sectorial del financiamiento a partir de instrumentos nacionales y provinciales orientados a la biotecnología. En el primer caso, se destaca el Bono de Bienes de Capital extendido en el año 2019. Si bien se trata de un instrumento nacional, en su reciente modificación se transformó en un incentivo importante a la convergencia entre software, electrónica y metalmecánica que, por el perfil de especialización provincial, puede ser aprovechado por las empresas de Santa Fe. Este instrumento fiscal permite financiar la generación de departamentos de ingeniería y ensayos, ya sea internos a las firmas o en sus centros tecnológicos asociados. Estos esfuerzos podrían resultar de relevancia a la hora de articular los distintos dominios que entran en juego en la Industria 4.0. En estos desarrollos, centros tecnológicos como CIDETER, el Trébol y otros, junto a la Dirección de Asistencia Técnica (DAT) y el INTI y el INTA pueden jugar un rol crucial como Unidades de Vinculación Tecnológica entre el sector productivo y la infraestructura de ciencia y tecnología.

Gestión selectiva del mercado interno y el rol de la compra pública

La Industria 4.0 requiere de instrumentos que vayan más allá de las herramientas tradicionales vinculadas al comercio internacional (como aranceles) y que permitan reducir las asimetrías que enfrenta la industria local frente a las empresas de los países desarrollados. A lo largo de este estudio se consideraron los efectos positivos de ciertas acciones de administración de comercio, como en el caso del acceso por parte de las pymes a ciertas agropartes críticas para tractores de alta potencia y solo disponibles para las marcas de empresas globales. Sin embargo, emergen nuevos campos de intervención pública, que están ganando terreno en el marco de la competencia tecnológica a nivel global. En las experiencias internacionales analizadas se aprecia un abordaje estratégico de la propiedad intelectual, las regulaciones y la estandarización, según se trate de medicamentos o de productos metalmecánicos-electrónicos. La definición de los estándares de la IIoT ocupa un lugar central en la disputa entre distintas empresas globales por la apropiación de los beneficios de la innovación, lo que impacta particularmente sobre las industrias de los países semi-industrializados. En numerosas ocasiones, los países en desarrollo se encuentran fuera de estas instancias internacionales, con la consecuente desprotección de las empresas locales. Estos elementos representan un factor de incertidumbre para ciertos segmentos usuarios de la industria, en particular pequeñas y medianas empresas industriales, farmacéuticas productoras de biosimilares y productores agropecuarios con fuerte presencia en Santa Fe.

Un abordaje estratégico de estos elementos requiere del trabajo mancomunado de la provincia con el nivel nacional para la preparación frente a las negociaciones internacionales que tienen lugar, por ejemplo, en los grupos de trabajo de la OMC sobre propiedad intelectual, las negociaciones bilaterales que se inician tras la firma preliminar del acuerdo UE-MERCOSUR, o en las asociaciones empresarias internacionales en materia de estándares. El gobierno nacional debe actuar en forma activa en las instancias internacionales en las que se definen criterios de altura inventiva de patentes, criterios de definición de similitud en las aprobaciones regulatorias de medicamentos, e interpretaciones de estándares de comunicación entre dispositivos electrónicos, como el ISOBUS para el caso de la maquinaria agrícola, o PROFINET para la electrónica e informática industrial.

La centralidad de la jurisdicción nacional en el establecimiento de los esquemas regulatorios no supone prescindir de las acciones a nivel local y provincial, que pueden contribuir a generar capacidades y/o a pre-certificar estándares, por ejemplo en la industria de maquinaria agrícola, o la generación de capacidades analíticas para la aprobación regulatoria de medicamentos a nivel nacional e internacional, entre otros aspectos. En el caso de la industria de maquinaria agrícola, estas acciones pueden involucrar la creación de un centro de validación y capacitación público-privado en materia de protocolos de comunicación electrónica, y por el otro, el desarrollo de tecnologías de migración a partir de convertidores/traductores desde estándares privados de agricultura de precisión a estándares públicos. En la provincia se encuentra localizado un instituto del CONICET, el CIFASIS, con capacidades en estas temáticas que, de forma articulada con INTI, INTA y el CIDETER, podría ser la base de conocimientos de esta instancia. De esta manera, y en forma combinada con el despliegue de departamentos internos en las empresas para desarrollos específicos que aprovechen las posibilidades de interoperabilidad (apoyados con líneas de financiamiento), la industria local se encontraría en mejores condiciones para enfrentar la competencia de las grandes compañías multinacionales.

En el ámbito de las biotecnologías aplicadas a la salud humana existen áreas de intervención asociadas con la compra y adquisición pública de medicamentos, a través de las cuales el estado provincial puede jugar un rol de usuario líder (*lead user*) y orientador de la producción local de medicamentos biotecnológicos, reforzando las articulaciones sistémicas del sector con el Ministerio de Salud de la provincia. Vinculado con esto último, es importante aprovechar y reforzar las capacidades provinciales existentes en la producción de medicamentos de base química en los laboratorios públicos LIF y LEM, para promover la producción pública de drogas biotecnológicas.

Estrategia colaborativa para la I+D en la manufactura

Como lo revela la experiencia internacional, la adopción de las tecnologías 4.0 requiere de una estrategia colaborativa en I+D manufacturero entre distintos niveles de gobierno y las empresas, en el que los nodos articuladores por región y sector fueron los "institutos manufactureros", que en Alemania se materializaron a través de los Institutos Fraunhofer y en Estados Unidos mediante la reciente red de institutos para la nueva manufactura. Este modelo de intervención resulta crucial en la actual fase de establecimiento del paradigma tecno-económico que, a diferencia del modelo de Agencias de Promoción propia de la fase de emergencia de las TIC con políticas de *start-ups* y capital de riesgo, requiere vínculos estables entre empresas, proveedores de tecnología e institutos tecnológicos. En este sentido, el programa LABTICS, impulsado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la provincia, constituye un buen ejemplo actual de una política que ameritaría el fortalecimiento presupuestario. EL programa mencionado fomenta la vinculación entre el sector científico, el industrial y las empresas TICS de Santa Fe para el desarrollo de software orientado hacia las necesidades del sector industrial, a partir de la identificación de oportunidades y el financiamiento de recursos humanos para la implementación de proyectos concretos.

En este marco, el Ministerio de Producción de la provincia cuenta con la Dirección de Asistencia Técnica (DAT), que puede jugar un rol central como ventanilla de recepción de demandas de la industria, en articulación con la oferta de instrumentos de financiamiento disponibles y la reorientación hacia las distintas universidades nacionales y centros tecnológicos público-privados locales que puedan responder a las demandas tecnológicas planteadas, como la red de instituciones público-privadas de Rafaela o el CIDETER en el sur de Santa Fe. A fin de llevar adelante esta función, la DAT requeriría ser fortalecida (por ejemplo, con una ampliación de su planta y la incorporación de más perfiles vinculados con la ingeniería electrónica y sistemas).

Inversión en infraestructura física y digital

Este conjunto de acciones requiere superar un cuello de botella fundamental asociado con las falencias en la infraestructura de comunicaciones y eléctrica, principalmente en el caso de empresas ubicadas en las localidades del interior de la provincia. Ese cuello de botella dificulta la adopción de mayores grados de robotización y automatización, u obliga a que la incorporación de nuevas tecnologías quede acotada a operaciones parciales. La mejora de las condiciones tecno-productivas de las empresas ubicadas en un conjunto heterogéneo de zonas y localidades de la provincia de Santa Fe depende en gran medida de la atención de las falencias de infraestructura.

En definitiva, la relevancia de los cuatro complejos considerados en el tejido productivo y social de la provincia de Santa fe, y su elevada exposición a los cambios tecnológicos en curso, plantean la conveniencia de reforzar la política industrial y tecnológica provincial, sin perjuicio del papel estratégico e irrenunciable que en este sentido deben jugar las políticas nacionales. Como se intentó esbozar en estas últimas líneas, la agenda de política industrial y tecnológica requiere de un conjunto de acciones que involucren a los distintos niveles de gobierno, así como a diferentes organismos dentro del propio gobierno provincial (no solo a las carteras de ciencia y tecnología y producción, sino también a las de trabajo, educación e infraestructura). A la luz de la velocidad de los cambios tecnológicos en curso, y del potencial impacto de éstos en la realidad socioeconómica de la provincia, resulta fundamental potenciar esa articulación y abogar por un involucramiento creciente de las distintas instancias gubernamentales en el devenir tecnológico y productivo del territorio.

Bibliografía

- Abeles, M., Cimoli, M. y Lavarello, P. (2017), *Manufactura y cambio estructural: aportes para pensar la política industrial en la Argentina*, Santiago: CEPAL.
- Antonelli, C. (2002), *Microdynamics of technological change*, Routledge.
- Arora, Ashish, y Gambardella, Alfonso (Eds.) (2006), *From underdogs to tigers: The rise and growth of the software industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel* (Vol. 116), Oxford University Press Oxford, UK.
- Australian Trade and Investment Commission (2018), "US AgTech Clusters: Advancing Agribusiness and food processing", Commonwealth of Australia.
- Barletta, F., Pereira, M., Yoguel, G. y Robert, V. (2013), Argentina: Dinámica reciente del sector de software y servicios informáticos. Revista Cepal.
- Benés G. y Castellanos A. (2012) "Complejo Productivo Lácteo" en *Análisis tecnológico sectorial*, CIECTI, Buenos Aires.
- Bidet-Mayer, T. (2016), *L'industrie du futur : une compétition mondiale*, Paris: Presses des Mines.
- Bil, D.; Lavarello, P.; Vidosa, R. y Langard F. (2019), "Reconfiguración del oligopolio mundial y cambio tecnológico frente a las tecnologías digitales: implicancias para las trayectorias de maquinaria agrícola en Argentina" Proyecto PUE-CEUR "Tecnologías transversales y desarrollo regional en Argentina, mimeo.
- Blas Torales, T.; Berardo, J.; Blanche, D.; Del Blanco, L.; García D., Paillet C. (2015), "Evaluación de Impacto de un Programa de Producción Pública de Medicamentos Biosimilares en Argentina", Ministerio de Salud de la Nación-Comisión Nacional Salud Investiga.
- Bonvillian, W. B. (2013), *Advanced Manufacturing Policies and Paradigms for Innovation. Science*, 1173-1175.
- Borello, J.; Robert, V. y Yoguel, G. (2006), *La informática en la Argentina*, Prometeo.
- Borrastero, C. (2015), *Estado, empresarios y desarrollo: Intervención estatal y acción empresarial en el Sector de Software y Servicios Informáticos de la ciudad de Córdoba (2000-2013)*, Buenos Aires: UBA.
- Bragachini M., Sanchez F. (2018), "Cosechadoras: el último restyling esperando una nueva generación de cosechadoras", 7º Curso Internacional de Agricultura y ganadería de precisión, EEA INTA Manfredi, 19 y 20 septiembre 2018.
- Bresnahan, T. F. y Trajtenberg, M. (1995), "General purpose technologies 'Engines of growth'?", *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108.

- Cantera, J.M.; Sayed, Issa, van der Vlugt (AEF), Klaeser, S.; Bartram, T.; Kassahun, A.; Neira, I.; Milin, T. (2018) "Opportunities and barriers in the present regulatory situation for system development", IOF 2020, UE.
- CAFMA (2019), "La industria de maquinaria agrícola argentina: Estructura, evolución y perspectivas" CAFMA.
- Casalet, M. (2018), "La digitalización industrial: Un camino hacia la gobernanza colaborativa. Estudios de casos".
- Castellano, A., Issaly, L.C., Iturrioz, G.M.; Mateos, M. y Terán, J.C. (2009), "Análisis de la cadena de la leche en Argentina", Proyecto Específico 2742: Economía de las Cadenas Agroalimentarias y Agroindustriales. Estudios Socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales. ISSN 1852-4605 N°4, Área Estratégica de Economía y Sociología, INTA.
- CEMA (2017), "Digital Farming: what does it really mean? And what is the vision of Europe's farm machinery industry for Digital Farming?".
- CEPAL (2018), Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital. Santiago, Chile: CEPAL.
- Cheng, J.; Chen, W.; Tao, F y Lin, C. (2018), "Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing", *Journal of Industrial Information Integration*, 10, 10-19.
- Chudnovsky, D. y López, A. (2006), "The software and information services sector in Argentina: The pros and cons of an inward-oriented development strategy", en *The New Economy in Development* (pp. 137-160). Springer.
- Chudnovsky, D., López, A. y Melitsko, S. (2001), "El sector de software y servicios informáticos (SSI) en la Argentina: Situación actual y perspectivas de desarrollo", *Documento de trabajo*, 27.
- Commonwealth of Australia (2015), "Agricultural Competitiveness White Paper", Canberra.
- David, P. (1990), "The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox", *The American Economic Review*, 355-361.
- David, P. y Greenstein, S. (1990), "The economics of compatibility standards: An introduction to recent research", *Economics of innovation and new technology*, 3-41.
- Deloitte (2017), "Global Dairy Sector. Trends and opportunities" en https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/ocuments/ConsumerBusiness/ie_Dairy_Industry_Trends_and_Opportunities.pdf
- Deloitte (2018), *Advanced Biopharmaceutical Manufacturing: An Evolution Underway*.
- Diab, W.; Harper, E.; Thingwise, S. y Sobel, W. (2017), "Industrial Analytics: The Engine Driving the IIoT Revolution", Needham: IIC White Paper.
- Diaz A., Krimer, A. y Medina, D (2006), "Salud humana: de la industria farmacéutica a los biofármacos" en Bisang y otros (comp), *Biotechnología y Desarrollo. Un modelo para armar*, Prometeo, Buenos Aires.
- Ernest y Young (2017), "Biotechnology Report. Beyond borders Staying the course".
- Economist, T. (2019), "Amazon is eyeing billions in federal contracts", julio, Reino Unido.
- Faulkner, A.; Cebul, K (2014), "Agriculture Gets Smart: The Rise of Data and Robotics", *Cleantech Agriculture Report*, Cleantech Group, 2014. Bronson and Knezevic
- Fernandez Bugna C. y F. Porta (2013), "La cadena productiva láctea en Argentina, en Stumpo G. y Rivas D. (comp.), *La industria argentina frente a los nuevos desafíos y oportunidades del siglo XXI*, CEPAL, Naciones Unidas.
- Fertonani, Nicolás y Giobergia, Cecilia (2018), "Institucionalidad de la política de CTI en Santa Fe". Informe de Gestión presentado ante las autoridades de la Agencia Santafesina de CTI. Mimeo.
- Foray, D. (1989), "Les mode `les de compe `tition technologique", *Revue d'E `conomie Industrielle*, xx.
- Gordon, R. (2015), "Secular Stagnation: A Supply-Side View", *American Economic Review*, 54-59.
- Gutman G., Robert V (2016), "La transferencia tecnológica en los orígenes de la moderna biotecnología en Argentina: el caso de la articulación de Zelltek con la Universidad Nacional del Litoral Santa Fe, Argentina" en Garrido Noguera y García Perez de Lema, Coord, *Vinculación de las universidades con sectores productivos. Casos en Iberoamérica*, Vol. 2, Colección Idea Latinoamericana Digital.
- Gutman, G. (2018), "Biotechnología en salud humana. Experiencias en países pioneros y países de ingreso tardío", en Gutman, G.; Gorestein, S. y Robert, V. (2018), *Territorio y nuevas tecnologías. Desafíos y oportunidades en Argentina*, Buenos Aires, Punto Libro.
- Gutman, G. (2018), "Biotechnología en Salud Humana. Un incipiente biocluster en la ciudad de Santa Fe traccionado por la transferencia tecnológica", en Gutman, G.; Gorestein, S. y Robert, V. (2018), *Territorio y nuevas tecnologías. Desafíos y oportunidades en Argentina*, Buenos Aires, Punto Libro.

- Gutman, G. y Lavarello, P. (2011), "Formas de organización de las empresas biotecnológicas en el sector farmacéutico argentino", *Desarrollo Económico: Revista de Ciencias Sociales*, 81-105.
- Gutman G. (1999), "Desregulación, apertura comercial y reestructuración industrial. La industria láctea en Argentina en la década del noventa" en Azpiazu D, Gutman G. y Vispo A. *La desregulación de los mercados. Paradigmas e inequidades de las políticas del neoliberalismo*, Grupo Ed. Norma, Buenos Aires.
- Gutman G. (2007), "Ocupación y empleo en el complejo productivo lácteo en Argentina", en Novick M., y Palomino H. (coord.) *Estructura productiva y empleo. Un enfoque transversal*, Ministerio de trabajo, Empleo y Seguridad Social, Ed. Miño y Dávila, Buenos Aires.
- Gutman G., Guiguet E. y Lavarello P. (2004), "Ciclos de la lechería argentina Una visión integradora de la dinámica macroeconomía y sectorial", en *Revista Argentina de Economía Agraria*, vol vii nº 2, primavera de 2004.
- Gutman, G. y Ríos P (2010), "Dinámica reciente de la industria láctea en Argentina. Estrategias de innovación y de integración regional", IDRC, REDES, CEFIR.
- Iglesias N., José Coronel, Joaquín Ezpeleta, Laura Angelone, Pilar Bulacio, Elizabeth Tapia (2015), "Experiencia vinculación universidad –industria: Desarrollo de tecnología ISOBUS para la industria nacional de maquinarias agrícolas", JUI 2015, 9º Jornadas de Vinculación Universidad Industria.
- INTA (2016), "Evaluación bio-económica de un sistema lechero pastoril intensivo el cual incorpora "Tecnologías de Precisión", "Ordeño Voluntario Automatizado (AMS) y las "TIC's". EEA Rafaela INTA.
- Kagermann H, A. R. (2016). *Industria 4.0 in a Global Context*. Berlin: acatech: National Academy of Science and Engineering.
- Kenney, M. y Zysman, J. (2016). "The rise of the platform economy. Issues in science and technology, 61-69".
- Lacelli, G., Mancuso, W.; Schilder, E.; Arbizu, A.; Terán, J.C.; Comeron, E., Taverna, M.; Castillo, M., y Maceira, J. (2006). "Creación y Distribución de Valor en la Cadena Láctea", CFI e INTA.
- Lachman, J.; Cappelletti, L. y López A. (2018), "Nuevas oportunidades y desafíos productivos en argentina: resultados de la primera encuesta nacional a empresas de agricultura y ganadería de precisión", 17 Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión, 19 y 20 de septiembre, INTA Manf.
- Lahitte, M. (2004), "Valorizar lo endógeno para construir competitividad territorial. Una aproximación desde el caso Polo Tecnológico Rosario".
- Langard, F. (2014), "Trayectoria de la industria de maquinaria agrícola argentina entre 1976 y 2002", en *H-Industria*, Año 8, Nro 15.
- Langlois, R.N., (2003), *The vanishing hand: the changing dynamics of industrial capitalism. Industrial and Corporate Change* 12, 351–385. <https://doi.org/10.1093/icc/12.2.351>
- Lavarello, Damián Bil, Regina Vidoso y Federico Langard (2019), "Reconfiguración del oligopolio mundial y cambio tecnológico frente a la "agricultura 4.0": implicancias para las trayectorias de maquinaria agrícola en Argentina" *Revista Ciclos*, en prensa.
- Lavarello, P. J. y Goldstein, E. (2011), "Dinámicas heterogéneas en la industria de maquinaria agrícola argentina. Problemas del desarrollo", 42(166), 85-109.
- Lavarello, P., Silva Failde, D. y Langard, F. (2010), "Transferencia de tecnología, tramas locales y cadenas globales de valor: Trayectorias heterogéneas en la industria de maquinaria agrícola argentina", *Revista Innovación-RICEC*, 2(1), 1-17.
- Lavarello P. y Gutman G. (2018), "Estrategias imitativas y trayectorias heterogéneas de aprendizaje en la industria biofarmacéutica argentina: estudios de caso", en Lavarello, P.; Gutman, G. y Sztulwark, S. (2018), *Explorando el camino de la imitación creativa: La industria biofarmacéutica argentina en los 2000*, Buenos Aires, Punto libro.
- Lavarello P., Gutman G., Díaz A., Mancini M., Minervini M., De Vita M., (2018), "Capacidades biotecnológicas y estrategias de las firmas: resultados de la encuesta a las empresas biofarmacéuticas argentinas.", en Lavarello, P.; Gutman, G. y Sztulwark, S. (2018), *Explorando el camino de la imitación creativa: La industria biofarmacéutica argentina en los 2000*, Buenos Aires, Punto libro.
- Lavarello, P.; Gutman, G. y Sztulwark, S. (2018), *Explorando el camino de la imitación creativa: La industria biofarmacéutica argentina en los 2000*, Buenos Aires, Punto libro.
- Li, L. (2017), "China's manufacturing focus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0.", *Technol. Forecast. Soc. Change*, 9.

- López, A. (2003), "El sector de software y servicios informáticos en la Argentina: es posible una inserción exportadora sostenible?", F. Boscherini, M. Novick y G. Yoguel, *Nuevas tecnologías de información y comunicación. Los límites en la economía del conocimiento*, Buenos Aires, Miño.
- Mauro, L., Calá, D., Belmartino, A. y Bachmann, F. (2018), "Inserción internacional de pymes. El caso de las empresas productoras de software y servicios informáticos de la ciudad de Mar del Plata".
- Melchiori R, Albarenque S., Kemerer A. (2018), "Evolución y cambios en la adopción de la agricultura de precisión en argentina", 17 Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión, 19 y 20 de septiembre, INTA Manf.
- Melchiori, R. J. M., Albarenque, S. M. y Kemerer, A. C. (2013), "Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina", *Curso Int. Agric. Precisión*, 12(2013), 07.
- Méndez, A. Scaramuzza, F. Vélez, J.P y Villarroel D. (2012), "Argentina en adopción y desarrollo de tecnología de agricultura de precisión un referente mundial", 17 Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión, 19 y 20 de septiembre, INTA Manf.
- Ministerio de Hacienda y Finanzas (2016), "Informes de Cadenas de Valor: Láctea", Subsecretaría de Planificación Económica, Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas.
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2017), *Italy's Plan: Industria 4.0*.
- Motta, J. J., Moreno, H. y Borrastero, C. (2017), "La industria del software: La generación de capacidades tecnológicas y el desafío de elevar la productividad sistémica", en *Manufactura y cambio estructural: aportes para pensar la política industrial en la Argentina*, Santiago: CEPAL, 2017. p. 283-330.
- Motta, J., Morero, H. y Borrastero, C. (2016), "La política industrial en el sector de software de Argentina durante los años 2000", ponencia presentada en Seminario Interuniversitario sobre Desarrollo Productivo (Buenos Aires: FCEN, UBA).
- Perazzo, R., Delbue, M., Ordoñez, J. y Ridner, A. (1999), "Oportunidades para la producción y exportación argentina de software", *Documento de trabajo*, (9).
- Pereira, M., Barletta, M. F. y Suárez, D. (2015), "El rol de las vinculaciones en el desarrollo de las capacidades de la firma. Un análisis de redes sociales de la industria del software en Argentina", *Pymes, Innovación y Desarrollo*, 3(2), 3-21.
- Pisano, G. y Shih, S. (2012), "Does America really need manufacturing", *Harvard business review*, 90(3), 94-102.
- Robert, V. y Yoguel, G. (2010), "La dinámica compleja de la innovación y el desarrollo económico", *Desarrollo económico*, 423-453.
- Robert, Verónica y Moncaut, Nicolás (2018), "Software y Servicios Informáticos en la ciudad de Tandil. El rol central de la universidad en las etapas iniciales de un CAT" en *Territorios y nuevas tecnologías*, Punto Libro.
- Schwab, K. (2016), "The Forth Industrial Revolution", Geneva: World Economic Forum.
- Srnicek, N. (2017), *Platform capitalism*, John Wiley & Sons.
- Stubrin L. (2012), "Biotecnología en la provincia de Santa Fe: El sector científico técnico", *Documento de Trabajo*, LC/W.493, LC/BUE/W.61, CEPAL, Santiago de Chile.
- Swinton, S. M. y Lowenberg-Deboer, J. (2002), "Global adoption of precision agriculture technologies: Who, when and why" en *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture* (pp. 557-562). Citeseer.
- Tapia E. (2019) "Aplicaciones Agronómicas de las TIC's", *Bioeconomía Argentina*, MICyT. <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/5-Aplicaciones-agron%C3%B3micas-de-las-TICs-Elizabeth-Tapia.pdf>
- Terán J. C. (2008), "Caracterización de la cadena agroalimentaria de la leche en la Provincia de Santa Fe, *Documento de Trabajo 2008*". INTA EEA Rafaela, 2008.
- Van der Vlugt (2015) "AEF: la iniciativa del sector agrícola para la implantación de estándares electrónicos" AEF.
- Wilkinson J y Rama R., (2018), "Estudio de Sistema Productivo Agroindustrias. Alimentos Processados". *Industria 2027*. IEL – Instituto Euvaldo Lodi, Brasilia.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. y Bogaardt, M. J. (2017), "Big data in smart farming—a review", *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

Sitios web consultados:

Actalia: <http://www.actalia.eu/>

Andersen Jason (2017), The Industrial Internet of Things will disrupt the dairy industry (for the better), en Dairy Foods, <https://www.dairyfoods.com/articles/92339-the-industrial-internet-of-things-will-disrupt-the-dairy-industry-for-the-better>

Boston Consulting Group and NIBRT announce the Biopharma 4.0 Alliance: <https://www.nibr.ie/boston-consulting-group-and-nibr-announce-the-biopharma-4-0-alliance/>

Connecterra (2018) en <https://www.connecterra.io/about-us/press-media/a-list-of-dairy-tech-startups-and-the-barriers-to-adoption/>

Connolly Aidan (2016) 8 Disruptive Digital Technologies with the Power to Transform Agriculture

DairiNZ: <https://www.dairynz.co.nz/>

Dairy Australia, "Precision dairy technology Automatic milking systems" en www.dairyaustralia.com.au

Dairy Campus, de la Wageningen University & Research en Países Bajos: <https://www.dairycampus.nl/en/Home/About-us.htm>

Future Dairy, Australia: <http://futuredairy.com.au/>

Cargill (2018/) en <https://www.cargill.com/2018/cargill-brings-facial-recognition-capability-to-farmers>

GE Healthcare and Rockwell Automation Collaborate to Drive the Next Generation of Bioprocessing Automation: <https://www.gelifesciences.com/en/us/news-center/rockwell-automation-10001?extcmp=MISC2019-GL-intbnr-rockwellBPappPage>

Genetic Engineering and Biotechnology News. Evolution of Single-Use Bioprocessing into BioPharm 4.0: <https://www.genengnews.com/magazine/supplement-evolution-of-single-use-bioprocessing-into-biopharm-4-0/>

Genetic Engineering and Biotechnology News. Addressing Challenges Posed by the Adoption of Single-Use Systems: https://www.genengnews.com/topics/bioprocessing/how-should-companies-deal-with-single-use-accumulated-plastic-waste/?utm_medium=newsletter&utm_sou

Grupo ABB, "Dairy factory automation and optimization": <https://new.abb.com/control-systems/industry-specific-solutions/food-beverage/segments/dairy>

<https://www.linkedin.com/pulse/disruptive-digital-technologies-power-transform-aidan-connolly-7k-/>

Instituto Nacional para Investigación y Entrenamiento en Bioprocesos (NIBRT-Irlanda): <https://www.nibr.ie/about/>

Jacobs engineering: <http://www.jacobs.com/capabilities/advanced-facilities>

Instituto Max Rubner: <https://www.mri.bund.de/en/about-us/history/>

Instituto Nacional Francés de Investigación en Agricultura (INRA): <http://institut.inra.fr/en>

NIZO: <https://www.nizo.com/about-us/since-1948/>

OCLA-Observatorio de la cadena láctea: www.ocla.org.ar

Pasture Dairy Center, del W.K. Kellogg Farm de la Universidad de Michigan: <http://farm.kbs.msu.edu/pdc/>

Portal Lechero: Portallechero.com

Proyecto Autograssmilk: <https://autograssmilk.dk/>

Rockwell Automation: <https://www.rockwellautomation.com/es>

Siemens, caso de "industria láctea 4.0": <http://w2.siemens.com.cn/stories/StoryShow/FindStory/27?culture=en-US>

TodoAgro (2018): www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=37447

TodoAgro: www.todoagro.com.ar

Anexos

Anexo 1. Instituciones y empresas entrevistadas (junio-julio 2019)

Capítulo II

Estatal provincial:

- Ministerio de la Producción de Santa Fe
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Santa Fe
- Secretaría de Producción, Empleo e Innovación de la Ciudad de Rosario
- Dirección Provincial de Educación Técnica, Producción y Trabajo
- Agencia Santafesina de Inversiones y Comercio Internacional

Estatal nacional:

- Subsecretaría de Compre Argentino y Desarrollo de Proveedores del Ministerio de Producción y Trabajo

Asociaciones empresarias:

- Polo Tecnológico de Rosario
- Parque Tecnológico del Litoral Centro
- Cámara de Empresas Informáticas del Litoral

Empresas:

- Dinoia
- Interdata
- AutexOpen
- Cds Sistemas
- Tecso
- Neuralsoft
- Parx

Capítulo III

- Laboratorio Industrial Farmacéutico (LIF)
- Laboratorio de Cultivos Celulares – Facultad de Ciencias Biológicas y Bioquímica, Universidad Nacional del Litoral
- Parque Tecnológico Litoral Centro
- Ministerio de Producción de Santa Fe
- Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación
- Zelltek
- Weiner

- Heritas

Capítulo IV

- Agencia Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- CIDETER
- CIFASIS-CONICET
- Dirección Provincial de Asistencia Técnica (DAT). Ministerio de la Producción de Santa Fe.
- INTA Manfredi
- INTI. Programa Industria 4.0
- Ministerio de Producción de Santa Fe.
- Parque Tecnológico Litoral Centro.

Capítulo V

- Sub-dirección de Ganadería y Salud Animal – Área de Lechería. Ministerio de producción de Santa Fe.
- Instituto de Lactología Industrial (Inlain) – Universidad Nacional del Litoral.
- Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) – Universidad Nacional del Litoral.
- INTA EEA Rafaela.
- INTI
- INTI Lácteos.
- Red de CTel , Red de Ciencia, Tecnología e Innovación de Rafaela,
- García Hnos. SRL (Tregar).
- Sucesión de A. Williner (Ilolay)
- Saputo

Anexo 2

Cuadro A.1
Política Industrial 4.0: acciones de política y ámbitos de implementación

Áreas específicas de intervención de política	Ámbito de política		
	Nacional	Provincial	Local
(i) Oportunidades científicas y tecnológicas	Desarrollo/consolidación de plataformas nacionales de CyT (FONCyT, FONARSEC), orientadas a adaptar a condiciones locales computación en la nube y desarrollos de IA (para diagnósticos genómico, análisis clínicos salud, industria metalmeccánica proveedora y usuarios industriales, industria agroalimentaria)		Desarrollo de plataformas locales de I4.0 en automatización, trazabilidad orientadas a adaptar a condiciones locales
(ii) Aprendizajes distribuidos socialmente (desarrollo de expertise de la mano de obra)	Financiamiento y adecuación de currícula de universidades tecnológicas y escuelas técnicas en aplicaciones 4.0 y bioprocesos (pasantías en empresas, institutos tecnológicos y laboratorios de I+D)	Articulación entre UTN y educación técnica con centros tecnológicos locales en I4.0 y bioprocesos	Creación de laboratorios/plantas piloto en centros tecnológicos y laboratorios de universidades-CONICET para formación en automatización (PLC) y aprendizajes en bioprocesos
(iii) Aprendizajes y capacidades tecnológicas de las empresas (velocidad y eficacia con la que generan capacidades)	Financiamiento ANR y/o crédito fiscal (FONTAR, FONARSEC) para la incorporación de tecnología 4.0 local, estandarización y a la I+D en soluciones integrales locales que incorporen procesos conectados, pasaje a continuo o nuevos bioprocesos single use, electrónica e interconexión de dispositivos AdeP y soluciones I4.0 con computación en la nube	Financiamiento ANR a la articulación entre universidades nacionales, institutos tecnológicos, empresas proveedoras de electrónica, metalmeccánicas, y soluciones informáticas y usuarias industriales	Ejecución de proyectos de incorporación de tecnología 4.0, estandarización, I+D y articulación a partir de UVT locales
(iv) Incentivos que afectan las rentabilidades de las empresas (subsídios, tarifas, barreras a la entrada)	Créditos fiscales de regímenes de promoción nacionales (industria del conocimiento y bonos de bienes de capital), tipos de cambio efectivos diferenciales para industrias proveedoras de tecnología, compra estatal y compra nacional de innovación	Compra estatal para el acceso universal a medicamentos, soluciones informáticas en hospitales públicos, etc.	Ejecución de proyectos en el marco de programas nacionales de incentivos

Áreas específicas de intervención de política	Ámbito de política		
	Nacional	Provincial	Local
(v) Mecanismos de selección para proteger transitoriamente a las empresas locales (compra estatal, marco regulatorio, certificación estándares)	Abordaje estratégico de la adhesión a regímenes de propiedad intelectual, estándares y regulaciones (ANMAT, INTI). Participación en instancias internacionales de regulación, definición/interpretación de estándares (Acuerdo UE-MERCOSUR, OMC, AEF, etc....)		Avanzar en la creación de instancias locales en articulación con institutos tecnológicos nacionales y otras asociaciones público-privadas para la precertificación de estándares industriales.
(vi) Patrones de interacción entre distintos tipos de agentes		DAT y la Agencia Provincial de CyT como articuladoras de soluciones I4.0 de distintos institutos y proveedores a través de ventanilla provincial para presentación de proyectos.	Vinculación de empresas de biotecnología y metalmecánica con empresas locales de tecnologías convergentes en I4.0, como software y bioinformática, ampliando y extendiendo las acciones emprendidas a nivel local por el PTLC, Polo de Rosario
(vii) Inversión en infraestructura física	Tendido de red fibra óptica en la totalidad del territorio nacional e inversión en nuevas tecnologías de red	Inversión y/o garantía de presentación de servicios de infraestructura eléctrica a las condiciones requeridas para la automatización y digitalización en localidades del interior de la provincia.	Inversión en desarrollo urbano acorde con la nueva Industria 4.0

Fuente: Elaboración propia

Este documento aborda los desafíos productivos que enfrenta la provincia de Santa Fe, en un contexto global de transición tecnológica marcado por el avance de la Industria 4.0. Las tecnologías que cobran protagonismo en este escenario ofrecen una capacidad sin precedentes de reorganización de los procesos productivos y tienden a redefinir las fronteras sectoriales y las formas de competencia prevalecientes en un amplio espectro de sectores. La velocidad con que se suceden estas transformaciones plantea nuevos desafíos para la política industrial y tecnológica, especialmente en aquellas regiones —como la provincia de Santa Fe— donde la manufactura tiene una importante gravitación en la estructura productiva.

El objetivo de este documento es contribuir al diseño de políticas públicas que aborden precisamente esos retos, dando cuenta de los riesgos que enfrenta el sistema productivo santafesino ante la dirección y velocidad del cambio tecnológico en curso. El estudio se enfocó en cuatro de los complejos productivos más relevantes de la provincia de Santa Fe: software y servicios informáticos, biotecnología en salud humana, maquinaria agrícola y productos lácteos. Estos complejos se distinguen no solo por su peso en el empleo y en la producción provincial y nacional, sino también por su marcada articulación con el sistema de ciencia y tecnología. Se destacan, sobre todo, por su elevada exposición al impacto de las tecnologías 4.0.