



Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Industria
y Desarrollo Productivo

ARGENTINA
PRODUCTIVA
2030 

MISIÓN

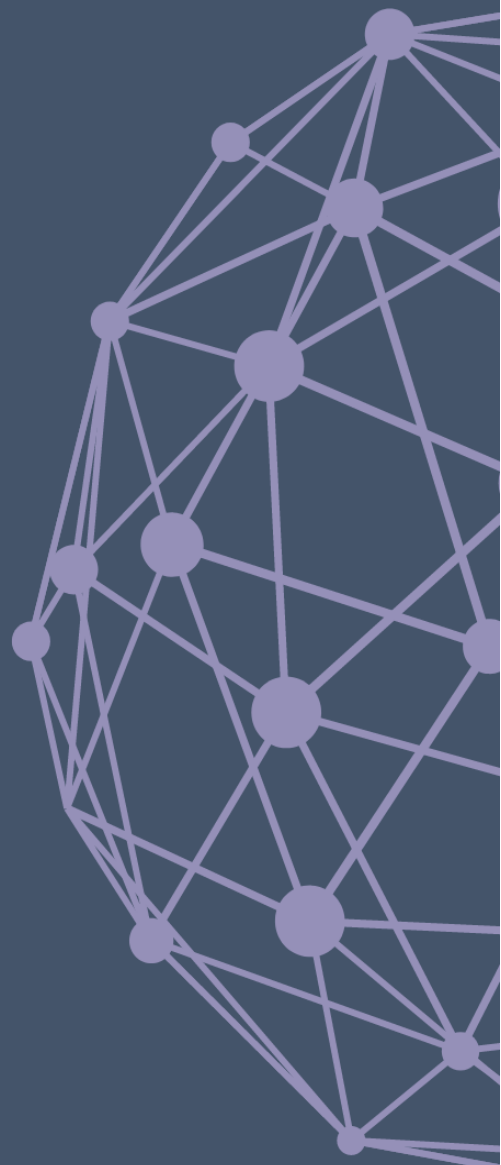
6

Adaptar la producción de alimentos a los desafíos del siglo XXI

Argentina Productiva 2030

Plan para el Desarrollo
Productivo, Industrial
y Tecnológico

Marzo 2023



MISIÓN

6

Adaptar la producción de alimentos a los desafíos del siglo XXI

Documento de trabajo

Argentina Productiva 2030

Cita sugerida: Argentina Productiva 2030 (2023). Misión 6. Adaptar la producción de alimentos a los desafíos del siglo XXI. Plan para el Desarrollo Productivo, Industrial y Tecnológico - Ministerio de Economía de la Nación.

Equipo de trabajo

Coordinador general: Dr. Daniel Schteingart.

Coodinadores de esta Misión: Dr. Ignacio Carciofi, Lic. Hernán Braude y Lic. Sol Gonzalez de Cap

Analistas y especialistas sectoriales: Lic. Julián Barbella, Lic. Nicole Maspi, Lic. Franco Mendoza, Lic. Jéssica Monzón, Lic. Florencia Pizzo y Lic. Carlos Zornada.

Corrección y diagramación: Juliana Adamow, María Laura Lafit, Natalia Rodríguez Simón

Autoridades

Presidente de la Nación

Dr. Alberto Fernández

Ministro de Economía

Dr. Sergio Tomás Massa

Secretario de Industria y Desarrollo Productivo

Dr. José Ignacio de Mendiguren

Coordinador del Plan Argentina Productiva 2030

Dr. Daniel Schteingart

Acerca del Plan

Argentina Productiva 2030

Argentina Productiva 2030. Plan para el Desarrollo Productivo, Industrial y Tecnológico (de ahora en más “Plan Argentina Productiva 2030”) procura transformar el entramado productivo del país con vistas a mejorar los indicadores sociales, económicos y ambientales. Propone como metas generales a 2030 la reducción de la pobreza a la mitad, la disminución de la indigencia en un 70%, la baja del desempleo al 5%, la creación de más de 3,5 millones de puestos de trabajo registrados en el sector privado y de más de 100.000 nuevas empresas, la disminución de las tres grandes desigualdades que tiene el país (las territoriales, las de ingresos y las de género) y también la reducción del impacto ambiental de las actividades productivas.

Para lograr tales grandes metas, el Plan Argentina Productiva 2030 está organizado en 11 misiones productivas. El concepto de “misiones” refiere a que la resolución de diferentes problemáticas (no necesariamente económicas, sino también sociales y ambientales, como el cambio climático, el acceso a la salud, la defensa nacional, las brechas digitales, etc.) puede ser una oportunidad también para la creación de capacidades tecnológicas y la transformación virtuosa de la matriz productiva, para lo cual es necesario el trabajo coordinado entre sector público y privado y entre diferentes sectores productivos.

Las 11 misiones del Plan Argentina Productiva 2030 son:

- 1 Duplicar las exportaciones** para volver macroeconómicamente sostenibles las mejoras sociales y económicas.
- 2** Desarrollar la economía verde para una **transición ambiental justa**.
- 3** Producir más bienes y servicios ligados a la salud para garantizar la **seguridad sanitaria**.
- 4** Impulsar la **movilidad del futuro** con productos y tecnologías nacionales.
- 5** Robustecer la **defensa y la seguridad** a partir de desarrollos nacionales de alta tecnología.
- 6** Adaptar la producción de **alimentos** a los **desafíos del siglo XXI**.
- 7** Profundizar el avance de la **digitalización** escalando la estructura productiva y empresarial nacional.
- 8** Desarrollar el **potencial minero argentino** con un estricto cuidado del ambiente.
- 9 Modernizar** y crear **empleos de calidad** en los **sectores industriales tradicionales**.
- 10** Crear **encadenamientos productivos a partir del sector primario** para generar más trabajo y más desarrollo.
- 11** Potenciar la **actividad turística** para el desarrollo territorial sustentable a partir de la gran biodiversidad local.

Si bien las misiones fueron trabajadas por distintos equipos técnicos, todas tienen una estructura común, a saber:

- Todas se subdividen en ejes temáticos o proyectos. En varias de las misiones, estos proyectos coinciden con el impulso a un determinado sector productivo clave para el éxito de la misión. En otras, los proyectos coinciden con grandes bloques de política pública -no directamente sectoriales- necesarios para llevar adelante la misión.
- Todas las misiones comparten: sectores clave involucrados; diagnóstico cuali y cuantitativo de la problemática a nivel global y local; lineamientos de política pública para abordar las principales problemáticas detectadas, y metas a 2030. Para esto último se realizó un gran esfuerzo de sistematización de líneas de base en distintas variables de interés (producción, empleo, informalidad, pobreza, estándares ambientales, género, comercio exterior, etc.).

El presente trabajo forma parte de una serie de 12 de documentos. 11 de ellos detallan el contenido de cada una de las misiones del Plan, en tanto que la colección se completa con un Documento Integrador en el cual se sistematizan en un único trabajo y en una mirada holística los puntos centrales de cada una de las misiones.



Pueden consultarse los documentos aquí:

Documento integrador del Plan Argentina Productiva 2030

Misión 1 (Duplicación de exportaciones)

Misión 2 (Transición ambiental justa)

Misión 3 (Seguridad sanitaria)

Misión 4 (Movilidad del futuro)

Misión 5 (Industrias para defensa y seguridad)

Misión 6 (Alimentos del siglo XXI)

Misión 7 (Digitalización)

Misión 8 (Minería)

Misión 9 (Sectores industriales tradicionales)

Misión 10 (Encadenamientos en base al sector primario)

Misión 11 (Turismo sostenible)



Índice

INTRODUCCIÓN.....	7
EJE 1. DESARROLLAR CAPACIDADES NACIONALES PARA APROVISIONAR LAS TECNOLOGÍAS QUE PERMITAN UNA TRANSICIÓN HACIA UNA PRODUCCIÓN ALIMENTARIA MÁS SUSTENTABLE.....	15
Introducción.....	16
Diagnóstico de las cadenas de valor incluidas en el Eje 1.....	17
Proyecto 1. Incrementar las capacidades tecnológicas del agro a partir de la adopción de soluciones 4.0.....	33
Proyecto 2. Aumentar la sostenibilidad de la producción agropecuaria a partir del desarrollo de los insumos de origen biológico.....	57
Proyecto 3. Fortalecer la productividad agroganadera a partir del desarrollo de la biotecnología aplicada a la mejora genética vegetal y animal.....	108
Proyecto 4. Promover la alimentación saludable a partir de la innovación y nuevas tecnologías en alimentos.....	132
Capacidades locales de desarrollo para las tecnologías 4.0 para el agro, los bioinsumos agrícolas y la tecnología de los alimentos.....	157
Marco regulatorio e incentivos para el desarrollo de las cadenas.....	187
EJE 2. INCREMENTAR LA RESILIENCIA AGROPECUARIA PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA GENERACIÓN DE DIVISAS.....	228
Introducción.....	229
Proyecto 5. Incrementar la resiliencia de la producción agropecuaria por medio de la adopción de sistemas de riego con tecnologías eficientes en el uso del agua.....	231
Proyecto 6. Evitar el agotamiento de los suelos a partir de una mayor fertilización de suelos.....	252
ESPACIOS DE MEJORA Y PROPUESTAS DE POLÍTICAS PARA ADAPTAR LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS A LOS DESAFÍOS DEL SIGLO XXI.....	276
ANEXOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	295

INTRODUCCIÓN

Fundamentos de la Misión

La biomasa de origen agrícola ganadera ha tendido en los últimos lustros a transformarse en la plataforma de desarrollo de un conjunto variado de complejos productivos, como el energético –sobre todo a partir de la producción de biocombustibles–, el de nuevos materiales o el de productos para la salud humana –aunque estos últimos en medida considerablemente menor–. En este sentido, el enfoque propuesto por la bioeconomía¹ ha ganado consenso como paradigma de desarrollo para afrontar retos futuros (Anlló, 2015). Si bien sus posibilidades productivas exceden la provisión de alimentos y materias primas para la industria alimenticia, ésta continúa siendo su principal función.

Las cadenas agroalimentarias representan en Argentina un 10% del PIB y más de 2 millones de puestos de trabajo (Lódola, 2020), con un peso ostensiblemente mayor en varias provincias del país, al punto de que en 6 de ellas (Entre Ríos, Santiago del Estero, La Pampa, Santa Fe, Córdoba y Misiones) representa más del 20% del PIB. Sin embargo, si hay una variable macroeconómica donde sobresale su protagonismo es el volumen de sus exportaciones, las cuales explicaron en 2021 alrededor del 60% del total. A su vez, tal como evidencia la Misión 1 del Plan Argentina Productiva 2030 (Desarrollo exportador), estas cadenas están también llamadas a cumplir un rol central en la expansión de las ventas al exterior durante los próximos años.

La posibilidad de cumplir con esa expectativa se enfrenta a algunos desafíos importantes y relativamente novedosos, si, por ejemplo, se compara el contexto actual con el que se desarrolló el último “boom” de producción de cereales y oleaginosas iniciado a mediados de los años 90. Por un lado, las condiciones climáticas y agroecológicas imperantes han variado. Las primeras se expresan en una mayor frecuencia de eventos de estrés hídrico, altas temperaturas e inundaciones. A su vez, el proceso de calentamiento global tiene implicancias sobre las condiciones agroecológicas, provocando, por ejemplo, la aparición de ciertas plagas en regiones que no solían tener que afrontarlas. La situación fitosanitaria también se ve amenazada por la creciente resistencia a las soluciones agroquímicas utilizadas durante las últimas décadas. Además, los suelos tienden a evidenciar cada vez más las limitaciones de los planteos tecno-productivos prevalecientes, por lo que escenarios usualmente descartados comienzan a tornarse parte de la nueva realidad. Tal es el caso del potasio, mineral que por las condiciones naturales del suelo argentino hasta ahora no había formado parte de los paquetes de fertilización y que, producto del desgaste, será crecientemente demandado para reponer los nutrientes del suelo.

¹ Si bien no existe una definición acabada, FAO y *1st Bioeconomy Summit* la han definido como “la producción y utilización intensiva en conocimientos de recursos, procesos y principios biológicos para la provisión sostenible de bienes y servicios en todos los sectores de la economía”.

Pero estas condiciones climáticas y agroecológicas que plantean un desafío a la productividad agropecuaria se combinan, a su vez, con las que propone el nuevo contexto regulatorio. En este sentido, se destacan las crecientes exigencias que demandan los mercados de destino y que se asocian, fundamentalmente, al tipo e intensidad de uso de agroquímicos, producto de las evidencias sobre el efecto que ambos aspectos presentan sobre la salud humana. Dichos efectos también han venido induciendo nuevas regulaciones sobre los alimentos procesados, pero en este caso ello no sólo se observa en los mercados de destino, sino que, de manera más reciente, ya se refleja también en el mercado local, como manifiesta la Ley de Etiquetado Frontal de Alimentos sancionada en 2021. Asimismo, cabe recordar que la producción agropecuaria es una de las principales “vías” por medio de las cuales el país aspira a alcanzar sus compromisos ambientales en el Acuerdo de París.

Durante la última década, prácticamente todas las potencias mundiales lanzaron planes productivos con el fin de transformar sus estructuras productivas de cara a los desafíos del siglo XXI.² El diseño de estrategias estructurales va en consonancia con la idea de armonizar las agendas nacionales con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 que proponen las Naciones Unidas para los países firmantes. El resurgimiento por el interés en las políticas productivas ha estado no solo vinculado a la búsqueda de la sostenibilidad ambiental, sino también a la difusión de las tecnologías digitales y, en la etapa reciente, esto estuvo catalizado por los efectos que la pandemia y los conflictos geopolíticos han tenido sobre las cadenas de suministro globales.

Este creciente interés por las políticas productivas se da en paralelo con un mundo en donde la demanda de alimentos continuará en expansión, si bien probablemente a tasas más moderadas (OECD-FAO, 2022). En efecto, se estima que la población mundial crecerá a una tasa mundial cercana al 1% anual y que para el fin de la década la población mundial alcanzará los 8.500 millones de personas (ONU, 2022). Este aumento demográfico, el mayor nivel de ingresos *per cápita* proyectados en algunas regiones, y la intensificación de los procesos de urbanización indican para el fin de la década y para las próximas que la tendencia hacia un mayor consumo de alimentos continúe.³ Acompañar esa demanda creciente con aumentos en la productividad, con mejoras en la calidad nutricional y la inocuidad de los alimentos y actuando en la mitigación y adaptación al cambio climático es uno de los principales retos que enfrentan los países productores de alimentos a nivel global.

Es en este marco que a comienzos del año 2022 el gobierno nacional lanzó Argentina Productiva 2030. Plan para el Desarrollo Productivo, Industrial y Tecnológico (de ahora en más, Plan Argentina Productiva 2030). El Plan se propone generar una hoja de ruta para la transformación de la estructura productiva y tecnológica argentina, operando sobre distintas

² Ver capítulo 2 del Documento Integrador del Plan Argentina Productiva 2030, en el que se analizan diversas iniciativas de planificación del desarrollo productivo en la actualidad.

³ En términos cuantitativos, se estima que el crecimiento de la demanda global de alimentos hacia fines de la década sea de un 1,3% anual (OECD-FAO, 2021).

dimensiones. Algunas dimensiones que se pretenden abordar en el mismo son: la incorporación de nuevas tecnologías para el alcance de una mayor productividad y un menor impacto ambiental de las actividades, la promoción del desarrollo de proveedores de las cadenas de valor estratégicas, el impulso de los sectores con potencial innovador e incluso la cocreación de nuevos mercados. La transformación de la matriz productiva es la condición de posibilidad para que Argentina sea capaz de retomar la senda del crecimiento económico sostenido basado en el incremento genuino de la productividad y apoyado en una mejor performance exportadora, la que lo hará macroeconómicamente sostenible. Poder integrar la arista económica, social y ambiental en un plano intertemporal es clave. En tal sentido, el fin último que persigue el Plan es contribuir a resolver algunos de los grandes desafíos sociales de Argentina, principalmente la reducción de la pobreza, la indigencia y el desempleo, el incremento del empleo formal privado, la disminución de las desigualdades (de ingresos, territoriales y de género) y la disminución del impacto ambiental de las actividades productivas.

El enfoque que ha adoptado el Plan es el de "políticas lideradas por misiones". Las políticas orientadas por una misión se pueden definir como políticas públicas sistémicas que se basan en conocimientos de frontera para lograr objetivos específicos (Mazzucato, 2018). En línea con ello, el Plan ha previsto abordar once misiones con el fin de movilizar el aparato científico, productivo y tecnológico nacional con vistas a resolver diversas problemáticas que, de modo análogo a la lógica de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, van más allá de lo estrictamente económico y tecnológico para adentrarse también en otras dimensiones como por ejemplo la ambiental o la de la salud. Estas misiones suponen en muchos casos ir más allá de lo estrictamente sectorial e involucrar a una multiplicidad de sectores y ramas productivas.

En este contexto, la presente Misión del Plan Argentina Productiva 2030 tiene como objetivo incrementar la productividad y la capacidad de innovación y adaptación del complejo alimentario argentino a los desafíos del siglo XXI. Dentro de estos desafíos se incluyen la búsqueda de la resiliencia ante eventos climáticos extremos derivados del calentamiento global pero también la adaptación a nuevos patrones de consumo que reclaman procesos productivos más sostenibles y productos más saludables. El desarrollo nacional de campos como la biotecnología aplicada a la genética, las tecnologías 4.0 aplicadas al agro, los bioinsumos agrícolas y ganaderos, los aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas de origen biológico, los alimentos innovadores y la adopción eficiente de fertilizantes y de sistemas de riego pueden simultáneamente resolver esos desafíos e impulsar las capacidades tecnológicas domésticas.

Ayudar a transformar el sistema nacional de producción de alimentos para volverlo más resiliente ante el calentamiento global y mejor adaptado a las nuevas demandas globales, volcadas hacia el consumo saludable y con mayor conciencia respecto al cuidado del ambiente, es imprescindible para mantener la pujanza de uno de los principales sectores productivos del país.

Estructura de la Misión

Esta Misión se propone abordar tres grandes desafíos: aumentar la sostenibilidad agropecuaria argentina, promover la producción de alimentos saludables e incrementar la resiliencia⁴ del sector agrícola. El primer y segundo punto se interseccionan a partir de la estrecha relación entre la salubridad de los alimentos, los animales y el ambiente.⁵ La dificultad de diseccionar salud y sostenibilidad obedece a la presencia de enfermedades zoonóticas, la resistencia a los antimicrobianos transmitida desde los animales y el uso excesivo de químicos que dañan al ambiente y a la salud humana, entre otras amenazas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA– y el Instituto Internacional de Investigación en Ganadería, 2020).

Estos tres desafíos serán encarados a partir de dos ejes en los que se dividirá la Misión, los cuales a su vez se dividen en seis proyectos productivos. El desafío de aumentar la sostenibilidad agropecuaria argentina y el de promover la producción de alimentos saludables están interrelacionados e incluidos en el Eje 1: “Desarrollar capacidades nacionales para aprovisionar las tecnologías que permitan transicionar hacia una producción alimentaria más sustentable”. En este título, se presenta un diagnóstico y análisis del potencial de las tecnologías para el agro –*agtech*– y las tecnologías aplicadas a la producción de alimentos –*foodtech*– que permiten acompañar desde la oferta a las nuevas condiciones de la demanda, con foco en la esfera de lo saludable. El Eje 1 analiza las tecnologías 4.0 para el agro; los bioinsumos para la agricultura –biocontroladores y bioestimulantes–; los insumos de origen biológico para la ganadería –nutrición y sanidad animal– y la biotecnología aplicada a la mejora genética vegetal y animal. Adicionalmente, son analizados los sectores que intervienen en la producción de alimentos procesados, es decir, el conjunto de empresas de aditivos e ingredientes alimentarios, en particular aquellos con funciones tecnológicas y de origen biológico, y el emergente mercado de alimentos innovadores. Además de contribuir a la seguridad alimentaria, los agroalimentos son clave en la generación de divisas para el crecimiento económico dado que constituyen uno de los principales complejos exportadores de Argentina. La alimentación saludable de la población es un objetivo local que se alinea con la sostenibilidad del proceso de producción, en el contexto de mercados internacionales cada vez más exigentes.

Eje 1. Desarrollar capacidades nacionales para aprovisionar las tecnologías que permitan transicionar hacia una producción alimentaria más sustentable

Proyecto 1	Incrementar las capacidades tecnológicas del agro a partir de la adopción de soluciones 4.0.
Proyecto 2	Aumentar la sostenibilidad de la producción agropecuaria a partir del desarrollo de los insumos de origen biológico (bioinsumos para la agricultura y ganadería, incluyendo nutrición y sanidad animal).

⁴ La FAO define la resiliencia como la capacidad de prevenir desastres y crisis, así como de preverlos, amortiguarlos, tenerlos en cuenta o recuperarse de ellos a tiempo y de forma eficiente y sostenible.

⁵ Enfoque de “One Health” elaborada por OHHLEP (2021).

Proyecto 3

Fortalecer la productividad agroganadera a partir del desarrollo de la biotecnología aplicada a la mejora genética vegetal y animal.

Proyecto 4

Promover la alimentación saludable a partir de la innovación y nuevas tecnologías en alimentos (foodtech, con particular foco en aditivos, nuevos ingredientes alimentarios y alimentos innovadores).

Eje 2. Incrementar la resiliencia agropecuaria para la seguridad alimentaria y la generación de divisas

Proyecto 5

Incrementar la resiliencia de la producción agropecuaria por medio de la adopción de sistemas de riego con tecnologías eficientes en el uso del agua.

Proyecto 6

Evitar el agotamiento de los suelos a partir de una mayor fertilización de suelos.

En el siguiente esquema se puede apreciar en qué eslabones de la cadena tecno-productiva alimentaria impactan los principales paquetes tecnológicos incluidos en *agtech* y *foodtech*. El término *agtech* proviene de la combinación de las palabras “agricultural” y “technology”, tecnología agropecuaria en inglés. Aquí se referirá a *agtech* en el sentido amplio, como el sector intensivo en tecnología que provee al sector agropecuario considerando como plataforma tanto las ciencias de la vida como las tecnologías digitales y la nanotecnología aplicadas al agro. El concepto de *foodtech* hace alusión a las tecnologías que transforman a la industria agroalimentaria en un sector más moderno, sostenible y eficiente en todas sus etapas, desde la elaboración hasta la distribución y el consumo de sus productos. Las *foodtech* abarcan a las tecnologías empleadas tanto aguas arriba (desarrollo de ingredientes con funciones tecnológicas, aditivos biológicos y biotecnológicos, etc.), de forma directa en los procesos productivos propios de la industria (alimentos funcionales, proteínas alternativas, micro o nano encapsulación de ingredientes, manufactura aditiva de alimentos, aplicación de inteligencia artificial en los procesos productivos, etc.) y, aguas abajo, en la cadena de suministro (envases biodegradables, automatización y digitalización de supermercados y restaurantes, etiquetas inteligentes, *big data* sobre patrones de consumo, *blockchain* aplicada a la trazabilidad en toda la cadena, *e-commerce*, etc.). Este documento se focaliza en las dos primeras etapas: desarrollo de insumos y elaboración de alimentos. Es decir, no se ahondará en el análisis de las *foodtech* aplicadas en la cadena de suministros de los productos alimenticios.

El tercer desafío que persigue esta Misión es el de incrementar la resiliencia de la producción agrícola, entendida como la capacidad de prevenir y operar sobre los daños y adaptarse a las amenazas, con el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria. A él responde el Eje 2, “Incrementar la resiliencia agropecuaria para la seguridad alimentaria y la generación de divisas”. Entre los daños sobre los que se busca operar se encuentra el desbalance y agotamiento de nutrientes en el suelo, generado por la propia actividad agrícola y derivada por la falta de reposición de los mismos. Por su parte, las amenazas refieren en particular a los desastres vinculados al clima, las temperaturas extremas y las sequías. Estos fenómenos son

cada vez más frecuentes y se espera que se intensifiquen en los próximos años, atentando contra la seguridad alimentaria y también contra la capacidad de generación de divisas del principal complejo exportador que hoy tiene el país. En este sentido, este Eje involucra a los fertilizantes y a los sistemas de riego, desde el punto de vista de la adopción eficiente y sostenible.

FIGURA 1. SITIO DE IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS AGTECH Y FOODTECH EN LA CADENA TECNO-PRODUCTIVA ALIMENTARIA

Agricultura	Gandaería	Insumos alimentarios	Industria alimentaria
Agtech		Foodtech	
Biotecnología vegetal: <ul style="list-style-type: none"> • Bioinsumos agrícolas • Genética vegetal. Tecnología 4.0 Nanotecnología	Biotecnología animal: <ul style="list-style-type: none"> • Salud • Nutrición • Reproducción y genética Tecnología 4.0	Insumos de origen biológico: <ul style="list-style-type: none"> • Aditivos biológicos • Ingredientes biológicos con funciones tecnológicas 	Alimentos funcionales Biotecnología Nanotecnología Tecnologías 4.0

En resumidas cuentas, esta Misión parte del hecho de que abordar los tres desafíos mencionados anteriormente no solo es fundamental para aprovechar el enorme potencial de la producción agrícola-ganadera y de la industria alimenticia, sino también para desarrollar soluciones de alta intensidad tecnológica y elevado componente innovador que permitan traccionar las capacidades nacionales y, de ese modo, generar empleo calificado, sustituir -cuando sea posible- ciertas importaciones “aguas arriba” hoy características de estas cadenas y generar futuras ventajas competitivas que permitan una salida exportadora de tales soluciones tecnológicas en el mediano y largo plazo.

El impacto de la Misión en los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los desafíos contemplados en la Misión se vinculan estrechamente con la mayoría de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Para alcanzar las metas impuestas en cada objetivo, se requieren esfuerzos de todos los grupos: los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil.

En primer lugar, la adaptación de la producción de alimentos a los desafíos del siglo XXI tiene un claro correlato en el ODS 2 (Hambre cero) a través del fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Asimismo, y dada la enorme contribución de la producción agroalimentaria a la canasta exportadora, esta Misión procura sostener y ampliar tal capacidad de generación de divisas -a través de una mayor resiliencia ante eventos climáticos extremos como de una mayor fertilización y una adaptación a las nuevas demandas y regulaciones de salud y sostenibilidad. Todo ello repercute positivamente en el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico),

habida cuenta de la gran importancia de las divisas en el crecimiento y, consiguientemente, en la generación de empleo de calidad y reducción de la pobreza (ODS 1 – Fin de la pobreza). La búsqueda de una alimentación más saludable se liga con el ODS 3 (Salud y bienestar), en tanto que el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras para abordar los desafíos de la Misión se liga con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura). Por otro lado, la Misión tiene como uno de sus focos incrementar la sostenibilidad ambiental en la producción de alimentos, procurando impactar positivamente en los ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), 12 (Producción y consumo responsables), 13 (Acción por el clima) y 15 (Vida de los ecosistemas terrestres). La mayor demanda de perfiles profesionalizados especializados en disciplinas ligadas a las tecnologías agrícola-ganaderas y de alimentos impacta positivamente en el ODS 4 (Educación de calidad) y 5 (Igualdad de género, ya que, si bien el empleo en los sectores de la Misión está masculinizado, muchas de esas disciplinas tienden a estar relativamente feminizadas). A la vez, dado que tienen una fuerte vocación federal, fortalecer los complejos agroalimentarios puede impactar positivamente en la reducción de las desigualdades territoriales (ODS 10). Por último, la propuesta de fortalecimiento de determinadas políticas públicas y mejora de marcos regulatorios se liga con el ODS 16 (Paz, justicia e instituciones sólidas), lo cual a su vez requiere -como se mencionó- de esfuerzos compartidos entre el sector público, privado y la sociedad civil (ODS 17, Alianzas para lograr los objetivos).

FIGURA 2. IMPACTO DE LA MISIÓN 6 EN LOS ODS



Estructura del documento

Este documento se estructura en dos grandes secciones, que se corresponden con los dos ejes en los que se divide la Misión. En el Eje 1 (centrado en la transición hacia una producción alimentaria más sustentable) se comienza por un diagnóstico general de los principales sectores abordados en el Eje para luego analizar en detalle, en cada uno de los cuatro proyectos en los que se subdivide el Eje, las especificidades de cada uno de ellos (agro 4.0, bioinsumos, biotecnología aplicada a la mejora genética vegetal y animal y *foodtech*), incluyendo el panorama tanto global como local. Luego se analizan las capacidades locales de desarrollo y el sistema regulatorio y de incentivos para cada uno de estos proyectos. La segunda gran sección se corresponde con el Eje 2 (que apunta a fortalecer la resiliencia agropecuaria a partir de riego -Proyecto 5- y fertilización -Proyecto 6-, además de la biotecnología aplicada a la genética vegetal trabajada en el Eje 1). Al igual que con el Eje 1, se analizan el panorama global y local en ambas temáticas. Por último, se presentan más de 70 lineamientos de política y metas cuantitativas a 2030.

EJE 1

**DESARROLLAR CAPACIDADES
NACIONALES PARA
APROVISIONAR LAS
TECNOLOGÍAS QUE PERMITAN
UNA TRANSICIÓN HACIA UNA
PRODUCCIÓN ALIMENTARIA
MÁS SUSTENTABLE**



Introducción

En el marco de los desafíos que se enfrentan a nivel mundial en torno al cambio climático, la degradación de recursos naturales y la contaminación ambiental en general, existe amplio consenso en la necesidad de avanzar hacia procesos productivos que promuevan un desarrollo sostenible.

En particular, las proyecciones sobre el crecimiento de la población mundial, el nivel de ingresos y los procesos de urbanización indican para las próximas décadas una tendencia de fuerte incremento en el nivel de consumo de bienes y servicios, que demandarán mayores niveles de producción (IPCC, 2021; IICA, 2019 y Hodson de Jaramillo *et al.*, 2019, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). Para el año 2030 se estima una población mundial de 8.500 millones de personas y de 10.000 millones para fines del siglo XXI, principalmente impulsada por el crecimiento demográfico en África subsahariana y Asia meridional. Esto, junto con el aumento del nivel de ingresos en ciertas regiones, impulsará la demanda de alimentos no solo en términos de cantidad, sino también de calidad nutricional. Así, la seguridad alimentaria y la transformación de los paradigmas tecno-económicos para una producción agropecuaria más sustentable se tornan desafíos centrales para las próximas décadas (OECD-FAO, 2021 y Hodson de Jaramillo *et al.*, 2019, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

En este marco emerge la bioeconomía como concepto y herramienta para alcanzar una utilización más eficiente y sustentable de los recursos biológicos, a través de la *biologización*⁶ de las estrategias de consumo e industrialización para la provisión de bienes y servicios. La bioeconomía, a través de la convergencia de conocimientos de las ciencias biológicas, físicas, químicas, ingenieriles y de la información y la comunicación, abarca procesos productivos circulares de reutilización de recursos que permiten reducir los impactos ambientales negativos, por ejemplo, la huella de carbono.

El presente eje brinda un diagnóstico y análisis del potencial de las industrias de: tecnologías 4.0 para el agro; bioinsumos para el agro, aplicados tanto a la agricultura (biocontroladores y bioestimulantes) como a la ganadería (nutrición y sanidad animal); biotecnología para el agro, vinculada a la mejora de la genética animal y vegetal y aditivos e ingredientes funcionales de origen biológico.

*6 Entendiendo por biologización a la transición hacia la utilización de insumos biológicos.

Diagnóstico de las cadenas de valor incluidas en el Eje 1

Entendiendo el Eje

Los sectores del presente Eje corresponden a actividades que contribuyen al objetivo incrementar la productividad y la capacidad de innovación y adaptación del complejo alimentario a través del impulso de la biotecnología aplicada a la genética, las tecnologías 4.0 aplicadas al agro, los bioinsumos agrícolas y ganaderos, los aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas de origen biológico, los alimentos innovadores y la adopción eficiente de fertilizantes y de sistemas de riego.

Es clave para la Misión sentar las bases de análisis que permitan identificar el universo potencial desde el punto de vista de la oferta, particularmente de aquellas vinculadas a los Ejes presentados en este documento. Este apartado describe, en primer término, las empresas y el mercado, siguiendo por el componente externo y las exportaciones; finalmente tratará aspectos vinculados al empleo (su evolución, feminización, localización geográfica y salarios).

Comprendiendo estas variables, el lector o la lectora pueden tener un dimensionamiento de cómo funciona cada uno de los sectores. Este diagnóstico de las cadenas de valor que intervienen en el Eje 1 surge a partir de una selección de empresas y tiene como principal fuente de información al Sistema Integrado Previsional Argentino (SIPA), por lo que los datos corresponden a registros administrativos.

El criterio de selección de empresas implica un seguimiento a través de los años a un grupo de firmas que funcionan en la actualidad. En términos metodológicos del diagnóstico, esto difiere considerablemente de lo que sucede en la mayor parte de las ramas productivas, cuyas actividades pueden identificarse en el Clasificador de Actividades Económicas (CLAE).⁷ Sin embargo, esto no ocurre en el caso de las empresas de este eje, que han sido detectadas a través de relevamientos propios y de otras instituciones.

Agtech 4.0

Sector intensivo en tecnología que provee al sector agropecuario considerando como plataforma tanto las ciencias de la vida como las plataformas digitales y la nanotecnología aplicadas al agro.

⁷ Mes a mes, las firmas pueden identificarse ante la Administración Federal de Ingresos Públicos en la o las actividades económicas que caracterizan a la firma. De este modo, el seguimiento a un CLAE permite ver mensualmente cuantas firmas componen a una rama productiva a nivel federal, lo que implica tanto creación como cese del funcionamiento del CUIT.

Empresas agro 4.0: empresas y *startups* cuyo core se basa en el desarrollo de tecnologías 4.0 para el agro. Estas empresas desarrollan como actividad principal, plataformas digitales, software o servicios informáticos especializados para el agro.

Se estima que en la industria *agtech* existen unas 119 empresas agro 4.0., junto con 23 empresas que desarrollan equipos de agricultura de precisión (AP),⁸ de acuerdo con las encuestas realizadas por Lachman *et al.* (2021 y 2022a) y los datos de la Convocatoria Agtech del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Nación, a enero de 2022. De este conjunto, se registraron datos de empleo asalariado registrado para un total de 62 empresas agro 4.0.

Bioinsumos agrícolas

Aquí se incluye a las empresas que han registrado biofertilizantes, biocontroladores y bioestimulantes ante el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Estos bioinsumos abarcan aquellos que tienen un efecto directo sobre la agricultura, impulsando el crecimiento o desarrollo vegetal, combatiendo directa o indirectamente una plaga y/o disminuyendo los efectos negativos de todo tipo de estrés sobre los cultivos.

Las empresas que registraron al menos un bioinsumo en el SENASA y que presentan actividades productivas declaradas son 109. De ese total, 97 registran empleo asalariado. Estas últimas fueron clasificadas en dos grupos según el tipo de producto que comercializan:⁹

- Empresas mixtas bioquímicas: son empresas por lo general productoras de insumos agropecuarios químicos, que han incorporado líneas de productos de origen biológico (64 empresas).
- Empresas con predominio bio: todos o la mayoría de sus productos para el agro son de origen biológico (33 empresas).

Genética vegetal. El mercado de la genética vegetal incluye a los productos (como semillas y plantines) destinados al mejoramiento de los cultivos a través de la ingeniería genética. En la mayoría de los casos, la ingeniería genética de plantas se basa en los métodos convencionales de transgénesis o en las más recientes técnicas de edición del genoma.

⁸ Las empresas AP, desarrollan diversos tipos de dispositivos electrónicos o electromecánicos los cuales pueden ser utilizados de forma independiente en procesos de producción a campo, o bien estar embebidos en la maquinaria agrícola. En términos generales, estos dispositivos capturan datos de los procesos productivos, siendo esto insumo para la toma de decisiones a futuro. Cabe destacar que, si bien en el país hay diversos prototipos de robots inteligentes para llevar a cabo diversas tareas a campo, todavía no hay registro de que alguno de estos haya sido utilizado de forma comercial. Por este motivo, estas empresas no se incluyen en el diagnóstico.

⁹ Esta clasificación no puede realizarse si la persona humana o jurídica que registró el producto ante el SENASA no posee sitio web en el que se pueda consultar el catálogo de productos que comercializa (6 casos).

La oferta local de semillas transgénicas se caracteriza por la presencia de tres tipos de agentes. En primer lugar, las grandes empresas multinacionales obtentoras de genes, las adaptadoras y las obtentoras nacionales. Las obtentoras son aquellas que descubren y aíslan el gen para luego patentarlas y vender la tecnología asociada. Por su parte, las adaptadoras realizan los mejoramientos genéticos necesarios para poder justamente adaptar el cultivo a las condiciones específicas de las regiones a sembrar. A estas empresas se accedió mediante motores de búsqueda en internet.

Bioinsumos aplicados a la ganadería (nutrición y sanidad animal). Engloban a todo producto basado en micro o macroorganismos vivos, así como compuestos y/o extractos derivados de ellos u otras fuentes biológicas, capaces de mejorar el rendimiento, calidad y/o sanidad al aplicarlos en la producción ganadera.

Este sector incluye, por un lado, empresas de salud animal, productoras y/o comercializadoras de productos veterinarios biológicos (como vacunas y hormonas recombinantes) y, por el otro, empresas productoras y/o comercializadoras de productos biológicos para la nutrición animal (como pre y probióticos).

Debido a que no se cuenta con fuentes disponibles que permitan distinguir a las empresas de productos biológicos para la nutrición animal dentro del total de empresas de alimentación animal, este subsector no se pudo cuantificar y no se incluye en el presente dimensionamiento.

Por su parte, las empresas de salud animal incluidas, son aquellas que realizaron registros de productos veterinarios ante el SENASA. Estas fueron clasificadas en dos grupos según el tipo de producto que comercializan:¹⁰

- Empresas de sanidad animal mixtas bioquímicas: productos para salud animal tanto de base química como biológica.
- Empresas de sanidad animal con predominio bio: todos o la mayoría de sus productos para salud animal son de origen biológico.

Genética animal. El mercado de la genética y reproducción animal incluye todas las pruebas y servicios de genética animal basados en técnicas de ingeniería genética. Para su análisis cuantitativo se incluyen los establecimientos de reproducción animal habilitados por SENASA.

Aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas de origen biológico. Los aditivos alimentarios son sustancias que se añaden a los alimentos para mantener o mejorar su inocuidad, frescura, sabor, textura o aspecto. Por su parte, los ingredientes se definen como toda sustancia, incluidos los aditivos alimentarios, que se emplee en la fabricación o

¹⁰ Existe un tercer grupo, que son las empresas de sanidad animal que comercializan productos veterinarios solo de origen químico. Estas no se incluyen en el dimensionamiento cuantitativo del sector ya que no son relevantes a los objetivos de la Misión.

preparación de un alimento y esté presente en el producto final en su forma original o modificada. Los ingredientes con funciones tecnológicas, un subconjunto de los ingredientes, abarcan nutrientes (vitaminas y minerales), cultivos de microorganismos, concentrados proteicos y enzimas no incluidas en la categoría de aditivos en la normativa argentina.

Los aditivos biológicos y los ingredientes biológicos con funciones tecnológicas incluyen a aquellos que son extraídos de fuentes biológicas naturales como a los que son producidos por fermentación microbiana.

Para dimensionar este sector, se partió del relevamiento realizado por Talamoni y Queipo (2022), donde se contabilizaban entre 140 y 150 empresas elaboradoras, importadoras y/o distribuidoras de aditivos alimentarios en el país. Este listado de empresas se amplió mediante la utilización de motores de búsqueda en internet. Luego, estas empresas fueron clasificadas en dos grupos,¹¹ según el tipo de producto que comercializan:

- Empresas de aditivos e ingredientes mixtas bioquímicas: ofrecen aditivos y/o ingredientes con funciones tecnológicas tanto de origen biológico como químico.
- Empresas de aditivos e ingredientes con predominio bio: todos o la mayoría de sus aditivos y/o ingredientes con funciones tecnológicas son de origen biológico.

Empresas y mercado¹²

Esta subsección tiene la finalidad de brindar una caracterización de las empresas que componen las diferentes cadenas de valor involucradas en la producción de agroalimentos. Cabe mencionar que el conjunto que aquí se presenta es heterogéneo (tamaño y facturación de las firmas, número de empleados, ubicación geográfica, etc.) y este responde a particularidades propias de cada una de las actividades involucradas.

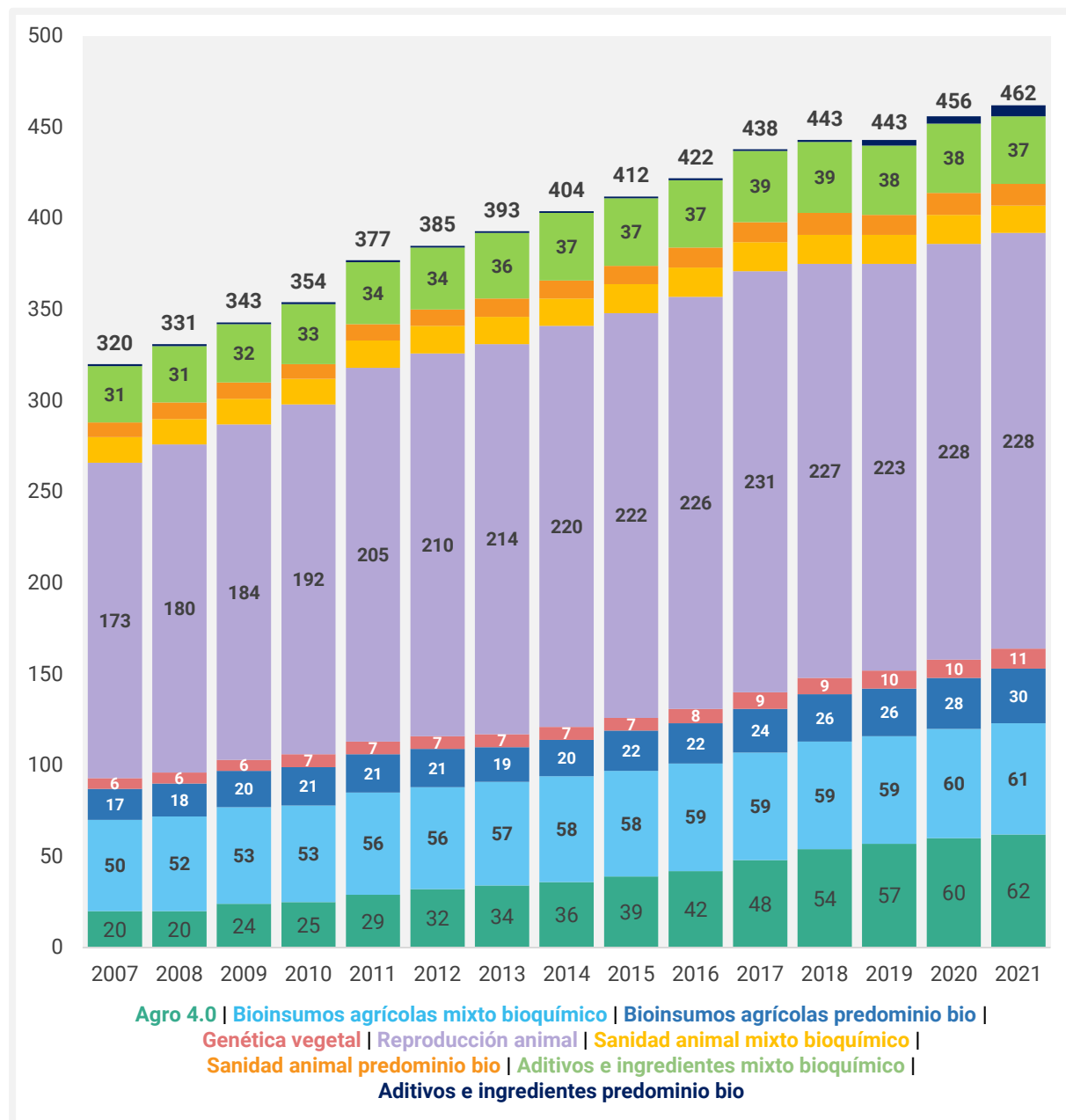
El Eje 1 está compuesto por un universo de 584 CUITs,¹³ de los cuales 501 poseen información de empleo, salarios y/o domicilio productivo de sus trabajadores. De los 501 CUIT, 462 brindaron empleo en algún mes del 2021 y casi la mitad de ellas, se dedican a la reproducción animal.

¹¹ Existe un tercer grupo, las empresas de aditivos químicos, que ofrecen exclusivamente aditivos y/o ingredientes con funciones tecnológicas de origen químico. Este grupo de empresas no fue incluido en el presente dimensionamiento ya que no son relevantes a los objetivos de la Misión.

¹² Se trata mayormente de empresas, aunque se incluyen aquí algunas instituciones relevantes como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

¹³ Se detectaron tres casos en los que la empresa se dedica a más de una de las actividades comprendidas en el Eje. Para evitar la múltiple contabilización de las firmas, los puestos de trabajo que otorgan y sus establecimientos productivos, se asoció a la empresa a la actividad de la Misión con mayor vinculación al código de la primera actividad económica que figura en el Clasificador de Actividades Económicas.

GRÁFICO 1. SURGIMIENTO DE LAS EMPRESAS EMPLEADORAS RELEVADAS, EN CANTIDAD DE EMPRESAS, 2007 A 2021

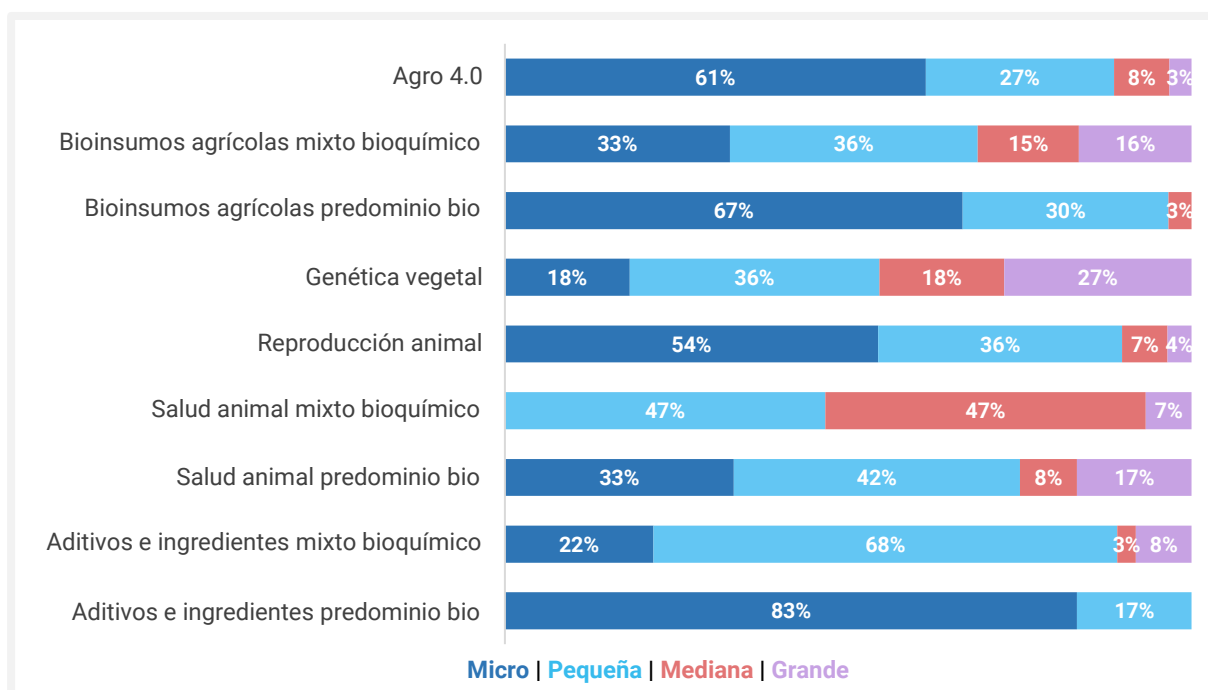


Fuente: elaboración propia con base en SIPA. Nota: este gráfico no muestra la cantidad de empresas de cada segmento, sino que toman listados de empresas vigentes en 2021 y se ve cuáles de dichas empresas presentaban empleo registrado en años anteriores. Por tal razón -al no tener información de dichos listados en el pasado- no puede considerarse una serie de evolución de empresas, ya que no se incluyen empresa que pudieron haber formado parte de dichos segmentos en el pasado y que luego cerraron. Se incluye el INTA como CUIT empleador.

Como se observa en el gráfico 1, en 2007 existían 320 de las 462 empresas empleadoras listadas en 2021. Ello implica que el 69% de las empresas empleadoras del Eje 1 son anteriores a 2007. Esta cifra es mayor a lo que ocurre en el conjunto de la economía (41%).

Agro 4.0 es el sector más nuevo, con un 68% de las firmas iniciando su actividad después de 2007. Es interesante notar que mientras que más del 50% de las firmas de agro 4.0 iniciaron sus actividades luego de 2015, más del 64% de las empresas de equipos de agricultura de precisión (AP) lo hizo antes del año 2000 (cabe recordar que en la actualidad se estima la presencia de 23 firmas). Ambos grupos de empresas se caracterizaron por ser casi en su totalidad originadas a partir de capitales nacionales. En promedio, las empresas demoraron entre tres y cuatro años luego de su constitución formal para realizar la primera exportación. En ambos casos, los destinos más comunes de exportación fueron países de la región, principalmente Uruguay, Brasil y Paraguay. Fuera de la región, aunque en un segundo orden de magnitud se destacan las ventas a Estados Unidos, México y España.

GRÁFICO 2. TAMAÑO DE FIRMA SEGÚN TRAMO DE EMPLEO, AÑO 2021



Fuente: elaboración propia con base en SIPA. Nota: se considera como microempresas aquellas que tuvieron un promedio anual inferior a 10 empleados; pequeñas menos de 50 empleados; medianas menos de 200 empleados; y grandes, 200 empleados o más.

Si se clasifican las empresas según la cantidad de empleados promedio que mantuvieron en 2021, el 47,8% de las empresas que componen el Eje 1 son microempresas, el 37% son pequeñas y el resto, medianas y grandes (8,9% y 6,3%, respectivamente). El tamaño promedio en 2021 fue de 80 puestos de trabajo por firma, lo que denota una escala casi ocho veces mayor al promedio de la economía y más de 3 veces superior al promedio de la industria manufacturera. El tamaño más grande se da en genética vegetal y bioinsumos agrícolas mixto bioquímico (con 363 y 189 puestos por firma respectivamente). En contraste, el menor tamaño se da en aditivos e ingredientes con predominio bio (6 puestos por firma) y agro 4.0 (23 puestos), ambos los segmentos más recientes.

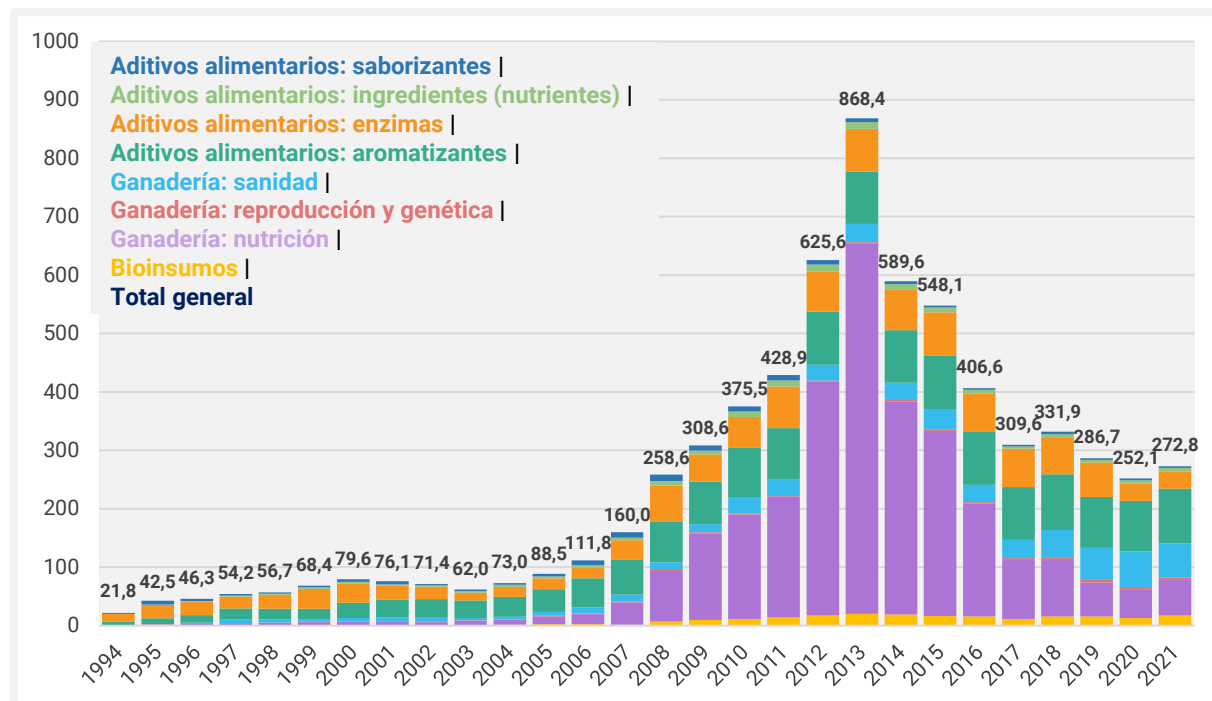
Comercio exterior

Bienes

Las exportaciones del conjunto de las actividades comprendidas en la Misión¹⁴ totalizaron USD 272,8 millones en 2021. Esto es comparable a las exportaciones del complejo tabacalero (USD 252 millones), que en 2021 se posicionó como el catorceavo complejo exportador del país, antecedido por el complejo avícola (USD 340 millones) y seguido por el complejo mielero y el azucarero (USD 223 millones y USD 217 millones, respectivamente) (INDEC, 2022).

Las exportaciones de aromatizantes dentro del rubro de aditivos alimentarios fueron las de mayor peso en 2021 y concentraron el 34,4% del saldo exportable de la Misión en dicho año. Asimismo, las exportaciones de productos de sanidad animal han adquirido protagonismo en los últimos años, ya que en 2016 representaron el 7,2% y ahora esta cifra asciende al 21,5%. Por el contrario, los montos de las ventas externas de productos de nutrición animal se encuentran en declive luego del máximo de 2013, en el que esta actividad representó el 73% de las exportaciones de los productos relevados, principalmente explicado por preparaciones alimenticias para animales con elementos nutritivos balanceado (piensos compuestos completos).

GRÁFICO 3. EXPORTACIONES DE BIENES, POSICIONES ARANCELARIAS VINCULADAS A LA MISIÓN, EN MILLONES DE DÓLARES, 1994 A 2021

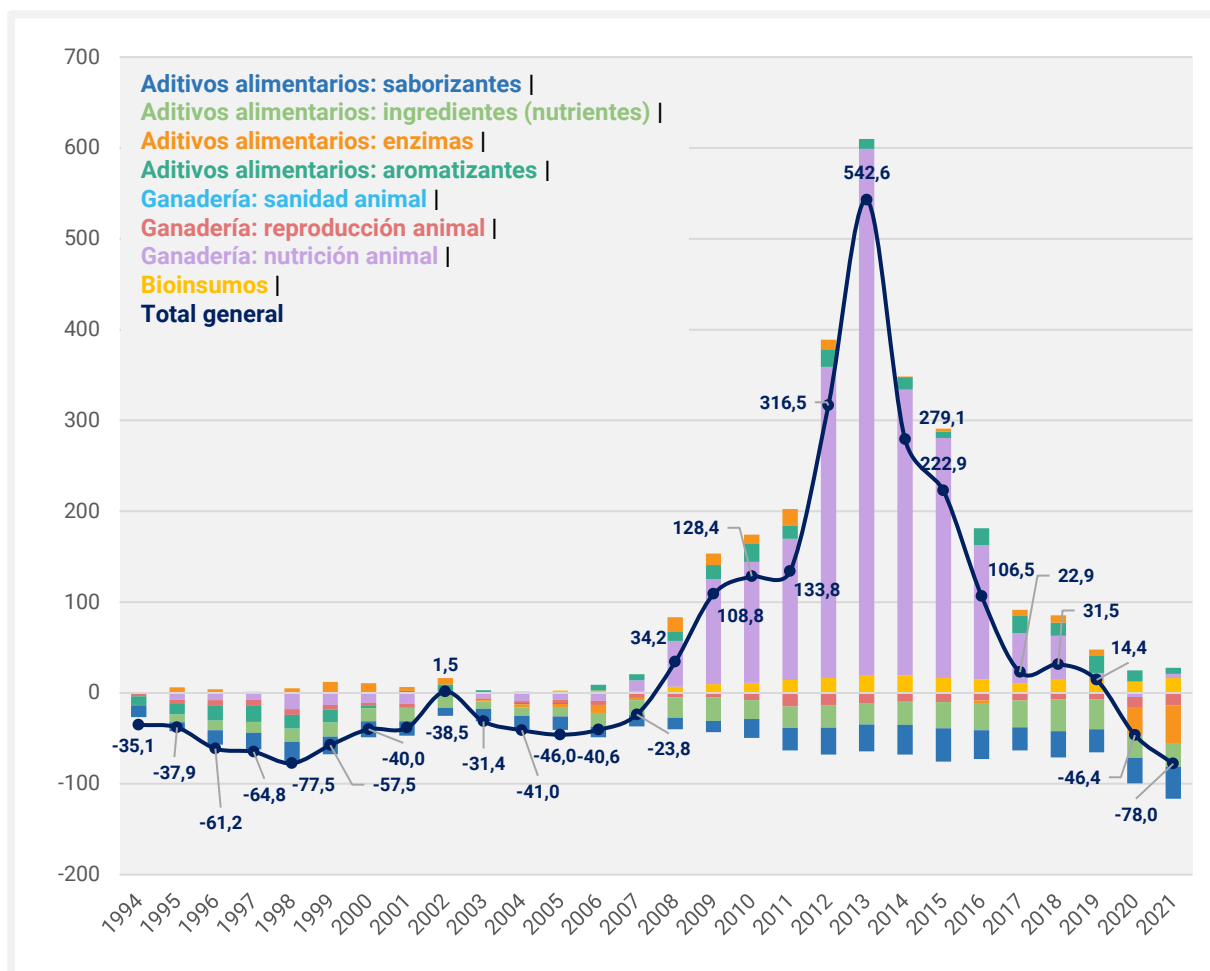


Fuente: elaboración propia con base en Aduana.

¹⁴ En este caso, el análisis no se limita a las 584 firmas del apartado anterior, sino que incluye a todas las firmas que han registrado operaciones de comercio exterior vinculadas a las posiciones arancelarias listadas en el anexo 2.

Dado que no existen posiciones comerciales que den cuenta de los bienes del vertical agro 4.0 dentro de los insumos informáticos en general, no es posible cuantificar con precisión la actividad de comercio exterior. Sin embargo, según las encuestas realizadas por Lachman *et al.* (2021 y 2022a), en el plano del comercio exterior, la dinámica que presentan las empresas agro 4.0 es destacable, más aún dada su breve trayectoria. De las empresas que declararon tener ingresos al momento de la encuesta, un 41% de las agro 4.0 y el 64% de las empresas de AP mencionaron haber exportado al menos una vez en los últimos tres años.

GRÁFICO 4. SALDO COMERCIAL DE BIENES - POSICIONES ARANCELARIAS VINCULADAS A LA MISIÓN, EN MILLONES DE DÓLARES, 1994 A 2021



Fuente: elaboración propia con base en Aduana.

El saldo comercial de los bienes vinculados a la Misión mostró un déficit de USD 78 millones en el año 2021. Este resultado se debe principalmente a los saldos negativos en los aditivos alimentarios que ascendieron a USD 100 millones, y en menor medida a la reproducción animal (USD -14,1 millones).

Con respecto a la balanza de bioinsumos agrícolas, el saldo fue positivo para todo el período 1998-2021. Para el año 2021, el ingreso de divisas del sector fue de 16,3 millones de dólares. Entre los principales destinos de exportación se encuentran Brasil (25%), Estados Unidos (17%) y Sudáfrica (14%), mientras que las importaciones provienen de Estados Unidos (62,8%) y España (36,7%).

La balanza comercial argentina de los productos de ganadería fue superavitaria a partir de 2007. En particular, entre 2018 y 2021 las ventas externas promediaron los USD 56 millones, mientras que las importaciones alcanzaron los USD 35,2 millones. Particularmente, las operaciones vinculadas con reproducción animal son incipientes, por lo que el saldo de las exportaciones de ganadería vinculadas a la Misión corresponde de manera casi equitativa a las actividades de nutrición y sanidad animal. Con respecto a esta última, el 80% de las exportaciones de 2021 de esta cadena fueron vacunas contra la fiebre aftosa, plasma y hemoglobina deshidratados bovinos, y otras vacunas veterinarias. Por su parte, el 70% de las importaciones estuvo compuesto por vacunas de uso veterinario.

Los principales destinos de las exportaciones argentinas de productos de sanidad animal en 2021 fueron Vietnam (18%), Brasil (16%), República de Corea (15%), Uruguay (11%) y Colombia (10%). Este conjunto de países representó el 80% de las ventas externas de estos productos durante el 2021. Por su parte, los principales orígenes de las importaciones fueron Estados Unidos (44%), Países Bajos (20%), Hungría (13%) y Francia (7%), que en conjunto totalizaron el 84% de las compras del exterior.

Las exportaciones de genética y reproducción animal totalizaron USD 4 millones en el 2021, sin embargo, el saldo comercial se ha mantenido deficitario durante el período 1994-2021 (las importaciones fueron de USD 17,3 millones en el último año) debido a que las exportaciones han sido relativamente constantes, mientras que las importaciones han tenido una tendencia creciente en el tiempo.

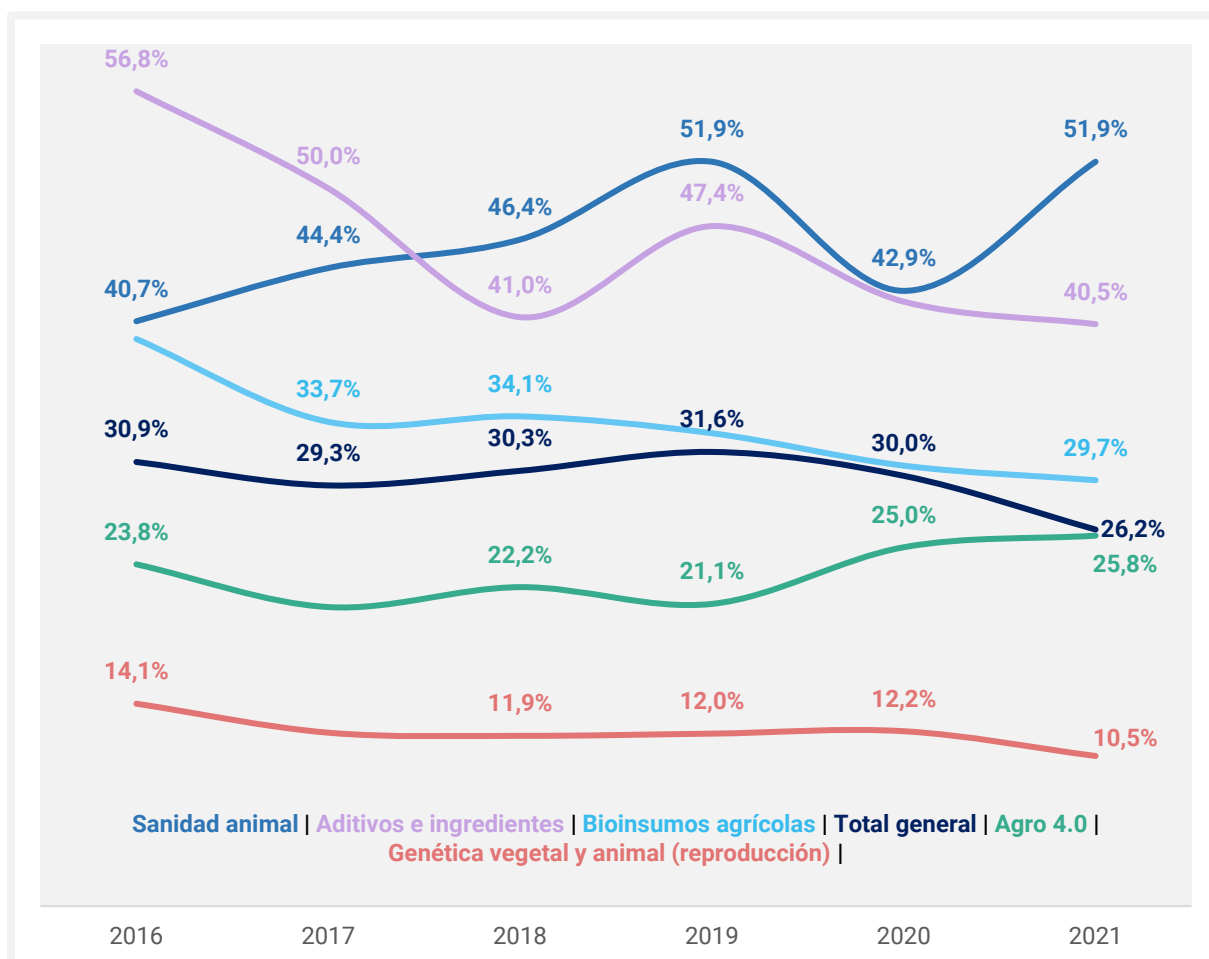
Los principales destinos de las exportaciones argentinas de productos de genética y reproducción animal en 2021 fueron países de la región como Brasil (51%), Paraguay (28%), Uruguay (8%) y Colombia (3%) que en conjunto representaron el 90% de las ventas externas. Por su parte, los principales orígenes de las importaciones de estos productos en 2021 fueron Estados Unidos, Canadá (21%) y Nueva Zelanda (6%), que en conjunto representaron el 90% de las compras externas.

Servicios

Por su parte, cabe señalar que, de acuerdo con la información del Mercado Único y Libre de Cambios (MULC), la proporción de empresas que participa en el mercado externo aún es

minoritaria: durante el año 2021 el 26,2% de las empresas empleadoras vinculadas al Eje 1¹⁵ han registrado operaciones asociadas a la exportación de servicios. La trayectoria agregada se mantuvo estable hasta el 2021, cuando la participación cayó 4 puntos porcentuales.

GRÁFICO 5. PROPORCIÓN DE EMPRESAS EXPORTADORAS DE SERVICIOS, 2016 A 2021

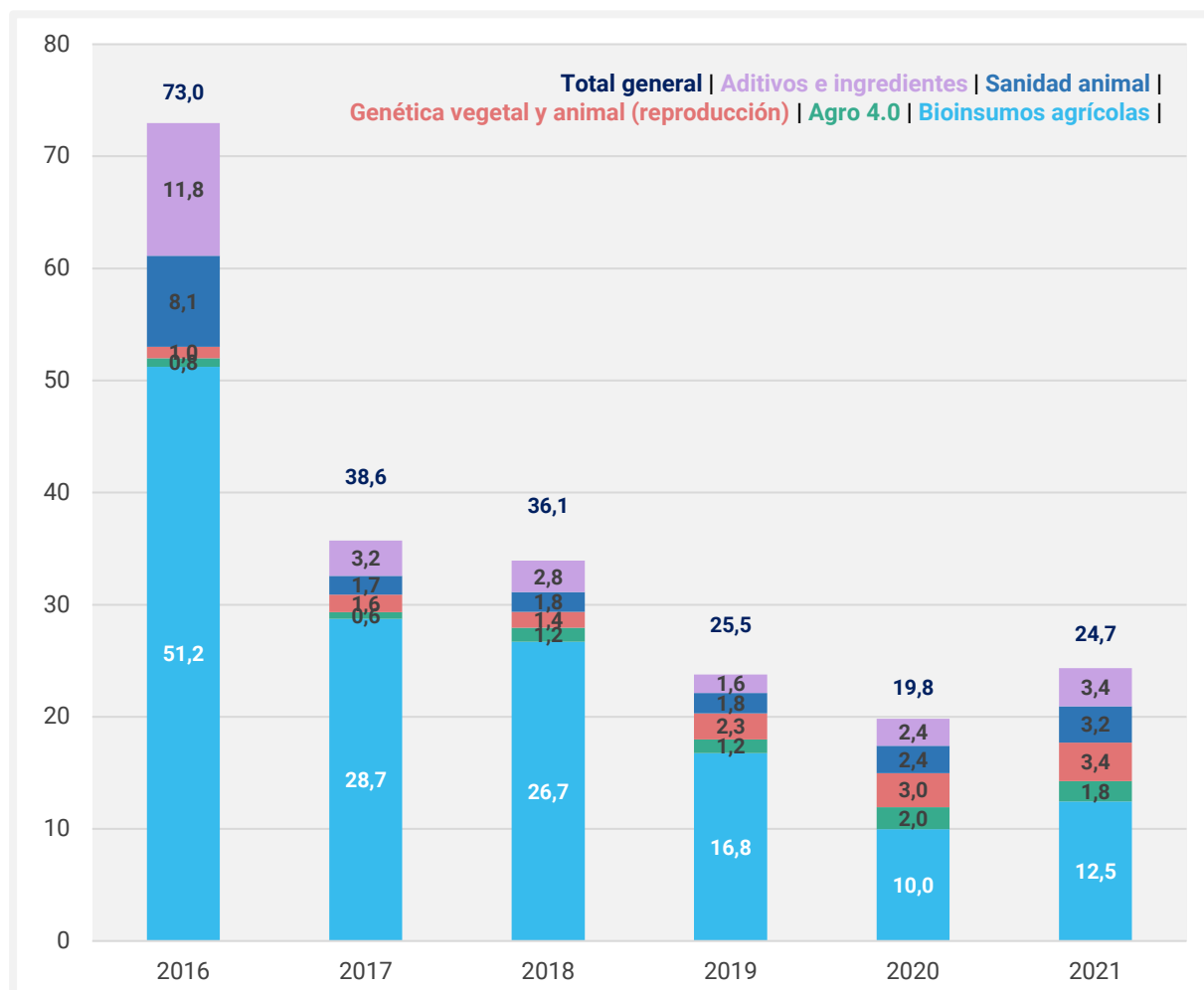


Fuente: elaboración propia con base en Aduana.

El total exportado de servicios en 2021 por las empresas que componen el Eje 1 que registraron operaciones al exterior fue de USD 24,7 millones, valor cercano al de 2019, y que significa una recuperación con respecto de 2020. En comparativa, las ventas externas en materia de servicios representan casi el 10% del monto que se exportó en bienes ese mismo año.

¹⁵ Al contrario de lo que ocurre en el comercio externo de bienes, en el caso de los servicios, las transacciones comerciales al exterior vinculadas a los servicios no pueden ser identificadas con riguroso nivel de detalle. Por este motivo, se retoma el enfoque de selección de CUIT para analizar la operatoria externa de las cadenas vinculadas a la producción agroalimentaria en el exterior.

GRÁFICO 6. MONTO DE LOS SERVICIOS EXPORTADOS POR EMPRESAS DE LA MISIÓN, EN MILLONES DE DÓLARES, 2016 A 2021



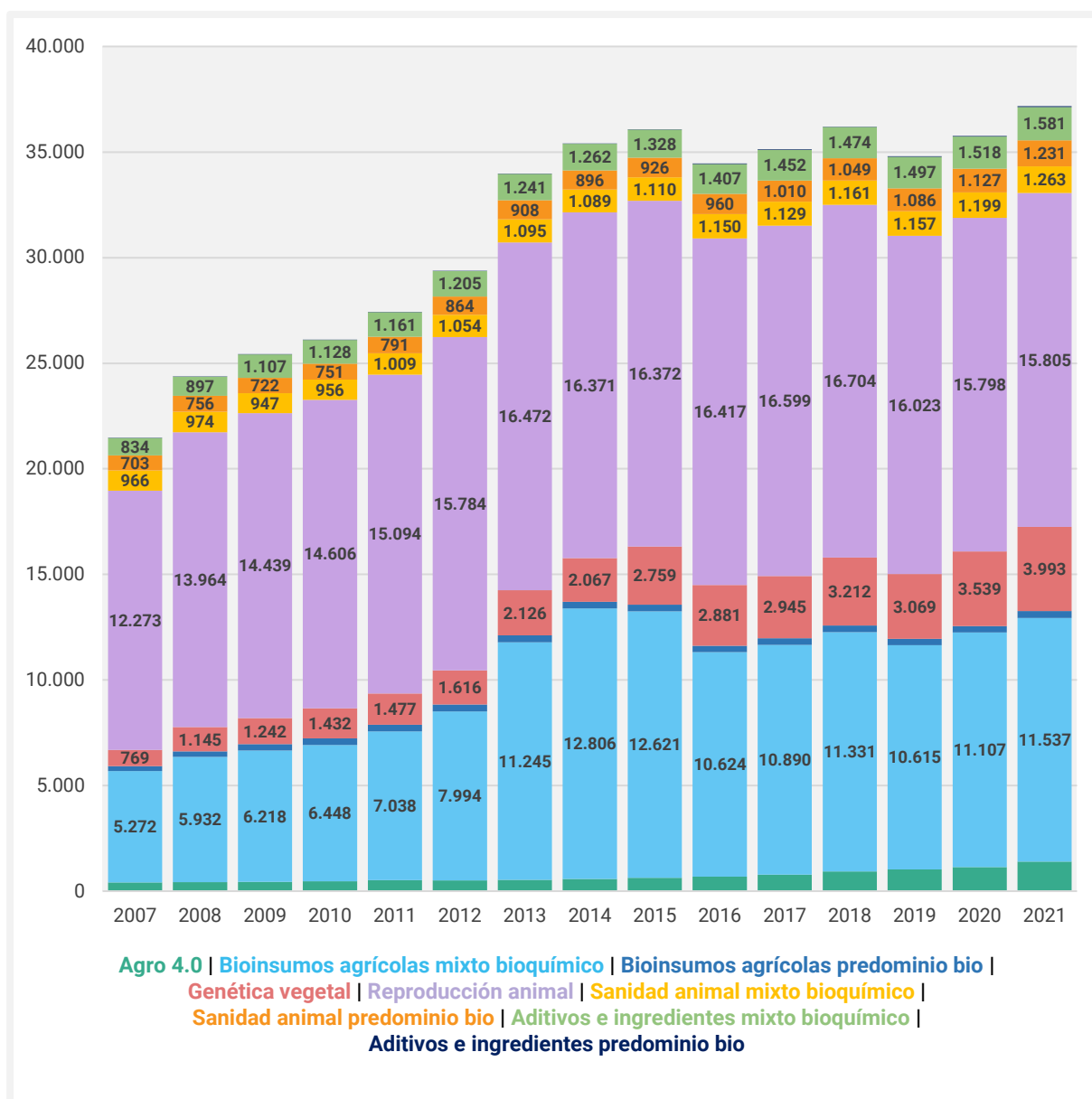
Fuente: elaboración propia con base en Aduana.

Puestos de trabajo (cantidad y localización)

En 2021, las empresas relevadas en los sectores involucrados directamente en el Eje involucraron 37.170 puestos de trabajo asalariados formales. Esas mismas empresas (incluyendo el INTA, contado en reproducción animal) tuvieron 21.476 puestos en 2007, lo que supone un incremento del 73% entre puntas. Dado que el panel de empresas analizado es fijo (y muestra empresas relevadas vigentes en 2021) y por tanto no incluye a empresas de tales sectores que pudieron haber cerrado a lo largo del período, no debe considerarse la evolución del empleo como representativo del conjunto del Eje, sino tan solo de un determinado conjunto de empresas. A modo de comparación, si hiciéramos el mismo ejercicio para el conjunto de la economía (esto es, medir el empleo de las empresas vigentes en 2021, sin contar el de aquellas que no llegaron a sobrevivir hasta ese año), el crecimiento de los puestos de trabajo fue del 68%. De este modo, podría considerarse que el desempeño de las empresas de la Misión fue levemente mejor al del conjunto de la economía.

En consonancia a la cantidad de CUITs empleadores, reproducción animal (42,1% del empleo de 2021), bioinsumos agrícolas mixto bioquímico (31%) y genética vegetal (10,7%) son las actividades de mayor peso dentro del empleo generado por las cadenas de valor de interés. Dentro de los segmentos, los de mayor dinamismo desde 2007 fueron los de las empresas dedicadas a la genética vegetal, agro 4.0 y bioinsumos agrícolas mixto bio-químico, en las que el incremento en términos acumulados de los puestos de trabajo entre 2007 y 2021 fue del 419%, 273,3% y 118,8%, respectivamente.

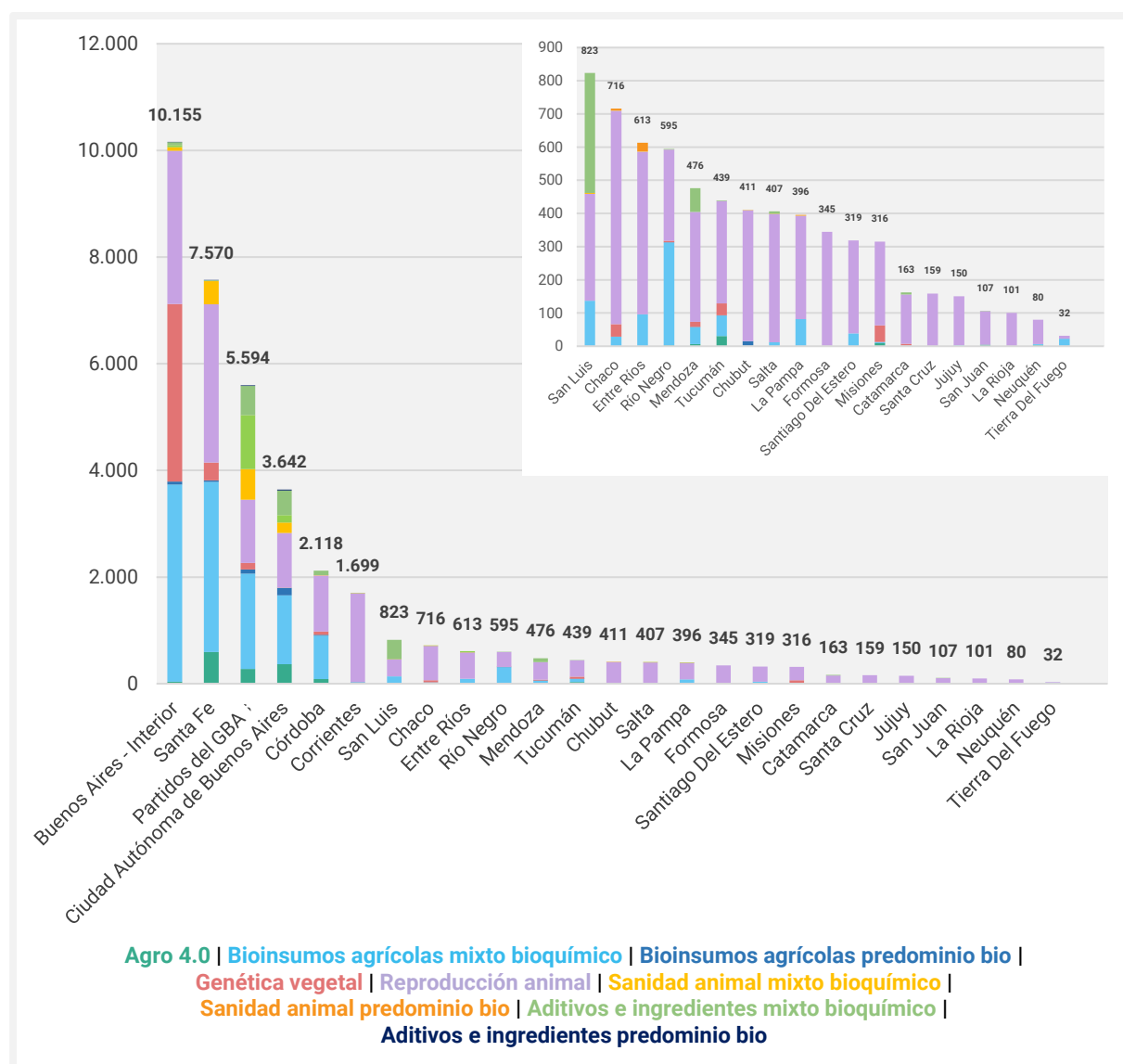
GRÁFICO 7. EVOLUCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO ASALARIADOS FORMALES DE LAS EMPRESAS INCLUIDAS EN LA MISIÓN, 2007 A 2021



Fuente: elaboración propia con base en SIPA. Nota: dado que se trata de un padrón fijo de empresas con actividad en 2021, la serie no considera posibles empresas con empleo registrado en el pasado y que dejaron de operar en algún momento del período 2007-2021.

Con respecto a la localización geográfica de las relaciones laborales –esto es, prestando atención al lugar donde la persona tiene declarado su domicilio laboral–, se ve una marcada asimetría en el territorio nacional, con un gran protagonismo de la provincia de Buenos Aires, que sin incluir al AMBA, explicó el 27,1% del empleo en los sectores comprendidos en este eje de la Misión durante 2021. Asimismo, en Santa Fe se localizó el 20,3% de la fuerza laboral en ese mismo año. En términos generales, en los últimos 10 años, el AMBA perdió su rol de principal empleador en las actividades vinculadas a la Misión (en 2011 concentraba el 45,8% del empleo, en la actualidad, solo el 24,7%).

GRÁFICO 8. PUESTOS DE TRABAJO ASALARIADOS FORMALES POR PROVINCIA EN LA QUE OCURRE LA RELACIÓN LABORAL Y EJE DE LA MISIÓN, AÑO 2021



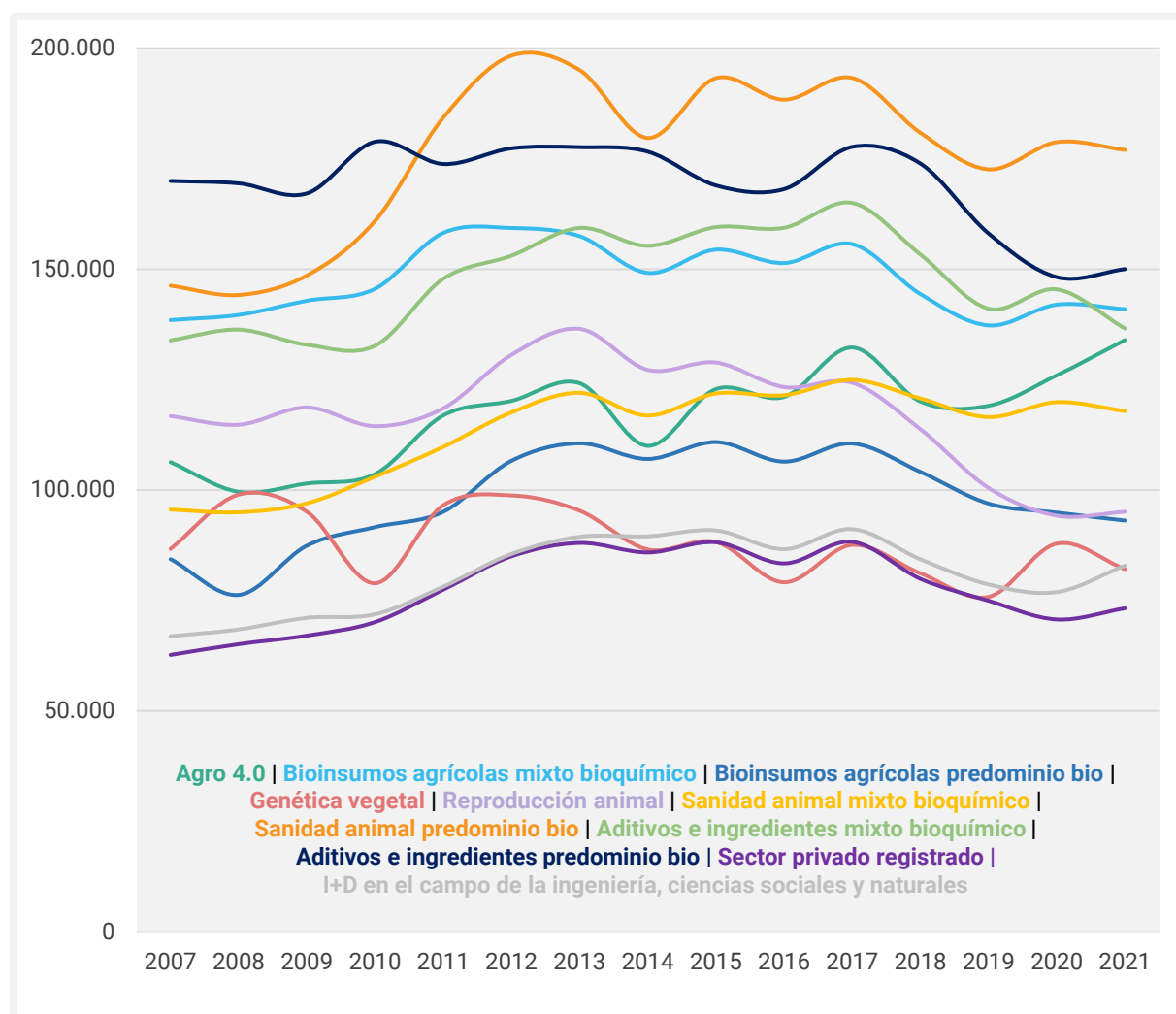
Fuente: elaboración propia con base en SIPA.

Evolución de los salarios

El gráfico 9 muestra la dinámica salarial en cada uno de los sectores del Eje a partir de las remuneraciones medianas anuales en términos reales a precios de 2021. En términos generales, se sitúan por encima de la remuneración mediana del sector privado asalariado formal, y específicamente, por encima de los salarios de las personas trabajadoras vinculadas a tareas de I+D en el campo de la ingeniería, ciencias sociales y naturales.

Todas las ramas mostraron las mismas tendencias: una etapa de crecimiento sostenido hasta 2012 seguido por un estancamiento con un leve declive hasta 2018, momento en el que el deterioro de los salarios reales tiende a profundizarse, en sintonía con la coyuntura macroeconómica local, y con la pandemia de COVID-19 en 2020.

GRÁFICO 9. SALARIO MEDIANO ANUAL POR ACTIVIDAD EN PESOS DE DICIEMBRE 2021. AÑOS 2007-2021



Fuente: elaboración propia con base en SIPA.

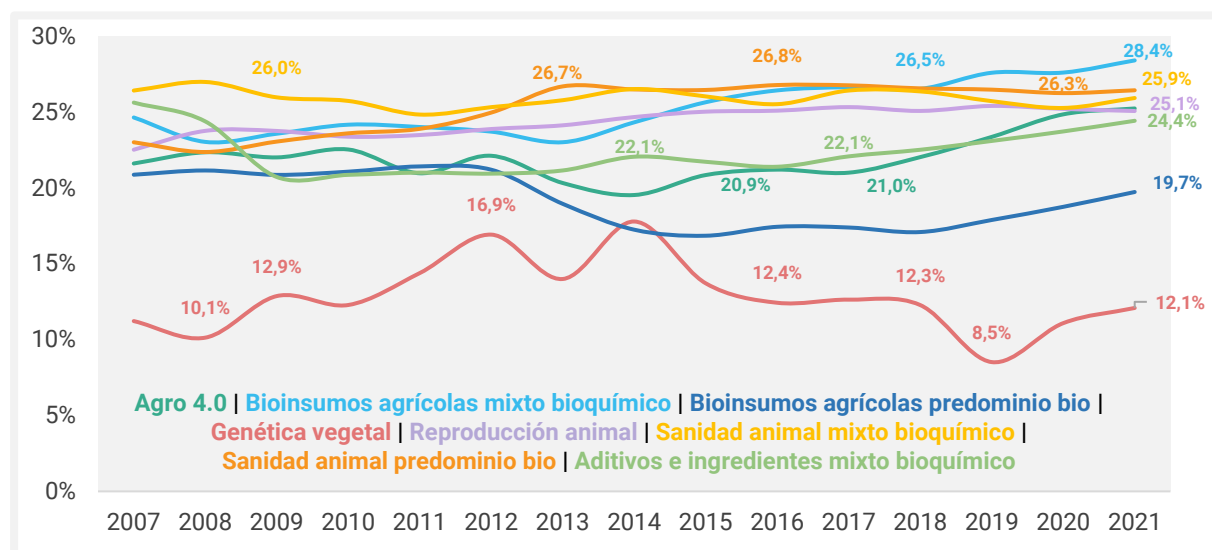
Género

En 2021, la tasa de feminización en el empleo asalariado formal en los sectores que componen el Eje (22,1%) estuvo por debajo de promedio de las empresas de la economía (32,3%). En ambos casos, se trata de cifras muy lejanas a la paridad, y también muy inferiores al 43% de mujeres ocupadas que existe en el conjunto de la población ocupada. Como es sabido, el porcentaje de mujeres es mayor al considerar el sector público, en donde el 54% del empleo es femenino –en gran medida por salud y educación pública– y el asalariado informal (el 48% del empleo asalariado informal es femenino, con un gran peso del trabajo en casas particulares explicando dicha cifra).¹⁶

Dentro de los sectores del Eje hay una fuerte heterogeneidad de la feminización. En los aditivos genética dicha tasa se situó en el 12,1%. Si bien la tasa viene incrementándose con mucha variabilidad desde 2008 (cuando fue dos puntos porcentuales menos), la lentitud a la que viene haciéndolo indica la necesidad apremiante de promover políticas en dirección a la paridad de género. En los bioinsumos agrícolas mixto bio-químico, la feminización también es reducida (19,7%), y se está recuperando desde 2018, luego de haber alcanzado un máximo en 2012.

Los sectores más feminizados del Eje son bioinsumos agrícolas de predominio bio (28,4% en 2021) junto con sanidad animal (mixto: 26,5%, predominio bio: 25,9%). En todos los sectores del Eje, tasa de feminización incrementó paulatinamente durante el período de análisis, a excepción de las empresas de aditivos, que se caracteriza por ser un sector pequeño y en expansión en términos de puestos de trabajo.

GRÁFICO 10. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE FEMINIZACIÓN DEL EMPLEO REGISTRADO, 2007 A 2021

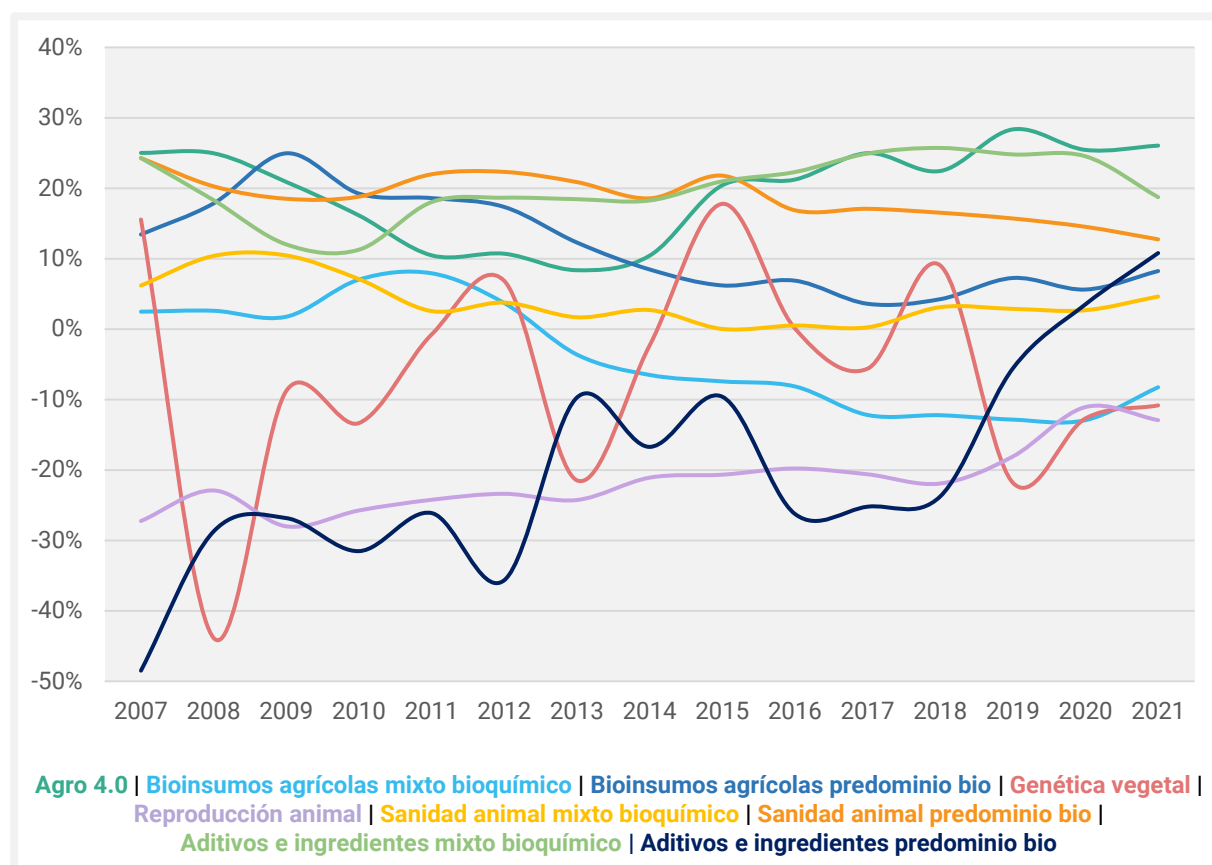


Fuente: elaboración propia con base en SIPA.

¹⁶ Datos de la EPH del INDEC, promedio 2016-2022.

Además de ser masculinizados en cuanto al empleo, los sectores que componen el Eje 1 exhiben brechas salariales de género considerables.¹⁷ Sin embargo, en los últimos años hay sectores que han evidenciado brechas salariales en favor de las mujeres. En 2021, las menores brechas salariales se dieron en reproducción animal (-12,9%), seguido por genética vegetal (-10,8%) y bioinsumos agrícolas mixto bio-químico (-8,3%).

GRÁFICO 11. EVOLUCIÓN DE LA BRECHA SALARIAL DE GÉNERO. SALARIO MEDIO PONDERADO, 2007 A 2021



Fuente: elaboración propia con base en SIPA.

A excepción del agro 4.0 y aditivos e ingredientes de predominio bio, todos los sectores evidenciaron una baja en las brechas salariales a lo largo del tiempo, y en todos los casos son menores a las de 2007. En el caso de aditivos e ingredientes de predominio bio, este sector emplea actualmente a menos de 40 personas, lo que explica cierta volatilidad en las brechas y salarios. Si se controla por el nivel de calificación de las personas trabajadoras, las menores brechas de género ocurren en el estrato de calificación media.

¹⁷ La brecha salarial de género es el porcentaje resultante de dividir la diferencia entre el salario de los hombres y las mujeres por el salario de los hombres (ONU Mujeres).

Proyecto 1. Incrementar las capacidades tecnológicas del agro a partir de la adopción de soluciones 4.0

Introducción

Esta sección retoma las ideas principales del trabajo de Lachman *et al.* (2022b), publicado en la serie de documentos de Argentina Productiva 2030. En ese trabajo, se estudia el potencial del agro 4.0 en Argentina, a partir de la elaboración de un diagnóstico del sector y la formulación de propuestas de política pública de orden nacional y provincial para la promoción del ecosistema local.

La revolución derivada de las tecnologías 4.0 es un fenómeno que está transformando, de manera cada vez más acelerada, a todos los sectores económicos a escala global (Albrieu *et al.*, 2020; Rapela, 2019; Basco *et al.*, 2018; y Baldwin, 2016; como se citó en Lachman *et al.*, 2022b). Este nuevo paradigma se basa en la articulación de un conjunto de tecnologías emergentes de propósito general –como los sistemas de integración, los robots inteligentes, la internet de las cosas (IoT por su sigla en inglés), la manufactura aditiva, el *big data*, la inteligencia artificial, la computación en la nube, la simulación de entornos virtuales y la ciberseguridad–, las cuales tienen la capacidad de modificar el modo bajo el cual se llevan cabo diversas tareas productivas –ya sean estas rutinarias, pero en particular las no rutinarias, cognitivas o manuales (Albrieu *et al.*, 2018; y Frey y Osborne, 2017; como se citó en Lachman *et al.*, 2022b).

El concepto de agro 4.0 surge como analogía al de industria 4.0 y alude, de forma genérica, a la aplicación de las tecnologías emergentes recién mencionadas a las diversas cadenas y eslabones productivos que componen la producción de bienes de base biológica. Este paradigma no solo sugiere una transformación digital a lo largo de los diversos eslabones, sino que también impacta de forma directa en cómo se llevan a cabo los procesos y la toma de decisiones. La capacidad de captar datos –en este caso provenientes del mundo físico–, su almacenamiento, capacidad de procesamiento y en particular la aplicación con fines productivos de inteligencia artificial pasa a ser ejes centrales del nuevo modelo.

El uso de tecnologías 4.0 en el agro está asociado a un uso mucho más eficiente de los insumos productivos, lo que reduce el impacto ambiental de la actividad (Saiz-Rubio y Rovira-Más, 2020; Lezoche *et al.*, 2020; De Clercq *et al.*, 2018; y Elijah *et al.*, 2020; como se citó en Lachman *et al.*, 2022b). En esta línea, su adopción puede facilitar el cumplimiento y la certificación de buenas prácticas y/o estándares ambientales, elemento central para la competitividad de la agricultura moderna (Ardila *et al.*, 2019; y Katt y Meixner, 2020; como se citó en Lachman *et al.*, 2022b).

En términos generales, las tecnologías del agro 4.0 pueden ser aplicadas en los procesos productivos a campo (es decir en las fincas), o bien para alimentar procesos en el *upstream* y en el *downstream*.

Hacia adentro, este nuevo paradigma habilita la identificación y segmentación de microambientes (es decir, la detección de microzonas con distinto potencial agronómico), la aplicación selectiva de insumos acorde a estos microambientes –crecientemente a partir de equipamiento autónomo– y el control en tiempo real de todos los procesos de producción. A modo de ejemplo, a partir del proceso de identificación de los microambientes en un lote, se generan recetas productivas sobre qué densidad de siembra optimizaría el potencial productivo de cada espacio, o bien, qué cantidad de fertilizante debería aplicarse, o cómo atender los requerimientos hídricos de cada microambiente. Este espacio de generación de valor económico a partir de las tecnologías 4.0 es complementado con la utilización de equipamiento para la aplicación selectiva de insumos.

Estas tecnologías también generan valor fincas adentro, a partir de los desarrollos que permiten el monitoreo en tiempo real de diversos procesos biológicos y no biológicos. En particular, a partir de la captura de imágenes y su procesamiento mediante algoritmos, los usuarios pueden seguir el proceso de crecimiento de los cultivos y, lo que puede ser aún más importante, disponer de alertas en tiempo real ante el surgimiento de anomalías. Estos servicios suelen posibilitar la detección temprana de plagas o malezas resistentes que estén afectando la performance de los cultivos, de forma tal de derivar en acciones contingentes de forma acelerada. Esta capacidad podría resultar clave para viabilizar una agricultura más sustentable, minimizando el uso de agroquímicos y facilitando su complementación con insumos de origen biológico.

Tranqueras afuera, el agro 4.0 tiene aplicaciones tanto en el *upstream* como en el *downstream*. En el *upstream* estas tecnologías se aplican tanto en el proceso de innovación en el desarrollo de nuevos insumos –semillas, fertilizantes, herbicidas, etcétera– como también en los servicios de venta y postventa de estos productos. Por ejemplo, la *startup* argentina EIWA provee servicios a empresas semilleras a partir del procesamiento de imágenes capturadas por drones, que genera indicadores para el seguimiento de cultivos experimentales (vende estos servicios tanto en Argentina como en Brasil y Estados Unidos). En paralelo, las empresas de insumos también se valen de plataformas digitales que emplean tecnologías 4.0 para apuntalar sus procesos de venta y postventa de insumos, logrando así una mayor fidelización de sus clientes.

En el *downstream* emergen variadas aplicaciones de tecnologías 4.0. Entre los más frecuentes se destacan aplicaciones en sistemas de logística y trazabilidad, contratos inteligentes y “tokenización” de activos (estos centralmente a partir de desarrollos en blockchain), así como diversas aplicaciones en el proceso de monitoreo y comercialización en postcosecha. Por ejemplo, la *startup* argentina ZoomAgri a partir de sensores y algoritmos de inteligencia artificial brinda servicios en la detección de variedades de cebada para la industria cervecera, así como también para la determinación de calidad física de granos de cebada y soja (brinda estos servicios tanto en Argentina, como en Latinoamérica, Europa y Australia).

Si bien hasta el momento el énfasis de las aplicaciones de las tecnologías 4.0 tuvo un sesgo hacia las actividades agrícolas, cabe destacar que también fueron proliferando los desarrollos que generan valor, por ejemplo, en las actividades ganaderas. Entre las aplicaciones más

comunes se destacan los dispositivos que permiten monitorear las actividades llevadas a cabo por los animales (la ganancia de peso, el consumo de agua, las distancias recorridas, etcétera), de modo tal de poder implementar programas de engorde segmentados. Estos desarrollos permiten la generación de valor a partir de la ganancia en eficiencia en los procesos de engorde animal (por ejemplo, en el manejo de pasturas y suplementación), en el monitoreo de la salud animal (incluyendo la salud reproductiva, elemento sensible en la competitividad del negocio ganadero), pero también en actividades *upstream* (para el mejoramiento genético de los animales) y *downstream* (en desarrollos para la trazabilidad).

Panorama global

Al tratarse el agro 4.0 de un paradigma tecno-productivo emergente, cuya definición a nivel internacional todavía no goza de un consenso absoluto, no existe información estadística disponible sobre su injerencia y peso en la economía global. De este modo, no resulta factible cuantificar con precisión, por ejemplo, los ingresos generados por las empresas de esta actividad, sus exportaciones, el empleo generado, los gastos en actividades de I+D o sus principales rutinas para la innovación. Fuentes secundarias estiman el tamaño del mercado global del agro 4.0 en USD 15.880 millones en 2022 y se proyecta una expansión a una tasa de crecimiento anual compuesto del 10,8% de 2022 a 2030, una cifra muy por encima del crecimiento del PIB mundial proyectado del 3% anual¹⁸. Dadas estas importantes limitaciones, se aproxima la relevancia de esta actividad económica a partir de factores de oferta y de demanda.

Análisis desde la oferta: financiamiento *venture capitals* (VC) y *corporate venture capitals* (CVC)¹⁹ en el mundo

Los datos incluidos en esta sección provienen del análisis realizado por Lachman *et al.* (2022b) sobre los informes AgFunder Farm Tech Investment Report (2021a) y Agriculture CVC Insights Report (2021b).

En términos generales, las inversiones de VC en el segmento de emprendimientos basados en tecnologías disruptivas para el vertical agro viene experimentando un proceso de fuerte crecimiento desde 2013, tendencia que se aceleró en 2020 llegando a alcanzar la cifra global de USD 7.900 millones (un 41% más que lo reportado en 2019). Sin embargo, este vertical constituye un nicho pequeño dentro del universo de las inversiones globales de VC: en 2015 representó el 1,6% de las operaciones concretadas (o *deals*) y en 2020 el 2,7%. De todos modos, el ritmo de crecimiento del vertical agro –ya sea en términos de *deals* como de monto total

¹⁸ Datos respectivamente de Grand View Research y OCDE.

¹⁹ Los VC y los CVC son organizaciones que operan como fondos de inversión orientados a ofrecer financiamiento a nuevos emprendimientos. Los CVC se diferencian de los VC por estar asociados a una o más corporaciones, quienes aportan los recursos para las operaciones llevadas a cabo.

captado— es mayor que el promedio de las inversiones en general de los VC, y de allí la ganancia de peso relativo con el correr de los años. En simultáneo, en sintonía con lo observado en otros verticales, a lo largo de los últimos dos años se verificó, tanto en términos de montos invertidos como de número de operaciones, una mayor concentración en *startups* que están atravesando etapas avanzadas de crecimiento.

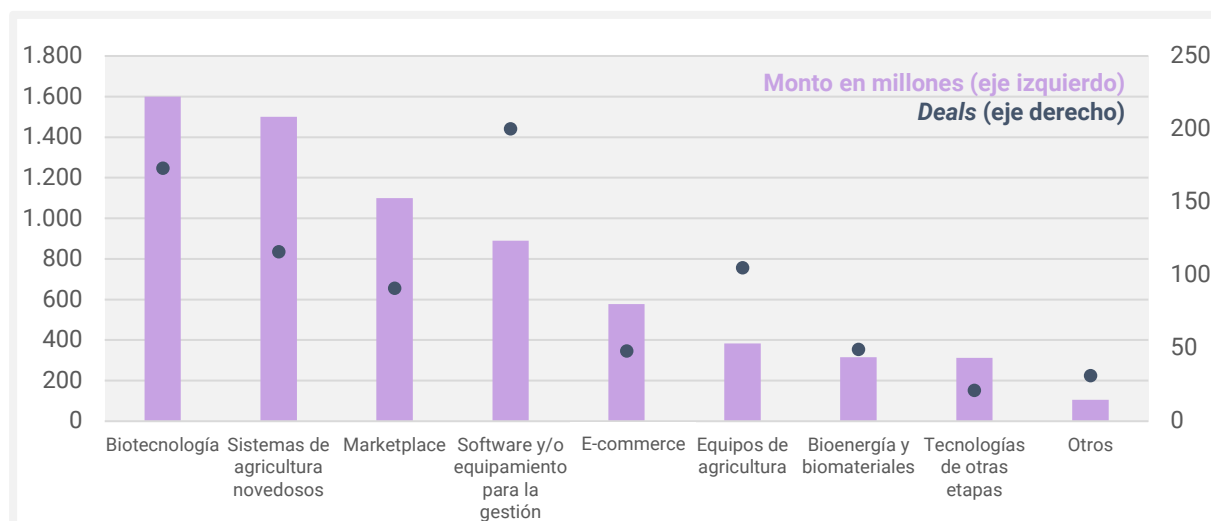
Como podría resultar esperable, Estados Unidos es el líder en términos de la captación de financiamiento de VC en el vertical de agro, concentrando aproximadamente USD 4.000 millones de los USD 7.900 millones invertidos en todo 2020 (con el 35% del total global invertido en el estado de California). Le siguen en orden de importancia el continente europeo (con Francia a la cabeza) y Asia (principalmente India y China), con el 19% y el 16% respectivamente, y lo restante se divide entre Latinoamérica y África. De forma alternativa, si se analiza la ubicación geográfica de los *deals* concretados en este vertical, Estados Unidos concentra el 38%; Europa y Asia se ubican en segundo lugar, con India (9%) y China (6%) como los países destacados; y luego Israel (4%) emerge como otro país de peso. Resulta destacable que, a pesar de ser una región proveedora de alimentos a nivel global en una amplia variedad de cadenas, América Latina está algo marginada en la captación de fondos orientados a financiar el desarrollo de las tecnologías emergentes para este conjunto de actividades. Brasil es el líder regional en términos de la captación de fondos y del número de *deals* concretados: en 2020 captó casi USD 70 millones (por encima de países como Japón, Australia o Suecia) a través de 18 *deals* reportados por AgFunder.

Si se analiza la distribución del financiamiento de los VC según los principales segmentos que componen al vertical, tal como se observa en el gráfico 12, los emprendimientos de biotecnología aplicados al agro y las empresas que desarrollan sistemas de agricultura novedosos (por ejemplo, equipamiento para cultivos hidropónicos, granjas verticales, etcétera) fueron los que lideraron los montos captados en rondas de inversión. Sin embargo, estos dos componentes no pertenecen al mundo 4.0. Por lo tanto, dentro del mundo 4.0, los emprendimientos que desarrollan plataformas de *e-commerce* y aquellos abocados al desarrollo de software y/o equipamiento para la gestión basada en datos en el agro fueron los que más fondos captaron. De hecho, este último grupo de empresas fue el que más operaciones pudo concretar (200 *deals*), superando incluso a las empresas de agrobiotecnología y de sistemas de agricultura novedosos. Eso sugiere que el segmento en cuestión se encuentra experimentando un auge singular a partir de la emergencia de nuevas empresas, las cuales captan en promedio menos fondos en términos absolutos que otros segmentos. Una situación análoga es experimentada por las empresas focalizadas en el segmento de robots inteligentes, con una cantidad de *deals* superior al promedio.

Los VC más activos en las inversiones sobre este vertical en 2020 provinieron de países de ingresos altos (Estados Unidos y países de Europa y Asia).

Con relación al universo de CVC, se verifica un patrón de crecimiento similar al de las inversiones de VC. Dentro de los mayores representantes de este grupo se puede destacar los casos de Cargill, Syngenta Ventures, FMC, ADM, BASF y Leaps de Bayer.

GRÁFICO 12. FINANCIAMIENTO Y DEALS CONCRETADOS EN EL VERTICAL AGRO EN 2020



Fuente: Lachman *et al.* (2022b).

Tal como ocurrió en el grupo de fondos independientes, las inversiones de los CVC de los últimos años también tuvieron una tendencia creciente a concentrarse en rondas de empresas más consolidadas en el mercado –por ejemplo, inversiones en Serie C (típicamente entre USD 50 y USD 100 millones) o incluso en Serie D (más de USD 100 millones)–. De estas rondas participan empresas que tienen más trayectoria en el mercado, al haber participado de forma exitosa en rondas de inversión más pequeñas y al poder demostrar gran potencial de crecimiento.

Estas empresas suelen invertir mayoritariamente en *startups* que desarrollan tecnologías ligadas a sus negocios *core*; por ejemplo, las corporaciones de insumos biotecnológicos suelen invertir en empresas que, a partir de tecnologías 4.0, brindan servicios digitales para un uso más eficiente de los insumos aplicados a campo.

El rol de los incumbentes: las grandes corporaciones de insumos biotecnológicos y de maquinaria agrícola

En las cadenas de producción agropecuarias, en particular en la agricultura, los proveedores de insumos tuvieron siempre un rol protagónico en los procesos de cambio tecnológico. Estos actores, en su mayoría, son grandes corporaciones globales.

El rol de estas corporaciones preexistentes en el sector con relación al agro 4.0 es dual. Por un lado, desde hace unos años estos actores comenzaron a conformar *venture capitals* corporativos de forma tal de invertir en emprendimientos independientes basados en tecnologías 4.0 con potencial de crecimiento de cara al futuro. Por otro lado, estos actores con larga historia en el sector no solo decidieron invertir en terceras empresas emergentes, sino que también pasaron a ser protagonistas en el desarrollo y oferta de tecnologías 4.0.

Recuadro 1. El caso de la compra de Bear Flag y Blue River Technologies por parte de John Deere

En agosto de 2021 John Deere compró la empresa Bear Flag Robotics por USD 250 millones. Esta *startup*, fundada en 2017, desarrolló una serie de tractores autónomos, los cuales recolectan información para hacer análisis predictivo y ayudar a la planificación productiva a campo. El tractor puede ser operado desde un lugar remoto, pudiendo ser controlado y monitoreado en tiempo real todo lo que está sucediendo, reduciendo así los costos y mejorando los rendimientos. La *startup* también destaca que sus desarrollos tecnológicos reducen la dependencia de mano de obra escasa, reduciendo así costos laborales por lote, y previenen lesiones y accidentes.

Otra compra notoria fue la de Blue River Technologies en 2018 por USD 305 millones, también por parte de John Deere. Blue River es una *startup* fundada en 2011 que se especializó en el desarrollo de robots inteligentes aplicados al agro. El principal producto de esta empresa emergente es su tecnología *see and spray*, un robot que se monta al tractor, que detecta malezas y hace una aplicación de herbicidas focalizada, reduciendo así el uso innecesario de este insumo.

Estas empresas, por lo general, ofrecen algún tipo de equipamiento y/o servicios basados en tecnologías 4.0. Las empresas de maquinaria agrícola e implementos iniciaron antes su incursión en el mundo 4.0 a partir del desarrollo de dispositivos crecientemente interconectados y/o con cierto grado de autonomía para la realización de ciertas tareas. Por el contrario, las empresas de insumos biotecnológicos ingresaron a este mundo más recientemente, y con una estrategia fuertemente marcada por la compra de startups independientes.

Tanto las empresas de maquinaria como de insumos biotecnológicos para el sector fueron lanzando sus plataformas para la gestión de los datos generados a campo entre 2017 y 2019 en promedio,²⁰ años para los cuales la oferta de estas tecnologías por parte de empresas independientes ya era notoria en el mercado. Este salto tecnológico, que implicó para los dos grupos de empresas moverse de sus negocios *core*, fue dado a través de la compra de empresas independientes, como también a partir de la apertura de divisiones internas para el desarrollo y/o proceso de mejoras de las plataformas.

El lanzamiento de plataformas digitales estuvo relacionado, por lo menos en su etapa inicial, con el fin de promover un uso más eficiente de sus productos *core*. Dada esta complementariedad, la utilización de estas plataformas suele estar bonificada a partir de la compra de productos por un período específico –por ejemplo, la duración de una campaña–. A su vez, en estas plataformas los productores pueden acceder a herramientas de prescripción que se ajustan a la cartera de productos que venden estas empresas. Por ejemplo, en el caso de las empresas de biotecnología moderna, le permiten al productor que diseñe su estrategia

²⁰ En esos años las empresas tendieron a lanzar sus estrategias de forma explícita en lo que respecta al paquete de tecnologías 4.0, es decir equipos que recolectan datos y plataformas digitales a través de las cuales los usuarios pueden visualizar y emplear esos datos para la toma de decisiones.

de siembra o fertilización adaptada a las condiciones de los microambientes a partir de los productos que esta misma empresa ofrece en el mercado.

Estos servicios de venta también tienden a ser acompañados por servicios de posventa. Por ejemplo, ante la detección de una plaga en una parte del cultivo, el productor va a poder interactuar con asesores de la empresa biotecnológica para recibir asistencia técnica sobre cómo abordar el problema identificado. En paralelo, las empresas de maquinaria agrícola podrán usar estas plataformas para anticipar a usuarios específicos si alguno de sus equipamientos comenzó a reportar señales de posibles fallas.

Toda la información que estas plataformas van recolectando de sus usuarios también tiende a ser utilizada para la fidelización de estos. Con el pasar de las campañas, los productores que utilicen el paquete tecnológico completo de una empresa podrán disponer de la información de años previos, insumos que podrán ser utilizados

–a partir de tecnologías 4.0– para mejorar las prescripciones agronómicas de campañas futuras.

Si bien las firmas de maquinaria agrícola ya disponían de centros de I+D ligados al desarrollo tecnológico de robots inteligentes, IoT, etc., al igual que las empresas de insumos biotecnológicos comenzaron a abrir divisiones especializadas en el desarrollo de plataformas digitales para proveer servicios especializados a partir de herramientas tales como *big data* e inteligencia artificial. La inclusión de estos centros *in-house* tendió a estar articulada con la estrategia global de estas corporaciones en materia de su división geográfica de las tareas de innovación.

Recuadro 2. ¿Un salto disruptivo en la gestión de la maquinaria agrícola? El caso del DataConnect

La proliferación de múltiples plataformas digitales para la gestión de los datos recolectados a campo derivó en una situación ineficiente para los productores del agro. Dado que un productor puede tener máquinas y/o equipos de diversas marcas, para acceder a los datos y servicios derivados de estos debía entrar a cada plataforma correspondiente, siendo a veces dificultoso o inviable el viraje de datos entre plataformas.

Esto dio pie a la conformación de un proyecto de cooperación conjunto entre las grandes corporaciones del sector –John Deere, CNH (y las empresas bajo su control), CLAAS y 365 FarmNet–, llamado DataConnect, lanzado en 2020. En esta plataforma se integran los datos de todas las maquinarias de estas empresas, lo que permite al usuario un manejo mucho más sencillo y rápido de los datos generados en su campo. A través de esta plataforma se ofrecen cuatro servicios: monitoreo en tiempo real y data histórica de la ubicación de la flota, nivel de combustible de cada vehículo, estatus de la maquinaria en campo, y velocidad del vehículo. Si bien cada empresa sigue manteniendo su plataforma propia, en este espacio digital el usuario puede también acceder a la información de la maquinaria de las otras empresas que conformaron el proyecto de DataConnect.

Un caso singular es la experiencia de Bayer. Esta empresa cuenta con distintos *hubs* de I+D ubicados en Asia, Estados Unidos, Europa y Brasil, por ejemplo, donde desarrolla sus diversos productos para el agro. Si bien esta corporación había comenzado a delegar los programas para

el desarrollo de aplicaciones basadas en inteligencia artificial y *machine learning*, entre otras, en el centro llamado Life Sciences iHUB, ubicado en Silicon Valley y en Langenfeld, Alemania, comenzó a implementar en 2020 una estrategia de relocalización de estos programas. De este modo, en 2021 Bayer anunció la apertura de un *hub* en Varsovia, Polonia, el cual estará focalizado únicamente en tecnologías 4.0. En este *hub* trabajarán aproximadamente 400 personas, entre ellos expertos en inteligencia artificial, ingenieros de software, programadores *full-stack*, y científicos e ingenieros de datos, entre otros.

En paralelo a la adquisición de empresas independientes y al desarrollo *in-house* de tecnologías 4.0, empresas como John Deere, AGCO, Syngenta, Bayer, entre otras, llevan una agenda muy dinámica en lo que respecta a fomentar el desarrollo emprendedor. Esta estrategia suele materializarse a partir de la participación de estas corporaciones en programas de incubación y aceleración de emprendimientos, algunos de los cuales podrán estar asociados a espacios universitarios y *research parks* (o parques de investigación para la ciencia aplicada).

Recuadro 3. La integración a través de los datos de BASF y Bosch

Un interesante desarrollo en 2020 emergió de la mano de la integración de dos gigantes del mundo de los insumos para el sector, BASF (empresa de biotecnología moderna) y Bosch (de equipamiento para la agricultura). El *joint venture* conformado por estas dos empresas estuvo orientado a desarrollar y comercializar un conjunto de soluciones integrales a través de la agricultura digital. La idea de la creación de una nueva empresa conjunta es combinar el *expertise* y las soluciones de Bosch tanto en hardware como en software con la aplicación digital *Xarvio* de BASF. Los dos primeros productos que lanzarán serán una actualización del Intelligent Planting System, originalmente de Bosch, y Smart Spraying, que utilizará sensores de Bosch y el sistema *xarvio* para reducir los volúmenes de herbicidas aplicados en los campos. El Intelligent Planting System (que está disponible, por ejemplo, tanto en Argentina como en Brasil) es una tecnología de sensores aplicados a los implementos de siembra el cual regula la cantidad de semillas, según las prescripciones previas. La articulación de estas empresas a través de la gestión conjunta de los datos recolectados en los campos posibilitará un mejor uso y desempeño de los insumos que sean aplicados a campo.

Don Mario y Bioceres, dos multinacionales de origen local de biotecnología moderna, llevaron a cabo una estrategia distinta a la predominante en las corporaciones globales previamente descritas. En particular, estas empresas se asociaron con *startups* independientes que ya disponían plataformas digitales aplicadas a la agricultura, para ofrecer extensiones de estas. De este modo, Don Mario lanzó al mercado en 2018 la plataforma Cropchain a partir de su asociación con la *startup* local Auravant, mientras que Bioceres se alió con Okaratech, otra *startup* argentina-uruguaya. La plataforma Cropchain ofrece un servicio integral a los usuarios de las semillas de Don Mario, quienes además de poder microambientar sus campos e identificar la genética óptima de Don Mario para cada ambiente (con su correspondiente prescripción de siembra para maximizar el potencial productivo), también pueden realizar el monitoreo de sus cultivos, diseñar estrategias de riego, fertilización, etcétera. Por su parte, Bioceres a través de Okaratech gestiona los convenios con multiplicadores de semillas.

El rol de los *newcomers* o *startups*

A nivel internacional no existen estadísticas que indiquen el número de *startups* que actualmente están brindando servicios basados en tecnologías 4.0 para el agro. Sin embargo, a partir de la revisión de diversos informes de consultoras y/u organismos multilaterales, es posible destacar la existencia de miles de este tipo de firmas de nueva generación (AgFunder, 2021a y Vitón *et al.*, 2018, como se citó en Lachman *et al.*, 2022b).

La proliferación de emprendimientos fue cubriendo todos los segmentos de la cadena –ya sea tranqueras adentro y tranqueras afuera–, sin que sea posible poder identificar algún espacio de mayor atracción que otros. Sin embargo, es posible destacar que el segmento de *e-commerce* o *marketplaces* fue el que mayor financiamiento por parte de VC recibió en 2020 (AgFunder, 2021a, como se citó en Lachman *et al.*, 2022b).

Las *startups* del agro 4.0 fueron ingresando al mercado con una amplia diversidad de propuestas de valor. A partir del desarrollo de capacidades tecnológicas de avanzada en el mundo 4.0, estas firmas fueron las que primero identificaron diversas oportunidades de negocio, para que luego, en algunos casos, las corporaciones del sector entraran a competir. A su vez, a partir de una gestión de los procesos de innovación más ágil –en comparación a los procesos y aprobaciones típicamente necesarios en las corporaciones–, una misma firma puede estar enfocada en múltiples espacios de la generación de valor y luego, con el correr de los años, ir especializándose en nichos específicos.

A continuación, se presenta el análisis de las principales *startups* que capturaron los mayores fondos en 2020, realizado por Lachman *et al.*, 2022b, en base al informe de AgFunder (2021a).

Farmers Business Network (FBN) es una de las firmas de *marketplace* y gestión agrícola de mayor crecimiento en Estados Unidos, fundada en el 2014 a partir de un grupo de productores. Recientemente expandió sus operaciones a Canadá y, a través de la adquisición de Farmsave, desplegó sus operaciones en Australia. Esta firma consiguió la segunda operación de fondos de VC más grande en 2020 relevada por AgFunder, totalizando USD 250 millones. A raíz de sus servicios, los productores comparten información relevada por equipamiento de agro 4.0 en forma anónima. FBN luego ofrece una variedad de servicios a partir de esta información que incluyen reportes e información agregada de precios y tendencias del mercado, entre otras. La propuesta de valor de la empresa está orientada a promover el asociativismo y la transmisión de información entre productores –de forma anónima–, para de este modo poder identificar los planteos agronómicos óptimos, los mejores precios para la compra de insumos, etcétera.

Otro caso destacable es el de XAG de China. En 2007 un grupo de emprendedores formaron la empresa XAIRCRAFT. Desde 2014 se aboca al desarrollo y producción de drones para agricultura y adoptan el nombre XAG. En la actualidad ofrece drones con distintas funciones y sistemas de IoT para agricultura que colaboran en el proceso de gestión, que van desde el monitoreo de cultivos hasta la aplicación de insumos en microambientes. Además, dispone de una plataforma digital que contribuye a la gestión agrícola y a la toma de decisiones productivas

basadas en los datos recolectados por los diversos dispositivos utilizados a campo. En 2020 XAG captó financiamiento por USD 180 millones.

Por su parte, Prospera es una compañía fundada en 2014 en Israel, que provee servicios para cultivos extensivos e intensivos a través del análisis de datos e inteligencia artificial. Si bien la empresa compete en un segmento en el cual proliferaron una gran cantidad de emprendimientos, las capacidades tecnológicas desarrolladas *in-house* en materia de *big data* e inteligencia artificial le permitieron posicionarse como una de las líderes en lo que hace a los servicios de microambientación, desarrollos de prescripciones y monitoreo de los procesos productivos. Esta firma tuvo muy buena aceptación, principalmente en el mercado norteamericano, aunque también fue ampliando sus operaciones en América Latina (sobre todo en México) y en otros países europeos. De hecho, la empresa logró en 2020 un acuerdo de cooperación tecnológica con Bayer, en particular en lo que respecta a los servicios para cultivos intensivos. Para finales de 2020 la empresa fue adquirida por la estadounidense Valmont Industries –líder en el desarrollo de equipos de riego para la agricultura– por USD 300 millones. Esta firma norteamericana ya había invertido en Prospera y firmado convenios para el codesarrollo de tecnologías de gestión en el uso del agua.

Otro caso de interés es la empresa finlandesa de microsátélites aplicados al agro llamada ICEYE, que tiene origen en un proyecto universitario en 2012. En la actualidad ICEYE ofrece servicios de monitoreo de cultivos a través de la captación de imágenes satelitales de alta resolución y frecuencia, disponibles en distintos formatos. A partir del desarrollo y colocación en órbita de una constelación de microsátélites, la firma logró dar un servicio de monitoreo más preciso con relación a otros competidores que utilizan las imágenes satelitales públicas. Se trata de una empresa de microsátélites que desarrolló una unidad de negocios especializada en agro; sin embargo, desde hace unos años también comenzó a incursionar en otras industrias – como la minería–. En 2020 la empresa captó financiamiento por USD 87 millones.

Por otro lado, Indigo Agriculture –empresa radicada en Estados Unidos y con oficinas en Argentina– fue la que mayor financiamiento captó en 2020: USD 360 millones. A su vez, en otra operación consiguió fondos por USD 175 millones. Esta *startup*, que se originó en 2014 a partir de desarrollos biotecnológicos –en particular avances en microbiológicos aplicados a semillas–, avanzó hace unos pocos años a brindar servicios digitales. La apuesta distintiva de cara al futuro está puesta en los “bonos de carbono”. En esta iniciativa los productores que registren sus actividades a través de la plataforma de Indigo podrán certificar sus prácticas sustentables haciéndose así acreedores de bonos de carbono para luego intercambiarlos en el mercado. Si bien esta unidad de negocios está en proceso de formación –todavía no ha sido lanzada al mercado–, desde la empresa ven grandes perspectivas de crecimiento. Cabe destacar que esta unidad de negocio planea ser lanzada también en Argentina.

A nivel regional, los dos emprendimientos que más fondos pudieron recoger son los casos de Leaf en Brasil y Agrofy en Argentina. Leaf, fundada en 2018, es una plataforma que, a partir del procesamiento de grandes volúmenes de datos y herramientas de inteligencia artificial provee diversos servicios para una gestión agrícola más eficiente. Agrofy es un *marketplace* fundado

en 2015 en el cual se pueden comprar y vender diversos productos y servicios para todas las actividades del agro. Ambas han sido destacadas y han captado financiamiento de Capria Ventures, uno de los VC “estrella” de este vertical.

En suma, las capacidades y habilidades en áreas tecnológicas ligadas al mundo 4.0 –así como la posibilidad de entender las demandas del sector agro– por parte del equipo fundador suele ser un aspecto importante en este vertical. El hecho de poder articularse con instituciones de ciencia y tecnología para temas específicos del negocio –por ejemplo, la validación a campo de una tecnología– también contribuye a que estas empresas puedan alcanzar más rápidamente un estadio de madurez, y poder así no solo consolidarse en un mercado específico, sino también salir a competir internacionalmente.

Panorama local

El ecosistema nacional está integrado por diversos actores, de procedencia y roles específicos. Si bien en el centro de este entramado se puede ubicar a las empresas que desarrollan estas tecnologías, existen otros actores que nutren y complejizan la red.

El ecosistema empresario de este sector se compone, por un lado, de empresas de agro 4.0, las cuales están enfocadas al desarrollo de plataformas y/o diversos servicios digitales como su unidad core del negocio, y, por otro lado, de empresas de maquinaria que están enfocadas en el desarrollo de equipamiento y diversas herramientas electrónicas que pueden ir embebidos en la maquinaria agrícola o bien utilizarse de forma independiente a esta.

Mientras que existen un conjunto de valiosas experiencias de formación no tradicional en el campo de las habilidades de programación, las universidades tienen un rol insustituible para la formación de capacidades del más alto nivel, tanto en materia de conocimientos agronómicos como para los desarrollos en tecnologías más avanzadas, como la inteligencia artificial. Además, junto a los organismos públicos abocados al desarrollo tecnológico, tienen capacidades para brindar apoyo directo en el desarrollo de nuevas soluciones.

Otros actores relevantes del ecosistema son los facilitadores, que se componen de instituciones de diverso origen, tamaño y conformación, y llevan a cabo diversas acciones para contribuir a la articulación entre las partes, por ejemplo, relevando demandas tecnológicas de actores específicos de la cadena agro, y transmitiendo estos requerimientos a potenciales proveedores de soluciones a partir de desarrollos 4.0. En este marco, el rol desempeñado por las incubadoras y aceleradoras de emprendimientos, es central en la generación de capacidades empresariales en las etapas incipientes de los emprendimientos. Resulta habitual que en estos espacios no solo los emprendedores logren mejorar aspectos centrales de sus respectivos modelos de negocios y/o de la propuesta de valor, sino que, a partir de la red de contactos que las incubadoras y aceleradoras disponen, los emprendedores puedan obtener usuarios de sus tecnologías o inclusive fuentes externas de financiamiento.

Finalmente, los usuarios constituyen un pilar central de este ecosistema. Esta situación ocurre no solo por su rol de eventuales demandantes de las nuevas tecnologías, sino también por ser actores que desempeñan un rol preponderante en el proceso de aprendizaje de los emprendedores. En algunos casos estos actores también pueden aportar financiamiento en etapas tempranas de los emprendimientos.

Caracterización del ecosistema empresario local

Como se mencionó previamente, el ecosistema empresario del sector abarca, por un lado, empresas y *startups* cuyo núcleo se basa en el desarrollo de tecnologías 4.0 para el agro (en adelante, empresas agro 4.0). Estas empresas desarrollan como actividad principal plataformas digitales, software o servicios informáticos especializados para el agro. Por otro lado, existen empresas de la maquinaria agrícola que han incursionado de alguna manera en el desarrollo de aplicaciones o equipos para la agricultura de precisión (en adelante, “empresas AP”), las cuales desarrollan implementos que son luego utilizados en el campo en el marco del paradigma del agro 4.0.

A partir de las encuestas realizadas por Lachman *et al.* (2021) y Lachman *et al.* (2022a) y de los datos de la Convocatoria Agtech del ex Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Nación, a enero de 2022, se estima que existen 119 empresas agro 4.0, y 23 empresas AP.

Dado que no existen posiciones comerciales que den cuenta de los bienes del vertical agro 4.0 dentro de los insumos informáticos en general, no es posible cuantificar con precisión la actividad de comercio exterior. Sin embargo, según las encuestas realizadas por Lachman *et al.* (2021 y 2022a), en el plano del comercio exterior, la dinámica que presentan las empresas agro 4.0 es destacable, más aún dada su breve trayectoria. De las empresas que declararon tener ingresos al momento de la encuesta, un 41% de las agro 4.0 y el 64% de las empresas de AP mencionaron haber exportado al menos una vez en los últimos tres años.

Asimismo, de dichas encuestas surge que las firmas de agro 4.0 se originaron de forma mucho más reciente que las de equipos de AP. De hecho, mientras que más del 50% de las firmas de agro 4.0 iniciaron sus actividades luego de 2015, más del 64% de las empresas de equipos de AP lo hizo antes del año 2000. Ambos grupos de empresas se caracterizaron por ser casi en su totalidad originadas a partir de capitales nacionales. En promedio, las empresas demoraron entre tres y cuatro años luego de su constitución formal para realizar la primera exportación. En ambos casos, los destinos más comunes de exportación fueron países de la región, principalmente Uruguay, Brasil y Paraguay. Fuera de la región, aunque en un segundo orden de magnitud se destacan las ventas a Estados Unidos, México y España.

Las empresas agro 4.0, prestan una gran diversidad de servicios, aunque con mayor preponderancia de los servicios aplicados puertas adentro de la finca. Estas firmas utilizan diversas fuentes de datos –imágenes satelitales o de drones, datos provenientes de la maquinaria agrícola o de implementos específicos ubicados en los campos– las cuales,

mediante el desarrollo de algoritmos a partir de herramientas de ciencia de datos e inteligencia artificial, son utilizados como insumos para la generación de diversos tipos de servicios.

Por su parte, las empresas AP desarrollan diversos tipos de dispositivos electrónicos o electromecánicos los cuales pueden ser utilizados de forma independiente en procesos de producción a campo, o bien estar embebidos en la maquinaria agrícola. En términos generales, estos dispositivos capturan datos de los procesos productivos, siendo esto insumo para la toma de decisiones a futuro. Cabe destacar que, si bien en el país hay diversos prototipos de robots inteligentes para llevar a cabo diversas tareas a campo, todavía no hay registro de que alguno de estos haya sido utilizado de forma comercial.

Ambos grupos de empresas se caracterizan por sus altos requerimientos de personal altamente calificado y por destinar proporciones sustantivas de sus ingresos al desarrollo de tareas de I+D. En especial, en las firmas de agro 4.0 no solo se requieren trabajadores con formación universitaria, sino que también, a partir de las necesidades ligadas al desarrollo de tecnologías emergentes, suelen emplear a profesionales con posgrados e inclusive con experiencia en investigación académica. Los equipos de desarrollo de estos servicios basados en tecnologías emergentes suelen tener un fuerte componente multidisciplinario -incluyendo ingenieros agrónomos, físicos, matemáticos y diversos profesionales con habilidades avanzadas de programación.

El éxito innovador de las empresas pasa tanto, por el desarrollo de capacidades tecnológicas propias, es decir, trabajadores altamente calificados que puedan diseñar soluciones en los campos de la programación, el *big data*, la inteligencia artificial, etcétera, como por la disposición de usuarios dispuestos a contribuir con el desarrollo de la tecnología a partir del *feedback*. Para esto, las empresas suelen involucrar a productores, instituciones de ciencia y tecnología aplicadas al agro, cámaras de empresas, etcétera, en el diseño y escalado de la tecnología.

Si bien el establecimiento de este tipo de vinculaciones es muy frecuente, en el ecosistema local no hay espacios formalmente constituidos para facilitar a los emprendedores el testeado de tecnologías. A pesar de esto, instituciones tales como INTA, CREA o AAPRESID tienen un rol protagónico en posibilitar que las empresas recién formadas interactúen con técnicos de estas organizaciones o bien, con sus productores asociados (para el caso de CREA y AAPRESID).

En simultáneo, resultan mucho menos frecuentes las vinculaciones con las instituciones de ciencia y tecnología, y entre las mismas empresas del sector. Si bien diversas empresas han podido establecer lazos de vinculación tecnológica con universidades o institutos de ciencia y tecnología especializados en los campos de programación, *big data*, inteligencia artificial, etcétera, esto no es lo habitual en el ecosistema local -exceptuando el caso del INTA, especialmente la estación experimental ubicada en Manfredi, Córdoba-. Una de las empresas que más pudo valerse del entramado de instituciones de ciencia y tecnología para sus procesos de innovación fue la empresa Frontec, la cual brinda, a través de una plataforma digital, diversos servicios tranqueras adentro a productores agrícolas -hoy también con una importante unidad de negocio orientada al sector minero-. Esta firma, que fue creada a partir de un proyecto conjunto entre INVAP S.E y el Grupo Los Grobo (hoy el 100% del paquete accionario pertenece

a INVAP), articuló con instituciones tales como la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) afiliado al CONICET, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), entre otras. De hecho, junto con el CIMA y el SMN realizaron una compra conjunta de una computadora de alto rendimiento para el desarrollo de simulaciones y la calibración de modelos de inteligencia artificial.

Por último, también resulta poco frecuente el despliegue de proyectos de innovación en conjunto entre las empresas agro 4.0 y las de maquinaria agrícola. Si bien hubo algunas iniciativas aisladas, la vinculación entre estos dos mundos empresariales potencialmente complementarios (al menos, conceptualmente) estuvo lejos de ser la óptima. De hecho, tal como se presentó anteriormente, a escala global las empresas de maquinaria agrícola e implementos comenzaron un fuerte proceso de reconversión productiva, incorporando servicios basados en tecnologías 4.0. Esto supone un renovado desafío para los competidores locales de este sector, quienes podrían aprovechar las capacidades tecnológicas existentes en las firmas *agtech* para poder rápidamente salir al mercado con productos análogos a los de las grandes corporaciones globales de esta industria. Indudablemente el desarrollo de este tipo de sinergias aún vacantes constituye un espacio de intervención de política pública sobre el cual se volverá en la sección final de este documento. En línea con lo que hoy hace entre las propias *agtech* la Dirección de Innovación de la Secretaría de Agricultura, instituciones tales como CIDETER o INTA EEA Manfredi podrían ser organizaciones que contribuyan a canalizar este tipo de iniciativas.

Los obstáculos al surgimiento y crecimiento de las empresas

Existen dos grandes grupos de obstáculos que estarían limitando el crecimiento potencial de las empresas del sector. Unos son frutos de la inestabilidad macroeconómica y los otros son propios de las dinámicas sectoriales.

Desde el lado de la coyuntura macroeconómica, los problemas ya son conocidos y afectan de modo transversal a los diversos sectores económicos. En el presente, uno de los más importantes se asocia a las restricciones cambiarias. Dado que muchos de los trabajadores especializados en las áreas de programación, *big data*, inteligencia artificial, etcétera, que típicamente son contratados por las empresas de agro 4.0 pueden ahora trabajar para empresas en el extranjero, el problema de la falta de recursos humanos, de por sí existente a escala global, se agudiza. En otras palabras, la brecha cambiaria refuerza la desventaja de las firmas locales en la competencia por esos recursos.

En paralelo, algo que resulta especialmente crítico para las *startups* es que suelen enfrentarse a grandes dificultades para acceder a fuentes de financiamiento externas. En comparación con lo que acontece en los países desarrollados, aquí resulta habitual que los emprendedores en etapas tempranas deban utilizar recursos propios para iniciar sus actividades. De hecho, la reciente consolidación en el país de los diversos programas de apoyo con capital semilla al desarrollo de tecnologías 4.0 resulta un aspecto positivo de cara al futuro. En paralelo, los programas de cofondeo con aceleradoras (hoy desactivados) también podrían ser valiosos

instrumentos para posibilitar que un mayor número de empresas pueda acceder a recursos financieros de forma rápida y así desarrollar tecnología 4.0 en períodos cortos de tiempo.

Con relación a los problemas del ecosistema, se destaca: i) la poca permeabilidad del sistema de ciencia y tecnología para interactuar a la hora de recibir asistencia en el desarrollo de tecnologías; ii) la baja integración para el desarrollo conjunto de tecnologías entre las empresas del ecosistema o para el aprovechamiento de oportunidades comerciales específicas; iii) escasa integración del ecosistema local a las dinámicas económicas globales, y; iv) los bajos niveles de adopción de estas tecnologías 4.0. Sobre estos puntos y otros aspectos mencionados que podrían derivar en el diseño de políticas públicas para el sector volveremos al finalizar esta sección.

La poca vinculación entre las empresas e instituciones de ciencia y tecnología focalizadas en tecnologías emergentes dentro del paradigma 4.0 no responde a la falta de interés de alguna de las partes, sino más bien a diversas rigideces que limitan este tipo de vinculaciones. Por ejemplo, referentes de diversas empresas mencionaron que en etapas tempranas de la conformación del emprendimiento hubiese sido de gran utilidad poder acceder a algún experto en áreas de tecnologías 4.0, de forma tal de recibir apoyo no para el codesarrollo, sino para guiar y orientar al equipo emprendedor en el armado de una “hoja de ruta” para el diseño y escalado del producto o servicio. Si bien los fundadores de estas empresas suelen tener conocimientos avanzados para el desarrollo de estas tecnologías, su relativa corta experiencia o el hecho de estar muy especializados en algún tema específico (por ejemplo, conocimientos avanzados en inteligencia artificial pero poca experiencia en programación en áreas de *back-end*) limita la disponibilidad de un plan de desarrollo para la solución que quieren lanzar al mercado. Esto redundaría en que se generen errores, fallas de cálculo o grandes dificultades para el escalamiento de la solución tecnológica. En etapas iniciales estas fallas pueden llegar a ser letales para el emprendimiento, en particular si se dispone de escasos recursos financieros.

Tal como se mencionó, el establecimiento de vínculos entre empresas del sector para el desarrollo conjunto de soluciones 4.0 –por ejemplo, entre empresas agro 4.0 y de equipos de AP– también resulta poco frecuente. Sin embargo, la articulación entre estas empresas puede derivar en el desarrollo de grandes sinergias dentro del ecosistema. En esta línea, el proyecto Low Carbon and Circular Economy Business Action (LCBA) Latam, financiado por la Unión Europea y apoyado por los gobiernos subnacionales de Santa Fe y Córdoba, persigue el objetivo de impulsar la digitalización e innovación del sector de maquinaria agrícola argentino a través de su vinculación con oferentes de soluciones europeos.

Uno de los ejemplos exitosos en esta dirección es el resultante entre Don Mario y Auravant, tal como fue detallado anteriormente. A su vez, la empresa GeoAgro –una de las primeras *agtech* nacionales, que brinda servicios análogos a Frontec o Auravant–, también tuvo por iniciativa propia desde hace algunos años una dinámica agenda en el establecimiento de vínculos con otras empresas del sector. Por ejemplo, se ha vinculado con una larga serie de empresas de maquinaria agrícola y de equipos de AP de forma tal de poder brindar servicios en conjunto a partir de mejoras en la interoperabilidad entre los equipos de AP y la plataforma de GeoAgro.

Por último, el ecosistema local no se encuentra plenamente integrado a las dinámicas que ocurren en el vertical del agro 4.0 a escala global. En primer lugar, el hecho de que los mayores fondos de VC y CVC no estén presentes en el país limita el acceso a financiamiento de mayor volumen para las empresas locales. Si bien hay casos de firmas que han podido acceder a estos recursos, todas lo hicieron fuera del país –por ejemplo, radicando el *holding* en algún país en el extranjero–. Esto indudablemente pone una limitante para el proceso de crecimiento y expansión de las empresas ya en etapas más avanzadas. En segundo lugar, Argentina no estaría siendo un país de destino por parte de las grandes corporaciones del sector para radicar sus centros de servicios para el desarrollo de tecnologías 4.0. Luego, en tercer lugar, podría ser un aspecto beneficioso para el despliegue internacional de las firmas locales del agro 4.0 que puedan contar con apoyo institucional –por ejemplo, desde Cancillería– para facilitar la apertura de nuevos mercados y, de este modo, poder obtener clientes en el exterior, o bien ampliar las posibilidades de recibir financiamiento de fondos extranjeros, poder vincularse con otras empresas del sector para codesarrollar tecnologías, etcétera. En este sentido, la Dirección de Innovación de la Subsecretaría de Agricultura busca asesorar y/o vincular con asesores especializados a las empresas *agtech*, para ayudarlas a superar dificultades tecnológicas o regulatorias que limitan su acceso a nuevos mercados. Esta Dirección también se encuentra en diálogo para la colaboración con países como Alemania y Brasil. Por caso, en el marco de la colaboración con Alemania, se ha proyectado una plataforma a través de la cual las empresas *agtech* que requieran superar un reto tecnológico podrán vincularse con expertos de ambos países para mejorar sus soluciones, y volverlas más flexibles y con mayores posibilidades de globalizarse.

Los “facilitadores” y articuladores del ecosistema del Agro 4.0

Por el lado de los “facilitadores” se pueden destacar diversas instituciones que están orientadas a promover la sinergia del ecosistema, por ejemplo, a través de proyectos específicos que acerquen a los oferentes de tecnologías 4.0 con sus eventuales demandantes.

En el Polo Tecnológico de Rosario (PTR), se conformó recientemente la llamada Comisión Agtech con el objetivo de acercar a las empresas del Polo a las necesidades de los productores. Para ello han realizado un relevamiento de demandas tecnológicas insatisfechas de forma conjunta con dos estaciones experimentales del INTA de la Provincia de Santa Fe, con quienes firmaron un acuerdo de colaboración.

Por su parte, BCR Innova es un área creada en el año 2019 dentro de la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR), Argentina, con el objetivo de fomentar la innovación y el desarrollo de emprendimientos a partir de nuevas tecnologías, ya sea de base 4.0, pero también abarcando a las biotecnológicas y de *fintech*.

También en Santa Fe, en agosto de 2021, el Gobierno de la Provincia de Santa Fe y la empresa privada Bioceres S.A. firmaron un convenio marco de colaboración para la creación de un fondo (fideicomiso financiero privado) con el fin de apoyar a 500 *startups* de base científico-tecnológica en los próximos 10 años. Este convenio fue llamado SF500, invierte en etapas semilla, de aceleración y expansión y no se limita a proyectos de la provincia de Santa Fe, sino

que pueden provenir de otras partes del país. El mecanismo consiste en una coinversión entre Estado (10%) y privado (90%) de USD 10 millones anuales durante 10 años, con foco en *biotech* y *agtech* (Gonzalo *et al.*, 2022).

El Córdoba Technology Cluster (CTC), además de funcionar una incubadora de proyectos dentro de los cuales hubo *startups* focalizadas en agro 4.0, también llevan diversas acciones para facilitar la vinculación entre oferentes y demandantes de soluciones tecnológicas basadas en este paradigma emergente. Desde 2017, y en el marco de un acuerdo con la Asociación de Fabricantes de Maquinaria Agrícola y Agrocomponentes de Córdoba (AFAMAC), la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Córdoba y el INTA Estación Experimental Manfredi, se organizaron diversos programas y eventos orientados a la identificación de gaps tecnológicos que podrían ser abordados a partir de soluciones planteadas por las empresas que conforman el CTC.

La promoción en el desarrollo de sinergias dentro del ecosistema emprendedor del agro 4.0 emerge como un aspecto central sobre el cual debería apuntar la política pública. Si bien las experiencias del PTC y CTC tuvieron resultados exitosos en materia del acercamiento de los actores, desde ambas instituciones se manifestó que esto ocurre a un nivel muy por debajo del óptimo. Factores tales como la falta de financiamiento o la incertidumbre sobre la escalabilidad de los proyectos por lo general operan como un desaliento a la formación de estas vinculaciones.

En Argentina existen incubadoras y aceleradoras que están únicamente focalizadas en promover el crecimiento de *startups* que desarrollen soluciones sobre el vertical del agro 4.0, como CREALab y The Yield Lab.

CREALab dispone de una amplia red de ingenieros agropecuarios especializados en diversas áreas –sistemas pastoriles, riego, fertilización, manejo de malezas, alimentación animal, etcétera–. Estos técnicos (que intervienen según demandas puntuales de las empresas incubadas), además de su formación profesional, tienen una gran cercanía a los problemas productivos que enfrentan los productores agropecuarios miembros de CREA, lo que los nutre de conocimientos, tanto explícitos como tácitos, relevantes para el éxito de nuevos emprendimientos.

Según el Directorio de Gestores de Fondos de Capital Privado, Emprendedor y Semilla elaborado por la Asociación Argentina de Capital Privado, Emprendedor y Semilla (ARCAP, 2021, como se citó en Lachman *et al.*, 2022b), hay en Argentina, a 2021, 28 fondos de capital emprendedor y/o semilla. Dentro de estos fondos relevados por ARCAP, más de la mitad (17) tienen entre sus verticales de interés al agro. De todas formas, apenas dos de ellos, Glocal y The Yield Lab, se concentran exclusivamente en este sector.

Glocal es una aceleradora ubicada en Rosario que comenzó sus actividades en 2018 y administra dos fondos por un total de USD 11 millones. Actualmente cuenta con ocho inversiones en portfolio en los emprendimientos Auravant, Kilimo, Agrofy, Zoomagri, Eiwa, Nanótica, Rubikia, Circular, Simpleat y Ucrop.it. Glocal realiza inversiones que van de los USD 25.000 a los USD 500.000 en semilla, preserie A y serie A. Un hecho a destacar es que son

una de las 10 aceleradoras tecnológicas que participan del Fondo Aceleración de la Subsecretaría de Emprendedores en el marco del FONDCE. Bajo este programa realizaron seis inversiones por USD 275.000, que fueron igualadas por el Ministerio de Desarrollo Productivo.

Otro punto para destacar es la presencia de fondos de CVC que declaran tener como vertical de interés al agro. Según los datos provistos por ARCAP hay cuatro de estos operando en nuestro país: Kamay Ventures, Globant Ventures, Grupo Murchison y Softbank Latin American Fund. De todas maneras, solo uno (Kamay Ventures) ha realizado inversiones en el vertical del agro 4.0. Este CVC cuenta con tres fondos y realiza inversiones entre USD 50.000 y USD 300.000.

El relevamiento realizado por ARCAP muestra que el ecosistema nacional dispone de una nutrida oferta de fondos de inversión, los cuales son centrales para el financiamiento de proyectos ligados a tecnologías emergentes. Sin embargo, en el país aún no han ingresado los VC y CVC más grandes a escala global que estén liderando la agenda de inversiones en el vertical de agro 4.0. Promocionar su ingreso podría beneficiar ampliamente a las empresas de este ecosistema. Si bien esto conlleva el riesgo de una internacionalización temprana que lleve a que muchas de las capacidades de estas *startups* se terminen localizando mayoritariamente en ecosistemas más desarrollados, lo cierto es que la ausencia de esos actores en el país puede incluso elevar aún más ese riesgo, induciendo a las startups a ir en su búsqueda en otros países. En todo caso, la posibilidad de mitigar estos riesgos pareciera estar más asociada al fortalecimiento del ecosistema local y a las condiciones que se pudieran establecer para las *startups* potencialmente coinvertidas con fondos públicos.

La adopción de tecnología de agricultura de precisión en Argentina

Debido a las fuentes disponibles de información, el análisis del despliegue nacional de la adopción de tecnologías de agro 4.0, debe circunscribirse a las prácticas de agricultura de precisión (AP).

En Argentina el estudio más reciente y preciso corresponde al Censo Nacional Agropecuario (CNA) llevado adelante por el INDEC en el año 2018, el cual incluyó a 249.000 establecimientos agropecuarios (EAP). Considerando todos los EAP a nivel nacional, la adopción de AP estuvo alrededor del 4%. Se destaca que los productores de menor tamaño son los que adoptan tecnologías de AP con menor frecuencia, siendo estos valores sustantivamente más altos, por ejemplo, en explotaciones con dimensiones entre las 500 y 10.000 hectáreas. A su vez, a nivel geográfico, se observa que la adopción es más intensa en Córdoba (13%), Santa Fe (11%) y Buenos Aires (7%).

Diversos factores confluyen para ralentizar el proceso de adopción de nuevas tecnologías. Desde el punto de vista macro, y pese a que en muchos casos se trata de tecnologías “ahorradora de costos”, la elevada volatilidad de las principales variables tiende a aplazar inversiones cuyos resultados se advierten a mediano y largo plazo, dado que el aprovechamiento de estas nuevas tecnologías demanda un proceso de aprendizaje que tarda en consolidarse. Mientras que desde el punto de vista meso y microeconómico influyen: i) la falta de información y/o desconfianza

hacia las nuevas tecnologías 4.0; ii) la falta de madurez en las tecnologías 4.0, y; iii) las limitaciones en el uso a partir de una pobre conectividad en áreas rurales.

En cuanto a la falta de información y/o desconfianza, el sector cuenta con una vasta red de actores institucionales capaces de contribuir al proceso de difusión, pero presenta un acotado universo de acciones tendientes a facilitar la experimentación con las nuevas tecnologías, tal como se plantea hoy en día para las empresas del ámbito manufacturero. Estos espacios servirían también para sopesar las consecuencias de la falta de madurez de las tecnologías 4.0 por la que malas experiencias iniciales con ciertas tecnologías que recién eran lanzadas al mercado pudieron derivar en sesgo negativo sobre todo el paquete 4.0. En suma, la evaluación y certificación del desempeño de estas tecnologías por parte de autoridades nacionales competentes –como el INTA o el INTI– también podría ser una alternativa para generar mayor consenso al respecto.

Con respecto a las limitaciones existentes en torno a la conectividad en áreas rurales, las conclusiones son ambiguas. La amplia mayoría de las tecnologías 4.0 hoy disponibles en el mercado están adaptadas para operar sin conexión a alguna red de telecomunicaciones, transfiriendo los datos en algún momento posterior, por ejemplo, cuando el productor se encuentre en algún lugar con acceso a este servicio público. Sin embargo, también hay diversas funciones y tareas específicas que los dispositivos 4.0 solo son capaces de llevar a cabo si existe algún tipo de red que les permita, por ejemplo, transmitir información entre un grupo específico de equipos. Para esto, algunos productores optan por comprar de forma directa equipos que les permitan tener esta conexión entre dispositivos en un radio determinado.

Estrategias empresarias globales y ecosistema local: implicancias para la política pública

En términos generales, en la actualidad la oferta internacional de soluciones para el agro 4.0 proviene tanto de *startups* independientes como de grandes corporaciones que ven en estas herramientas centralmente una forma de potenciar sus productos *core*. Tanto las empresas de maquinaria agrícola e implementos como las firmas focalizadas en el desarrollo de insumos biotecnológicos para el sector comenzaron en los últimos años a lanzar diversas herramientas del agro 4.0.

Si bien en su amplia mayoría la oferta de plataformas digitales por parte de las grandes firmas está muy enfocada en lograr un uso más eficiente de sus productos, iniciativas tales como el DataConnect –a través del cual los usuarios de diversas marcas de maquinaria agrícola pueden disponer en una misma plataforma la información generada por cada una de estas– muestran que las estrategias de estas grandes firmas pueden volverse más sofisticadas de cara al futuro. Esto podría derivar en que en los próximos años los servicios basados en tecnologías 4.0 puedan pasar a constituir unidades de negocio relevantes para estas corporaciones.

Esto abre dos ventanas de posibilidades para nuestro país. En primer lugar, resulta evidente que las empresas locales de insumos para el sector –ya sean estas firmas de biotecnología moderna o de maquinaria e implementos agrícolas– podrían adoptar estrategias similares y complementar sus productos *core* con otros desarrollos provenientes del mundo 4.0. Esto

podría lograrse a partir de desarrollos *in-house*, mediante la compra de empresas independientes, o bien, tal como lo hicieron Don Mario y Bioceres, mediante la alianza con terceras partes. En segundo lugar, el país cuenta con una masa crítica en términos del capital humano requerido para desarrollos en tecnologías 4.0, por lo cual podría apuntar también a diseñar una estrategia activa para la apertura de centros de I+D en estas disciplinas.

Por otro lado, las *startups* independientes fueron ocupando a partir de desarrollos propios los múltiples segmentos de la cadena de valor. Sin embargo, segmentos tales como las plataformas de *e-commerce* o el desarrollo de plataformas para la gestión agrícola a partir del procesamiento de grandes volúmenes de datos tuvieron mayores aportes de financiamiento de fondos de inversión. A su vez, mientras que algunas de estas empresas salen al mercado para competir con propuestas de valor aplicadas a nichos muy específicos, otras buscan posicionarse en múltiples segmentos, por ejemplo, a partir de robots inteligentes para la realización de múltiples tareas a campo.

Estas *startups* son las que estuvieron y siguen estando a la vanguardia del desarrollo de soluciones para el agro a partir de tecnologías 4.0. Este tipo de conformación empresarial tiene rasgos estructurales que las destacan de las grandes corporaciones –como su versatilidad y velocidad para encontrar soluciones a problemas específicos que se identifiquen en el mercado–, motivo por el cual son un eje central de este nuevo paradigma. Poder recibir apoyo externo en aspectos críticos del desarrollo y/o validación de las tecnologías (en universidades, centros tecnológicos, etcétera), participar en espacios de incubación y/o aceleración, así como poder captar el financiamiento requerido para poder llevar a cabo un rápido proceso de crecimiento, resulta vital para el florecimiento de este tipo de emprendimientos.

Las grandes corporaciones preexistentes del sector se valieron abiertamente de la generación de capacidades tecnológicas en estas *startups* (por ejemplo, mediante la adquisición) ya sea para dar sus primeros pasos en el mundo del agro 4.0, o bien, para complementar sus propios desarrollos *in-house*. En suma, estas corporaciones también comenzaron a tener un rol activo en el crecimiento de las *startups* independientes, por ejemplo, a través de la conformación de fondos de inversión para volcar recursos en estas empresas emergentes. Atraer el interés de esos fondos de *corporate venture capital* y “curar” estratégicamente las *startups* con las que se los conecta a partir de las capacidades de vinculación con que cuenta el propio Estado, se vuelve parte del portfolio de acciones a desplegar por parte de la política pública.

La transformación paradigmática que apenas ha comenzado a atravesar el agro a partir de la adopción del paquete de tecnologías 4.0 no solo redundará en un menor impacto ambiental de la actividad, sino también en un incremento de la productividad agrícola, tanto por la vía de la reducción de costos por menor uso de insumos, como por el aumento de los rendimientos producto de una aplicación más inteligente de los mismos.

Recuadro 4. EMBRAPA y el despliegue de múltiples espacios para la promoción de actividades privadas en el agro 4.0

En Brasil, EMBRAPA emerge como un baluarte del ecosistema agro 4.0 a partir de una nutrida agenda de programas de apoyo al ecosistema. Este rol protagónico y neurálgico para el ecosistema local fue posible a partir de la construcción de diversos espacios orientados tanto al desarrollo interno de tecnologías que contribuyan al sector, así como también mediante múltiples programas de articulación con el entramado productivo, e inclusive a través del aporte de financiamiento para privados puedan avanzar en ciertos proyectos específicos.

Entre los instrumentos ligados al agro 4.0 esta institución ofrece:

1. Programas de innovación abierta (Ideas for MILK, Ideas for PORK, Ideas for Soja).
2. Programas de incubación y aceleración (Pitch AgTech Embrapa, Soja 4.0, Techstartad –en conjunto con VentureHub–, y IA²MCTIC con Baita Aceleradora y el Instituto El Dorado).
3. Campos experimentales para el testeo y validación de tecnologías.
4. Apoyo al financiamiento a la I+D, desarrollo o compra de software, etcétera (por ejemplo, el programa FINEP Conecta de forma conjunta con el FINEP, el cual aporta hasta R\$ 100 millones a tasas subsidiadas).
5. Desarrollos *in-house* en temas de agro 4.0 (por ejemplo, el caso del laboratorio Lanapre orientado a estudiar y desarrollar soluciones para el agro basadas en tecnología 4.0, la Unidad de Informática Agropecuaria, la Unidad de Instrumentaciones); estas áreas llevan a cabo, además de proyectos internos, codesarrollos con terceros.
6. Bienes públicos (API), en particular a partir de la plataforma AgroAPI.

La plataforma AgroAPI cuenta con datos y modelos agropecuarios para que productores, instituciones públicas y *startups* puedan acceder a ellos y desarrollar soluciones digitales en el marco del agro 4.0 como control, manejo y previsión de la producción, previsión del clima, manejo y control de plagas, manejo de riesgo crediticio y de seguro rural, identificación de nuevos clientes, entre otros. Dentro de la plataforma AgroAPI de EMBRAPA se destacan tres desarrollos específicos orientados a proveer APIs al resto de los actores del sector: Agritec, SATVeg, y SmartSolos. Agritec recopila información para la gestión de cultivos agrícolas. Incluye la oferta de datos y modelos sobre: (i) tiempo ideal de siembra para decenas de cultivos, basado en la zonificación agrícola de riesgo climático; (ii) lista de los cultivares más adecuados para 12 cultivos diferentes; y (iii) indicación de fertilización y corrección de suelo de acuerdo con resultados previos de análisis de suelo, pronóstico de rendimiento y condiciones climáticas antes y durante la cosecha para cinco cultivos.

Por su parte, el Sistema de Análisis Temporal de Vegetación (SATVeg) es una herramienta web desarrollada por la unidad de Informática Agropecuaria de EMBRAPA, destinada a la generación y visualización de perfiles temporales de índices vegetativos NDVI y EVI para Brasil y toda Sudamérica, con el objetivo de apoyar a la gestión territorial y las actividades de seguimiento agrario y ambiental. Por último, SmartSolos provee APIs que permiten la clasificación de perfiles de suelos en Brasil con base en las reglas del Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos (SiBCS), la taxonomía oficial para la clasificación de suelos en Brasil. A partir de los datos relevantes para la clasificación del suelo, esta API es capaz de clasificar los perfiles en los primeros cuatro niveles de SiBCS.

La generación y provisión de estos bienes públicos hacia todo el ecosistema de los agronegocios en Brasil da cuenta de las capacidades internas de EMBRAPA para impulsar el desarrollo del agro 4.0. Estos desarrollos resultan posibles a partir de las acciones llevadas a cabo en dos unidades descentralizadas: la unidad de Informática Agropecuaria y la unidad de Instrumentaciones. Estas dos unidades cuentan con capacidades técnicas y científicas para el desarrollo de soluciones digitales como *blockchain*, desarrollo de aplicaciones móviles, inteligencia artificial, sistemas web con información para los productores (clima, datos georreferenciados, etcétera), nanotecnología, sensores, biosensores, instrumentos para agricultura de precisión, monitoreo de datos e información, manejo poscosecha, etcétera.

La distribución territorial de los beneficios resultantes de ese aumento de productividad dependerá en buena medida de la capacidad que se tenga, no solo para incorporar esas tecnologías sino también para desarrollarlas.

Argentina tiene la oportunidad de ser parte de ese proceso. Por un lado, su escala como potencial demandante le ofrece una ventaja para acelerar el desarrollo de nuevas soluciones a partir de la interacción con los usuarios. Por el otro, cuenta con una base empresarial conformada por un conjunto de empresas que ya habían incursionado en la denominada agricultura de precisión y un grupo creciente de *startups*. También cuenta con un entramado institucional de apoyo al desarrollo y la difusión de soluciones consolidado, que sin embargo requiere de ajustes para adecuarse a las características (bases de conocimiento, dinámicas de desarrollo, infraestructuras y equipamiento de soporte) del nuevo paquete tecnológico.

Sin embargo, el escenario tampoco está exento de amenazas. En particular, la necesidad de consolidar paquetes de información de diverso origen y la posibilidad de que ese creciente caudal de información tienda a centralizarse en plataformas para la gestión del conocimiento dominadas por las grandes empresas globales, puede poner en jaque, de no mediar estrategias de coordinación más explícitas –que incluyan pero que trasciendan la generación de protocolos comunes–, la estrategia de especialización que a hoy despliegan las firmas nacionales del complejo metalmeccánico abocado a la mecanización agrícola.

Actualmente las instituciones de ciencia y tecnología constituyen un valioso actor del ecosistema. Su principal rol está en la formación de los recursos humanos que luego, de forma individual, desarrollan tecnologías 4.0 en el sector productivo. Si bien en numerosas de estas instituciones hay programas de avanzada en el desarrollo propio de tecnologías 4.0 para el vertical del agro, en términos generales, estas iniciativas están escasamente articuladas con el resto de los actores. Es justamente en el ámbito de la vinculación y la transferencia tecnológica donde el subsistema de ciencia y tecnología podría pasar a tener objetivos más claros, con un rol más protagónico en el acompañamiento del desarrollo de capacidades tecnológicas en una empresa. Se destacan cuatro espacios formalmente vacantes en los cuales las instituciones de ciencia y tecnología podrían ser un pilar en el marco de una estrategia nacional para el desarrollo del agro 4.0: i) programas de mentorías en el desarrollo tecnológico; ii) habilitar espacios para el codesarrollo de tecnologías; iii) de testeo y validación de tecnologías, y; iv) mejorar la oferta de bienes públicos.

Los programas de mentorías podrían ser un valioso espacio para facilitar a empresas o emprendedores que estén avanzando en etapas tempranas del desarrollo de tecnologías 4.0, para poder recibir guías específicas y consejos de cómo avanzar con estos esfuerzos. Los institutos de ciencia y tecnología en el ámbito local no suelen disponer de espacios formales para, en lugar de ofrecer el codesarrollo de una tecnología, brindar servicios profesionales especializados. Este tipo de espacios podría ser una solución más flexible, que se adapte mejor a las necesidades que las empresas suelen tener de las instituciones de ciencia y tecnología. El INTI apunta a generar internamente esa capacidad, pero sería importante que también se pudiese articular con ese fin las capacidades preexistentes. Estos servicios de apoyo en temas específicos al desarrollo tecnológico también podrían estar orientados a emprendimientos

recientemente formados que enfrenten dificultades, por ejemplo, en el escalamiento de un Producto Mínimo Viable o MVP (por las siglas en inglés de *minimum viable product*) a un producto comercialmente apto. La *expertise* y trayectoria de los profesionales que forman parte de las instituciones de ciencia y tecnología acá relevadas podrían contribuir, por ejemplo, en el diseño de una “hoja de ruta” para que los emprendedores continúen avanzando en las diversas fases del desarrollo.

La generación de espacios de codesarrollo más adaptados a las necesidades del sector productivo también puede ser un instrumento de gran valor para contribuir a la sinergia del ecosistema. Estos programas implican el involucramiento de diversas partes para el desarrollo de una tecnología con la finalidad de su lanzamiento comercial. Diversas experiencias fallidas de vinculación para el desarrollo conjunto de tecnologías entre empresas y los centros de investigación acá relevados sugieren que estas últimas instituciones disponen de ciertas rigideces las cuales limitan las posibilidades de articularse de modo más frecuente con el resto de los actores del ecosistema. En particular, las mayores dificultades emergen con lo que respecta a la propiedad intelectual de los desarrollos.

Diversos actores clave de este sector coinciden en que el mundo de los productos y/o servicios 4.0 –en los cuales se emplean desarrollos provenientes de múltiples áreas– no resulta tan sencillo poder dividir la propiedad intelectual de los logros en innovación. Esto genera desaliento por el lado de las empresas a firmar convenios con cláusulas que impliquen ceder parte de la propiedad de las soluciones en las que vienen trabajando. De hecho, en la amplia mayoría de los casos relevados de experiencias fallidas se trató de búsquedas muy específicas por el lado de las empresas de algún grupo de referentes en un área específica para que colaboren en aspectos puntuales del desarrollo.

Un programa que podría abordar este tipo de problemas existentes en el ecosistema es el Emprender AgTech-INTA (CEAg-INTA), lanzado en febrero de 2022 para promover el desarrollo de empresas del agro 4.0. De hecho, el CEAg-INTA está enfocado específicamente a la temática de agro 4.0 –digitalización, robótica e inteligencia artificial aplicada al agro– y tiene dos modalidades: una para profesionales de INTA y otra dirigida a profesionales externos a la institución.

Otra necesidad recurrente por parte de las empresas de agro 4.0 a la hora de lanzar nuevas soluciones al mercado es poder testear y validar su funcionamiento, así como también identificar el valor que genera en los usuarios. Las empresas tienden a probar sus tecnologías con adoptantes tempranos de ellas, pero el subsistema de ciencia y tecnología podría contribuir a acelerar ese proceso. El INTA ocupa un rol protagónico en este espacio, habiendo contribuido al testeo de múltiples desarrollos 4.0 y hoy disponibles en el mercado. Sin embargo, sería deseable que este espacio pueda crecer y alcanzar un mayor grado de institucionalización que el que tiene actualmente. Adicionalmente, también el INTA podría ofrecer a las empresas evaluaciones que permitan certificar las contribuciones técnicas que las soluciones del agro 4.0 dicen ofrecer, contribuyendo así a salvar algunas de las fallas de información que obstaculizan el proceso de adopción.

Algunas de las instituciones de ciencia y tecnología podrían potenciar su rol como proveedoras de bienes públicos. Ya sean datos que son relevados y/o generados por algunas de estas instituciones –por ejemplo, datos atmosféricos, climatológicos, etcétera– o bien desarrollos tecnológicos que emergen de los programas de investigación internos –avances en modelos de siembra, fertilización, manejo de microambientes, etcétera– podrían aportar gran valor al sector productivo. El ejemplo de EMBRAPA es una referencia interesante en este sentido.

Proyecto 2. Aumentar la sostenibilidad de la producción agropecuaria a partir del desarrollo de los insumos de origen biológico

Introducción

Esta sección retoma las ideas principales del trabajo de Starobinsky *et al.* (2021), publicado en la serie de documentos de Argentina Productiva 2030. En dicho trabajo se estudian las capacidades locales existentes para la industria de bioinsumos para la agricultura con el fin de proporcionar estrategias de política pública que permitan a la Argentina tomar un rol activo en la investigación y desarrollo de bioinsumos agrícolas y posicionarse como jugador relevante en un mercado que aún es emergente.

El uso de agroquímicos como componente central del paquete tecnológico de la producción agrícola enfrenta cuestionamientos por sus efectos, tanto sobre el ambiente, como sobre la inocuidad de los alimentos y la salud humana. De hecho, un conjunto de países y regiones como la Unión Europea, Estados Unidos o China, entre otros, conducen desde hace varios años una serie de políticas en torno a la regulación del uso de productos de síntesis química, así como al establecimiento de límites máximos de residuos químicos en alimentos²¹, y la promoción de insumos de origen biológico para la producción agropecuaria.

En consonancia con estas señales se observa a nivel mundial un crecimiento dinámico y sostenido –aunque no exponencial– del mercado de bioinsumos para la agricultura, estimado en torno al 15% anual desde hace una década²². Estos insumos de origen biológico para la agricultura encuadran en la estrategia de la bioeconomía, al ser productos ambientalmente sustentables que no dejan residuos químicos en los alimentos. A su vez, la difusión a campo de estas tecnologías puede tener un impacto directo sobre los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, producción y consumo responsable (Objetivo 12); y a la preservación de los ecosistemas terrestres, el uso sustentable de los bosques, la lucha contra la desertificación y degradación de tierras, y la utilización sustentable de la biodiversidad (Objetivo 15) (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2019 y Rodríguez *et al.*, 2019, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

Argentina, como uno de los principales productores y proveedores de alimentos a nivel mundial, desempeña un rol relevante en materia de seguridad alimentaria, y enfrenta así una serie de desafíos y oportunidades en torno a los procesos señalados. Por un lado, los desafíos de

²¹ Ver [National Pesticide Information Center](#) (Estados Unidos), [European Commission](#), [CIRS](#) y [Tierra Viva Agencia de Noticias](#) para el caso de Alemania.

²² Estimaciones basadas en informes de las consultoras internacionales Mordor Intelligence (2019 a, b, c, d y e) y Dunham Trimmer (2018).

reconvertir la matriz tecno-productiva del sector agrícola para disminuir el uso de agroquímicos y cumplimentar con las mayores exigencias y regulaciones de los mercados de destino, y de avanzar hacia la difusión de tecnologías ambientalmente amigables como los bioinsumos. Por otro lado, las posibilidades del país de convertirse en desarrollador, adoptante y exportador temprano de estas tecnologías, que muestran un dinamismo creciente en la última década y una proyección destacada para la próximas, así como de consolidarse y expandirse como exportador de alimentos en mercados con crecientes exigencias de calidad e inocuidad.

Bioinsumos para la agricultura: definición y clasificación

El concepto de “bioinsumo” es amplio y abarca aplicaciones para diferentes industrias. La Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) de la Nación lo define como productos constituidos por microorganismos (hongos, bacterias, protozoos, virus), macroorganismos (ácaros, artrópodos, nemátodos), extractos de plantas y compuestos derivados de origen biológico o natural, destinados a aplicarse como insumos en la producción agropecuaria, agroalimentaria, agroindustrial, agroenergética e incluso en el saneamiento ambiental. Estos productos mejoran la productividad, son amigables con el ambiente y contribuyen al agregado de valor en origen.

Los bioinsumos agrícolas engloban a todo producto basado en micro o macroorganismos vivos, así como compuestos y/o extractos derivados de ellos u otras fuentes biológicas, capaces de mejorar la productividad (o rendimiento), calidad y/o sanidad al aplicarlos sobre cultivos vegetales. Estos bioinsumos abarcan aquellos que tienen un efecto directo sobre la agricultura, impulsando el crecimiento o desarrollo vegetal, combatiendo directa o indirectamente una plaga y/o disminuyendo los efectos negativos de todo tipo de estrés biótico o abiótico sobre los cultivos. A estos efectos, se entiende por plaga a todo animal, planta o microorganismo que tenga un efecto negativo sobre la producción agrícola.

Cabe aclarar que las plantas que se encuentran modificadas genéticamente con el fin de lograr un efecto equivalente o similar al alcanzado por un insumo químico o un bioinsumo (por ejemplo, para la producción de una molécula con capacidad insecticida por parte de la misma planta de interés agrícola)²³ son consideradas bioinsumos por la EPA (*Environmental Protection Agency*) de Estados Unidos y por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Argentina (FAO, por sus siglas en inglés), pero no así por la Unión Europea.

Dado que no existe una clasificación de los bioinsumos agrícolas universalmente aceptada, a continuación, se presenta la clasificación empleada a los fines del presente análisis, la cual puede diferir de las clasificaciones consideradas por otros autores y organizaciones.

²³ Un ejemplo de este tipo de tecnologías son los cultivos Bt, los cuales se encuentran modificados mediante ingeniería genética para brindar protección frente a ciertas plagas a través de la expresión, en sus tejidos, de proteínas insecticidas denominadas proteínas Bt. Los genes que codifican para las proteínas Bt provienen de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*.

Los bioinsumos agrícolas pueden ser clasificados en dos grandes grupos: los que estimulan el crecimiento o desarrollo de las plantas, los bioestimulantes, y los que buscan combatir plagas o disminuir sus efectos negativos, los biocontroladores (ver figura 3).

Un bioestimulante vegetal es cualquier sustancia de origen biológico o microorganismo que se aplica a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y/o los rasgos de calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes. Los rasgos de calidad pueden referirse a valor nutricional, contenido de proteína de grano, vida útil, etcétera. Muchos bioestimulantes mejoran la nutrición independientemente de su contenido de nutrientes, lo que los diferencia de los fertilizantes, que consisten en sustancias orgánicas o inorgánicas que contienen nutrientes en formas asimilables por las plantas. Los biofertilizantes representan una subcategoría de los bioestimulantes, a pesar de que, en muchos casos, ambos términos se presentan como categorías diferentes y en otros casos se utilizan como sinónimos. A diferencia de los fertilizantes, los biofertilizantes aumentan la eficiencia en el uso de nutrientes y abren nuevas rutas de adquisición de estos por parte de las plantas.

Un biocontrolador es todo producto conformado por organismos vivos, extractos o compuestos derivados de ellos, utilizados para el control de plagas y enfermedades que afectan la producción agrícola. Los biocontroladores suelen ser altamente específicos contra las plagas objetivo y generalmente representan poco o ningún riesgo para las personas o el ambiente. Muchas veces el término bioplaguicida se utiliza como sinónimo de biocontrolador. En ese sentido, cabe aclarar que el término "biocontrolador" es más amplio que el término "bioplaguicida", ya que abarca los productos que tienen una acción sobre la plaga tanto directa –ya sea por ocasionar su muerte, impedir su alimentación, etcétera– como indirecta –estimulando mecanismos de defensa propios de la planta, impidiendo la reproducción de los organismos plaga, etcétera–.

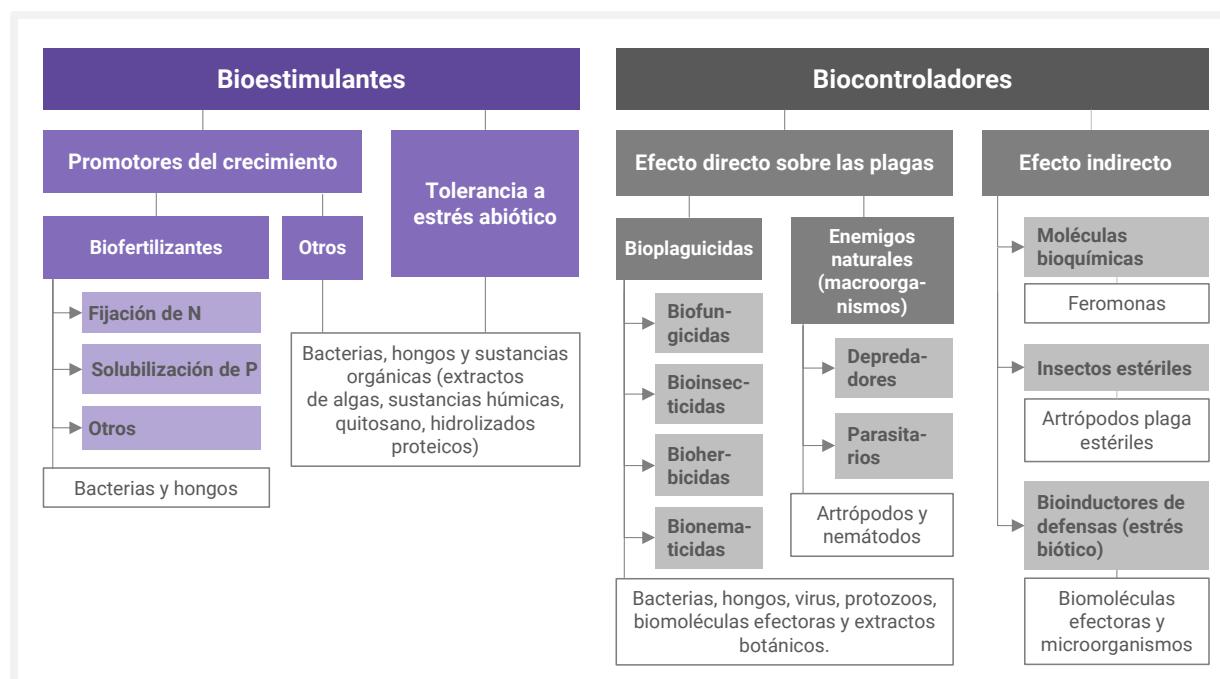
Es importante comprender que un mismo agente biológico puede tener más de un efecto benéfico sobre las plantas. Por ejemplo, algunos microorganismos que inducen el crecimiento vegetal también pueden controlar plagas, de manera que funcionan como bioestimulantes y biocontroladores a la vez. Tal es el caso del hongo *Trichoderma harzianum*, que se encuentra en algunos productos registrados como biofertilizantes y en otros registrados como biocontroladores (biofungicidas).

Los bioestimulantes se dividen en dos grandes grupos: los promotores del crecimiento vegetal y los inductores de la tolerancia vegetal frente a estrés abiótico²⁴. Cabe aclarar que muchos bioestimulantes ejercen ambos efectos, es decir, promueven el crecimiento a la vez que incrementan la tolerancia frente a algún tipo de estrés abiótico. A su vez, un tercer efecto logrado muchas veces por estos dos grupos de bioestimulantes consiste en la mejora de

²⁴ El estrés biótico es el que se produce en las plantas como resultado del daño causado por organismos vivos, como bacterias, virus, hongos, insectos y malezas (los bioinsumos destinados a combatir los efectos negativos del estrés biótico se engloban dentro de los biocontroladores). El estrés abiótico es el impacto negativo sobre las plantas causado por factores no vivos en un entorno específico, tales como temperaturas extremas, fuentes insuficientes de agua, salinidad, etcétera; los destinados a combatir este tipo de efectos se engloban dentro de los bioestimulantes.

distintos rasgos de calidad del cultivo, como el valor nutricional, el contenido de proteína del grano, la vida útil, etcétera. Este tercer efecto no se agrega como otra categoría adicional de bioestimulantes puesto que, en general, es un efecto secundario de los otros dos efectos principales. Por otra parte, algunos bioestimulantes como los extractos de algas marinas, además de ejercer un efecto por múltiples mecanismos, aportan nutrientes, aunque esto no es una condición necesaria para conformar un bioestimulante. Los promotores del crecimiento se dividen en biofertilizantes y otros promotores del crecimiento. Los biofertilizantes se basan en microorganismos (hongos y bacterias) que aumentan la eficiencia en el uso de nutrientes, lo que abre nuevas rutas de adquisición de estos por parte de las plantas; los principales biofertilizantes se componen de bacterias fijadoras de nitrógeno y bacterias y hongos solubilizadores de fosfatos. Los biofertilizantes microbianos pueden contener cepas únicas (por ejemplo, *Bacillus subtilis*) o mezclas de microorganismos que presentan efectos aditivos o sinergias. Otros promotores del crecimiento se basan en microorganismos o sustancias orgánicas (extractos de algas marinas, ácidos húmicos, hidrolizados de proteínas, etcétera), que estimulan el desarrollo vegetal mediante mecanismos que no implican un aumento directo en la eficiencia de absorción de nutrientes, sino que ejercen efectos indirectos, por ejemplo, aportando fitohormonas o mediante el aumento de la actividad microbiana, la respiración o la fertilidad general del suelo. Por otra parte, existen bioestimulantes destinados a incrementar la tolerancia frente a distintos tipos de estreses abióticos como el salino, el hídrico y el térmico, entre otros. Estos pueden estar conformados tanto por microorganismos como por sustancias orgánicas, tales como los hidrolizados de proteínas, cuya actividad antioxidante contribuye a la mitigación del estrés (ver figura 3).

FIGURA 3. PRINCIPALES TIPOS DE BIOINSUMOS AGRÍCOLAS SEGÚN SU ACCIÓN Y AGENTES EFECTORES



Fuente: Starobinsky et al. (2021).

Los biocontroladores se pueden agrupar en productos fitosanitarios de acción directa, generalmente de origen microbiano o botánico, y en productos de acción indirecta, generalmente conformados por moléculas efectoras, que estimulan los mecanismos de defensa de las plantas o que actúan como barrera del desarrollo de los macroorganismos plaga. Dentro de los biocontroladores de acción directa, también encontramos a los macroorganismos (insectos o nemátodos) que actúan como depredadores o parásitos de insectos, nemátodos y ácaros plaga. Los bioplaguicidas (aquellos biocontroladores que tienen un efecto directo sobre el organismo atacante, como biofungicidas, bioinsecticidas, etcétera, también referenciados como biopesticidas), se incluyen dentro de los biocontroladores, aunque en algunos casos estos dos conceptos se utilizan como sinónimos. Dentro de los biocontroladores de acción indirecta, se encuentran las moléculas bioquímicas, comúnmente denominadas feromonas, que actúan como atrayentes, hormonas, reguladores del crecimiento de insectos, enzimas y otras sustancias de señalización química, muy importantes en la relación planta-insecto; la Técnica del Insecto Estéril (TIE), que implica la cría en masa, la esterilización por medio de radiación y liberación de insectos estériles causantes de una plaga concreta; y los bioinductores de la defensa vegetal (también denominados “vacunas para cultivos”), que provocan un incremento en las barreras de defensa físicas y/o químicas de las plantas frente a patógenos (ver figura 3).

Principales implicancias tecno-económicas de los bioinsumos agrícolas

El empleo de plaguicidas químicos no siempre es la mejor estrategia para combatir una plaga específica, debido a que frecuentemente está asociado a efectos negativos como el resurgimiento de la plaga blanco luego de un lapso, los estallidos de plagas secundarias como consecuencia de la mortandad de los enemigos naturales que la controlaban (resultado de la baja especificidad de los plaguicidas químicos) y/o la adquisición de una resistencia al plaguicida por parte de la plaga. Por el contrario, el uso de biocontroladores cuenta con una serie de beneficios, tales como no dejar residuos químicos y actuar de manera más específica y permanente sobre la población de plaga que origina el problema, y lograr múltiples efectos en muchos casos (Fischbein, 2012, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). A su vez, son productos factibles de emplearse de manera complementaria con agroquímicos y en distintos casos pueden incluso hasta sustituirlos.

En términos técnicos y económicos en torno a su implementación a campo, se destacan como ventajas la modalidad de aplicación adaptada a las prácticas productivas vigentes (su empleo no significa mayores esfuerzos técnicos por parte de los productores agrícolas), así como un precio de mercado competitivo en relación con los productos de síntesis química (excepto para el caso de macroorganismos para cultivos extensivos).

Sin embargo, la utilización de biocontroladores conlleva una serie de desventajas que elevan el riesgo para su adopción frente a los plaguicidas químicos. Entre las principales, se puede mencionar una menor eficiencia relativa frente a los químicos en presencia de alta concentración de plagas y mayores tiempos de acción, con la consecuente necesidad de su aplicación antes de

que se presenten brotes severos de plaga y de un mayor número de aplicaciones. Por otra parte, dado que se trata de productos aplicables a ecosistemas específicos, enfrentan limitaciones en relación con su globalización a distintas regiones (cuadro 1).

Los biocontroladores actuales, en general, se aplican sin adicionar complejidad a las prácticas agrícolas habituales y a costos competitivos con los químicos. Pero el hecho de que no actúan con la misma rapidez que los químicos y de que, en general, no son eficaces ante brotes severos de plagas implica que sean utilizados más para prevención que para remediación.

CUADRO 1. PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS TECNO-ECONÓMICAS DE LOS BIOCONTROLADORES

	Tecnológicas	Técnicas / económicas
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientalmente sustentables • No dejan residuos químicos • Acción plaga/enfermedad específica • Múltiples efectos • Bajo riesgo de liberación (organismos autóctonos) • Complementariedad con agroquímicos • Potencialidad de sustitución de agroquímicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio competitivo (excepto macroorganismos) • Modalidad de aplicación adaptada a prácticas productivas (excepto macroorganismos para cultivos extensivos)
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad y falta de consistencia de resultados • Mayores tiempos de acción • Baja efectividad ante alta incidencia de plagas/enfermedades • Ecosistemas específicos: limitación de globalización 	<ul style="list-style-type: none"> • Momento de aplicación (antes de la aparición de plagas / enfermedades): más riesgo económico • Dosificación (mayor cantidad de aplicaciones) • Requerimiento de condiciones controladas de transporte y almacenamiento

Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

Para el caso de los bioestimulantes también se pueden identificar ciertos aspectos positivos y negativos. Entre sus beneficios se puede resaltar el incremento de los rendimientos por hectárea y la calidad de los cultivos, su complementariedad con productos químicos y una mayor potencialidad de globalización. A su vez, pueden ejercer funciones adicionales a las de los fertilizantes químicos, como promoción del crecimiento o aumento de la tolerancia al estrés abiótico.

Al igual que los biocontroladores se trata de productos que se comercializan a precios competitivos (representan una baja proporción de los costos de producción) y cuya modalidad de aplicación también se encuentra adaptada a las prácticas productivas vigentes. Sin embargo,

al no tratarse de insumos necesarios para la producción, resultan en general una variable de ajuste en las campañas agrícolas que presentan menores márgenes de rentabilidad. Por último, los biofertilizantes exhiben cierto potencial para sustituir a los fertilizantes químicos, pero no en su totalidad (cuadro 2).

CUADRO 2. PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS TECNO-ECONÓMICAS DE LOS BIOESTIMULANTES

	Tecnológicas	Técnicas / económicas
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de rendimientos y calidad • Alta complementariedad con agroquímicos • Mayor potencialidad de globalización 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio competitivo • Modalidad de aplicación adaptada a prácticas productivas • Baja proporción en los costos de producción
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Menor potencialidad de sustitución de agroquímicos (fósforo y potasio) 	<ul style="list-style-type: none"> • Al no tratarse de insumos necesarios para la producción resultan variable de ajuste ante menores márgenes de rentabilidad

Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

Cabe destacar que son escasos los estudios e investigaciones publicadas que efectúan mediciones sobre el potencial de sustitución de productos de síntesis química por parte de bioinsumos.

Según los especialistas en el tema, una aplicación de enemigos naturales (artrópodos o nemátodos predadores o parasitarios de otro artrópodo, nemátodo o ácaro plaga, presentes naturalmente en los agroecosistemas donde se utilizan, y aplicados mediante liberaciones inundativas)²⁵ permite disminuir entre dos a tres aplicaciones de insecticidas químicos. Esta opción es en general más costosa que los insecticidas químicos, pero para los productores orgánicos frutihortícolas resulta más adecuada. En la producción orgánica es posible reemplazar el 100% de los agroquímicos con el uso de enemigos naturales. Las liberaciones inundativas de enemigos naturales tienen, en general, mayor aplicación en cultivos intensivos, ya que para cultivos extensivos resulta compleja y costosa.

²⁵ Las poblaciones de organismos están reguladas por la acción natural de sus depredadores, parásitos, parasitoides, patógenos y competidores; un fenómeno ecológico que mantiene a las especies en un estado de equilibrio. El problema surge cuando, por diversos motivos, las poblaciones de algunas especies aumentan de tal modo que pueden causar daños económicos y/o ecológicos severos convirtiéndose en plagas. Mediante la multiplicación y liberación de grandes poblaciones de enemigos naturales de estos organismos plaga en la zona afectada (liberaciones inundativas), se logra reducir su impacto perjudicial, restableciendo los niveles de control natural autosostenido. Cada vez que la población plaga vuelva a aumentar a niveles perjudiciales, se deberá repetir la aplicación de enemigos naturales.

En el caso de los bioplaguicidas basados en microorganismos o derivados de ellos, no es posible generalizar el porcentaje en que pueden reemplazar al uso de agroquímicos, debido a que esto depende de múltiples factores como el cultivo por tratar, la plaga específica, el biocontrolador y las condiciones agroecológicas, entre otros. En la mayoría de los casos, los entrevistados mencionaron que no cuentan con estudios comparativos para determinar con precisión qué porcentaje de agroquímicos se puede reemplazar con los desarrollos de bioinsumos; en otros casos, indicaron que es posible reemplazar en un 50% y hasta un 100% el uso de plaguicidas químicos.

Para el caso de los biofertilizantes, el porcentaje potencial de reemplazo de fertilizantes químicos se encuentra más estudiado para el caso del nitrógeno (N) y en menor medida para el caso del fósforo (P) y otros nutrientes. Según los entrevistados, es posible cubrir entre un 35% y un 85% del N requerido por algunos cultivos, mediante la utilización de inoculantes basados en bacterias fijadoras de N. En cuanto al P, se encontraron ciertas discrepancias, debido a que la necesidad de suministrar P como fertilizante es muy variable según el tipo de suelo y el cultivo; así, en la literatura se encontraron ejemplos de hasta un 50% de reemplazo del P químico con el uso de bacterias solubilizadoras de P (Díaz-Blanco y Márquez-Reina, 2011, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021), mientras que expertos entrevistados expresan que potencialmente un 10% sería el máximo porcentaje por reemplazar, particularmente en nuestro país, donde grandes cantidades de P son requeridas para la producción y exportación de cultivos extensivos como la soja.²⁶

Para el caso de los herbicidas, puntualmente para el reemplazo del glifosato, no se relevaron avances significativos en cuanto a alternativas biológicas para el control de malezas, ni en la literatura, ni en los centros entrevistados. Por el contrario, muchas de las empresas y *startups* entrevistadas mencionaron que cuentan en su cartera con al menos un proyecto para el desarrollo de bioherbicidas.

Los bioinsumos, ya sean a base de micro o macroorganismos vivos, presentan ciertas particularidades en relación con su efectividad y potencial riesgo de liberación, vinculadas a las condiciones agroecológicas y la biodiversidad presente en cada región. En ese sentido, su potencialidad de globalización se encuentra sujeta a las características de cada territorio, y deben conducirse ensayos a campo y evaluaciones específicas para su introducción en nuevas regiones.

Los enemigos naturales (macroorganismos) tendrían mayor potencial de exportación en la región, es decir, en aquellas zonas agroecológicas donde estos son autóctonos. Si bien algunos tipos de macroorganismos para control biológico son factibles de exportarse (de hecho, algunos países europeos los exportan a otros mercados), es más probable que los aislamientos autóctonos funcionen mejor. Además, la liberación de macroorganismos exóticos es compleja a nivel regulatorio y más riesgosa en términos de su impacto en el ecosistema.

²⁶ Esto es solo una estimación, ya que no se cuenta con estudios realizados para medir ese porcentaje.

Los biocontroladores basados en microorganismos, podrían exportarse potencialmente a cualquier región donde esté presente la plaga objetivo, conduciendo los ensayos correspondientes. Sin embargo, las biomoléculas efectoras tienen un mayor potencial exportador que los bioinsumos basados en organismos vivos, debido a cuestiones técnicas que le otorgan mayor efectividad a nivel global. La dificultad de exportación en términos regulatorios varía según la normativa de cada país; en algunos casos es más fácil introducir organismos vivos que biomoléculas efectoras.

Por último, en general, los biofertilizantes (inoculantes microbianos) tienen un mayor potencial exportador que los biocontroladores, debido a su menor dependencia de las condiciones del agroecosistema y a que no son plaga-específicos como los biocontroladores, por lo que no dependen de la presencia de plagas o enfermedades particulares. Asimismo, la normativa para su introducción en diversos países suele presentar menores exigencias.

Panorama global

Principales tendencias y *drivers*

La revolución que en su momento implicó el uso en el sector agrícola de pesticidas y fertilizantes químicos enfrenta crecientes limitaciones. Esto se observa tanto desde aspectos productivos, como una creciente resistencia de plagas y patógenos, así como también desde una perspectiva ambiental, por el impacto sobre la biodiversidad de los suelos que se evidencia en crecientes regulaciones y en nuevos patrones de los hábitos de consumo. Estas tendencias cada vez más acentuadas representan los principales *drivers* que impulsan el desarrollo y difusión de bioinsumos en la agricultura (figura 4).

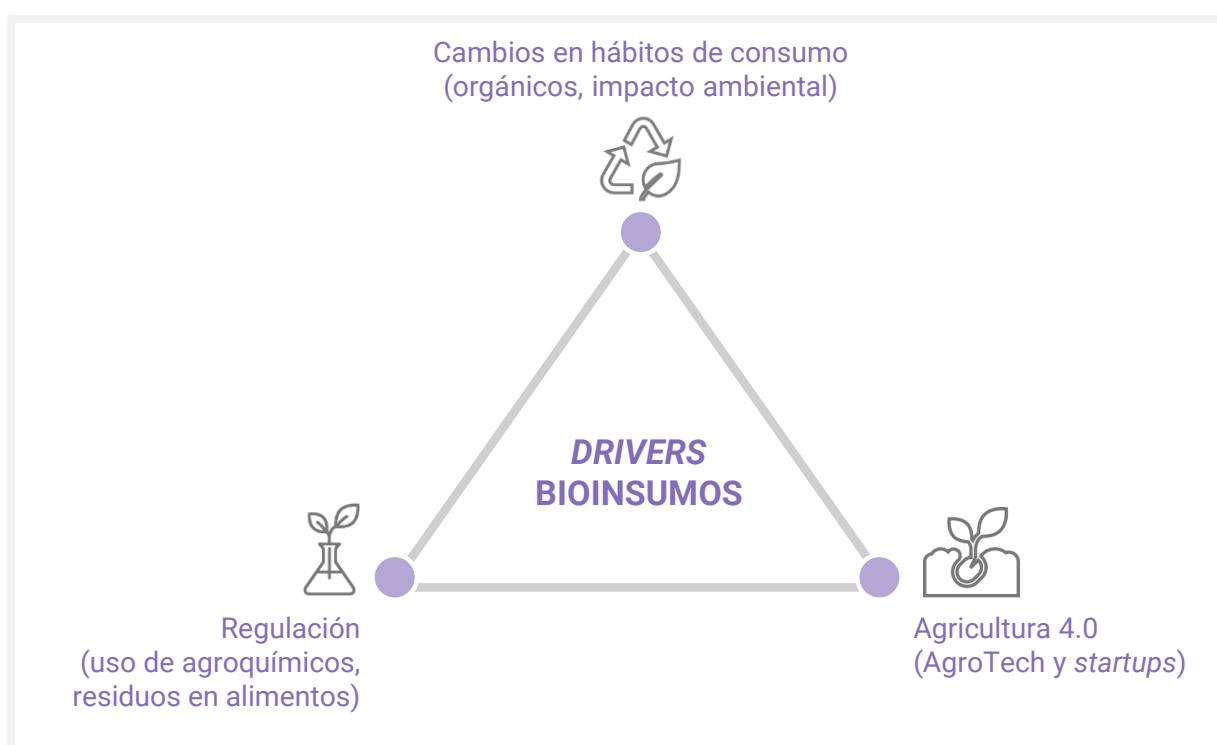
En ese marco de creciente controversia en torno al uso de agroquímicos a nivel mundial, se encuentran una serie de países que establecen de manera paulatina regulaciones sobre los niveles de residuos tóxicos en alimentos, la degradación de suelos y contaminación de aguas, la prohibición y restricción del uso de ciertos agroquímicos, y mayores controles y pruebas para su registro. Así, en diversos países se establecen de manera conjunta políticas articuladas de regulación del empleo de pesticidas²⁷ y de promoción de bioinsumos agrícolas (proceso liderado por Europa, Estados Unidos, y recientemente nuevos actores como China).

De manera adicional, a nivel mundial se observa –particularmente en los países de altos ingresos– una tendencia hacia el consumo de productos más saludables, con un cambio cultural en los hábitos de consumo orientados a la prevención de enfermedades y mayor bienestar, que se tradujo en un crecimiento del 53% del mercado de productos orgánicos durante los últimos años. Así, en el año 2020 el consumo de estos productos alcanzó entre USD 100.000 millones y USD 120.000 millones, y el segmento de frutas y verduras participó del 36%

²⁷ Para más información, véase [National Pesticid Information Center](#) (Estados Unidos), [European Comission](#), [CIRS](#), y [Tierra Viva Agencia de Noticias](#) para el caso de Alemania.

(Willer *et al.*, 2021, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). Cabe destacar que una parte cada vez más significativa de este segmento de mercado es canalizada por grandes supermercados que buscan atender esta creciente demanda en los grandes conglomerados urbanos. Aprovechando esta tendencia, estos intermediarios han avanzado en el desarrollo de proveedores agrícolas especializados, ofreciendo contratos de largo plazo para el aprovisionamiento a sus cadenas, y en otras oportunidades incursionando incluso en la producción propia de productos orgánicos (Willer *et al.*, 2021, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

FIGURA 4. PRINCIPALES TENDENCIAS Y DRIVERS



Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

Los principales mercados son aquellos países de altos ingresos como Estados Unidos y la Unión Europea (que concentran entre el 85 y el 90%), lo que ha permitido traccionar el desarrollo de la industria de bioinsumos. En la actualidad, este proceso está avanzando en países de ingresos medios tales como China, India y Brasil, donde como se mencionó anteriormente también se observa un interesante desarrollo industrial en torno a insumos biológicos.

A partir de estas tendencias de la demanda, los Estados nacionales han avanzado con proyectos de impulso y registro para la producción orgánica a la par con la regulación en el uso de productos químicos. Estos procesos se encuentran liderados por la Unión Europea, donde se ha establecido una fuerte estrategia para promover una alimentación más saludable (“De la granja a la mesa”), de manera articulada con un uso más sustentable de agroquímicos en los países miembros (Directiva 2009/128/EC).

A su vez, otros países han estimulado el desarrollo de la biotecnología y en algunos casos incluso han avanzado con herramientas focalizadas en la industria de bioinsumos. En el caso de Estados Unidos, los bioestimulantes fueron incorporados recientemente a la Ley Agrícola 2018 (Farm Bill),²⁸ y también se ha elaborado el *BioPreferred Program*, que impulsa la demanda de bioproductos por parte de organizaciones del Estado y fomenta su etiquetado y certificación, entre otros objetivos. A nivel regional, Brasil recientemente ha puesto en marcha el Programa Nacional de Bioinsumos, desde el cual apunta a generar un marco regulatorio para el sector, fomentar el desarrollo de I+D y la instalación de biofábricas, entre otras metas.

Por otro lado, la complementación de las tecnologías 4.0 y de insumos biológicos puede potenciar el impacto de estas técnicas productivas, que no solo son ecológicamente más sustentables, sino que también generan aumentos de productividad en el mediano plazo. Así, la mayor utilización de manera conjunta de estas tecnologías podrá redundar en un futuro no solo en la recuperación de tierras de baja productividad caracterizadas, por ejemplo, por falta de agua o alta salinidad, sino también en la incorporación de nuevas tierras a la producción agrícola. En ese sentido, su uso combinado puede dar lugar a la progresiva recomposición de la biodiversidad de los suelos, y por lo tanto a mayor disponibilidad de nutrientes, que en última instancia permite mayores rendimientos y menor impacto ambiental.

Principales tendencias de mercados, productos y países

Este apartado fue desarrollado en función del análisis realizado por Starobinsky *et al.* (2021) a partir de información de Mordor Intelligence (2019 a, b, c, d y e) y Dunham Trimmer (2018).

La industria mundial de bioinsumos para el sector agrícola es emergente y ha mostrado un importante dinamismo a lo largo de la última década. En ese sentido, durante los últimos cinco años el mercado mundial se ha expandido a un promedio estimado del 15% anual, alcanzando en 2020 los USD 9.390 millones. Este mercado se encuentra comprendido prácticamente en partes iguales entre biocontroladores y bioestimulantes (incluyendo biofertilizantes).

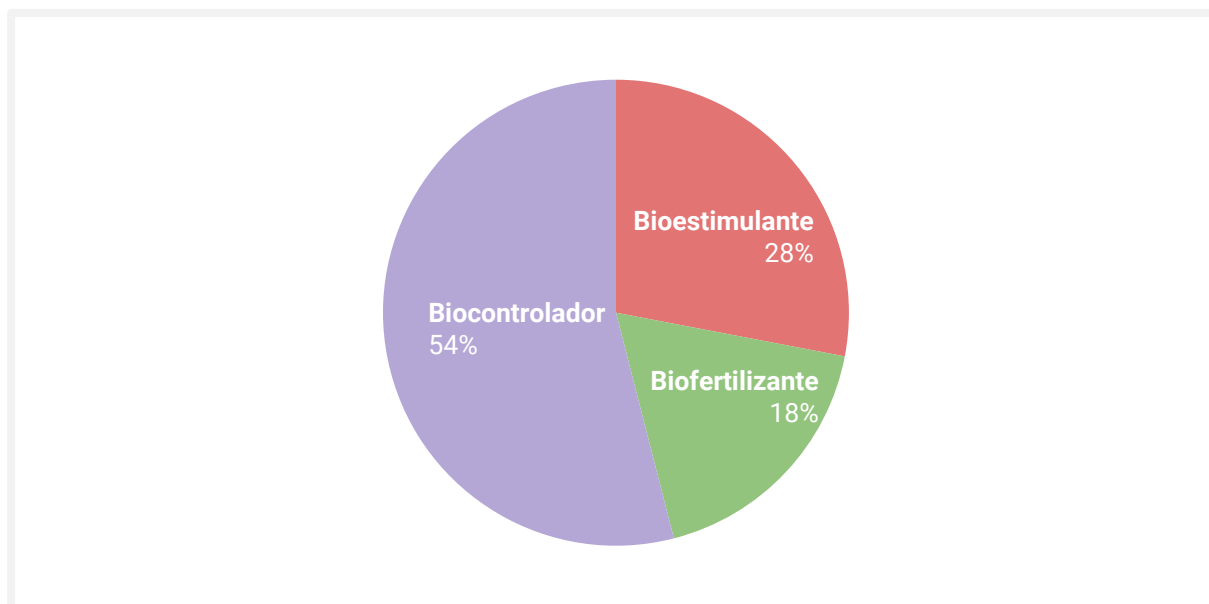
Si bien aún los insumos biológicos representan una proporción acotada del total del mercado (5% del mercado de control de plagas y 2% del de fertilizantes), superan ampliamente el ritmo de crecimiento de los productos de síntesis química, que presentan una tendencia de moderado crecimiento con una expansión anual que no supera el 3%. A partir de estas tendencias, algunas estimaciones privadas proyectan para las décadas de 2040-2050 que el mercado de biopesticidas podría igualar en importancia al de productos de origen sintético (gráfico 13 y figura 5).

Entre los principales sectores demandantes de insumos de control biológico se encuentran en primer lugar los productores de frutas y verduras (alrededor del 80%), seguidos por los de leguminosas y cereales. Estos productos son empleados no solo para la atención de plagas y

²⁸ Si bien aún se encuentra en proceso de formulación, la norma deja abierta la posibilidad de que los productores puedan recibir subsidios por el uso de bioestimulantes.

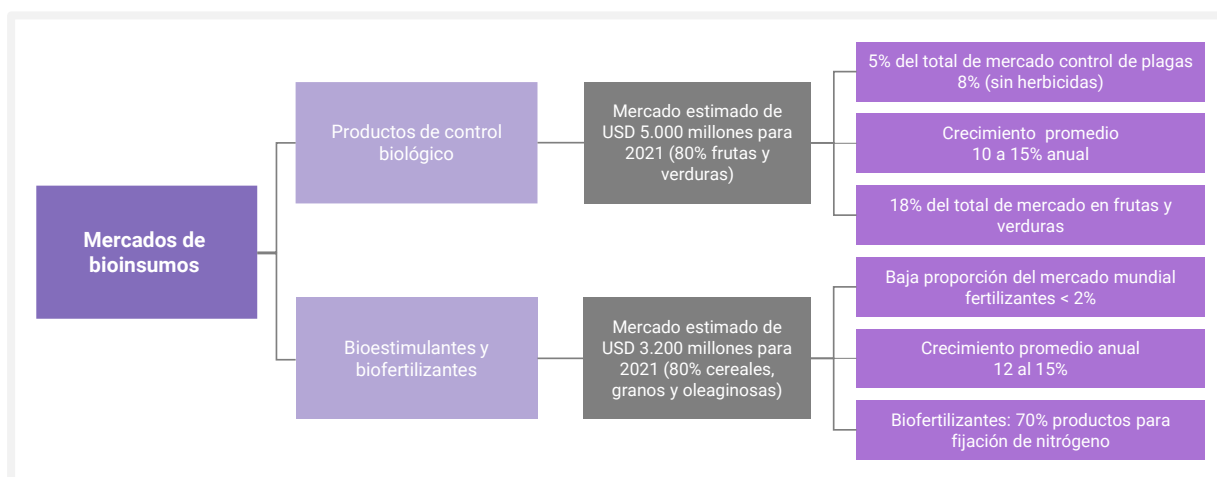
enfermedades de manera directa, sino también para el tratamiento de semillas y el cuidado de productos durante la etapa poscosecha.

GRÁFICO 13. DISTRIBUCIÓN DEL MERCADO GLOBAL POR PLATAFORMAS (2020)



Fuente: Starobinsky et al. (2022b).

FIGURA 5. PRINCIPALES MERCADOS Y TENDENCIAS



Fuente: Starobinsky et al. (2022b).

Los productos más difundidos son los bioinsecticidas y los biofungicidas a base de microorganismos, que representan el 70% del mercado de biocontrol. Entre los primeros se encuentra una mayor diversidad de productos, aunque mayoritariamente son desarrollados con bacterias del género *Bacillus Thuringiensis*. En el caso de los biofungicidas, las propuestas tecnológicas se basan principalmente en hongos como *Trichoderma* y *Mycorrhiza*.

Por su parte, los desarrollos basados en macroorganismos componen cerca del 30% de los controladores biológicos; los parasitoides son los principales biocontroladores, seguidos por los depredadores y por último los nemátodos entomopatógenos. Por fuera de estos productos, se encuentran bionematicidas, bioacaricidas y productos biológicos para repeler roedores, que concentran una pequeña porción del mercado. Si bien aún su participación es minoritaria, los bioherbicidas representan un segmento relevante: se observa una demanda creciente y una importante cantidad de investigaciones en curso.

En el caso de los insumos para el desarrollo de cultivos, los bioestimulantes²⁹ son el segmento de mayor importancia, destacándose su difusión en cultivos de leguminosas y cereales, pero también su proyección para la producción de frutas y verduras. En el mercado mundial, las tecnologías a base de extractos vegetales han registrado el mayor dinamismo durante estos últimos años, en tanto que a futuro las aplicaciones de compuestos húmicos y aditivos a base de aminoácidos y proteínas son las que presentan mayor potencialidad.

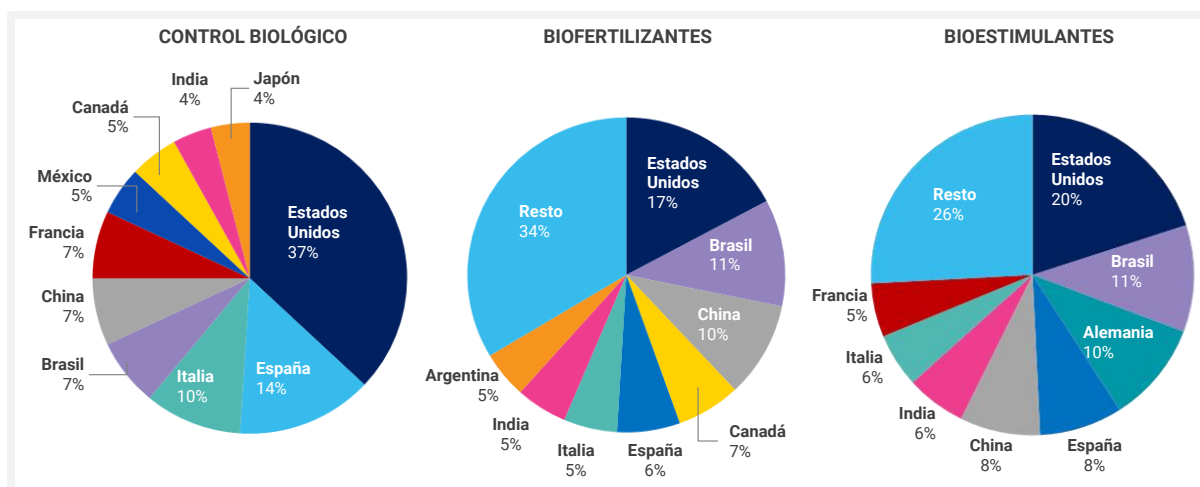
Por su parte, si bien se trata de un mercado de menor tamaño, los biofertilizantes muestran las mismas tasas de crecimiento que el resto de los bioinsumos. En particular, las aplicaciones de mayor relevancia son las basadas en bacterias (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, entre otras) y en menor medida a hongos como micorrizas. Dado su menor costo relativo y los menores niveles de inversión requeridos, los biofertilizantes de base sólida son los de mayor inserción. Sin embargo, los biofertilizantes líquidos fueron ganando participación recientemente y presentan una mayor tasa de crecimiento proyectada a futuro.

En relación con los principales mercados a nivel mundial, Estados Unidos y los países de la Unión Europea concentran en conjunto más del 60%. Desagregando en términos de segmentos, Estados Unidos es el principal mercado tanto para biocontroladores como para biofertilizantes, seguido por la Unión Europea; en el caso de los bioestimulantes esta situación se invierte (gráfico 14). A su vez, se puede mencionar una serie de países que abarcan una proporción destacada del mercado de bioinsumos: Brasil, China, Canadá, India y México.

Estados Unidos sobresale en todos los casos como el principal mercado mundial, en particular para el caso de los biocontroladores. En este segmento, el país cuenta con unos 420 productos registrados y se estima un mercado del orden de los USD 1.500 millones, principalmente para cultivos frutihortícolas (tomate y frutilla) y también para soja, girasol y cereales, y cultivos orgánicos. Si bien en este mercado no se encuentran difundidos insumos biológicos para el control de malezas, su demanda es creciente y existen desarrollos a base de extractos botánicos y otros agentes efectores en proceso de investigación.

²⁹ A los fines prácticos, en este apartado y en otras ocasiones subsiguientes, se definirá como bioestimulantes al grupo de bioestimulantes que no son biofertilizantes (es decir aquellos que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas sin incrementar la eficiencia y abrir nuevas rutas en los procesos de adquisición de nutrientes), en concordancia con la biografía de mercado relevada, en la que ambos grupos se tratan por separado.

GRÁFICO 14. MERCADO MUNDIAL SEGÚN SEGMENTOS Y PAÍSES (2019)



Fuente: Starobinsky *et al.* (2022b).

Por su parte, la relevancia que tiene la producción orgánica en países como Alemania, España, Francia e Italia ha significado un impulso a la utilización de bioinsumos en el mercado europeo, valuado aproximadamente en USD 2.261 millones. De manera adicional al empleo de insumos biológicos en cultivos orgánicos, su difusión a nivel regional se ve acompañada por la promoción del uso de productos biológicos a través de la política agrícola europea, destacándose en particular los segmentos de bioestimulantes y biofertilizantes. Los productos de control biológico abarcan una menor proporción del mercado de bioinsumos europeo, alcanzando un valor aproximado de USD 1.000 millones. En este segmento, España sobresale con elevados niveles de adopción de biopesticidas en la producción hortícola; aquí se destaca el caso de la producción de tomates y pimientos en Almería, donde se logró reemplazar prácticamente la totalidad de los productos químicos (Van der Blom *et al.*, 2010, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). Italia, por su parte, ha avanzado con la adopción de biocontroladores para la producción de arroz, olivo, cítricos, maíz y trigo. Mientras que en Francia esto se produce en producciones hortícolas y vitivinícolas, y progresivamente en cultivos extensivos como maíz y trigo (IBMA, 2021, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

En América Latina, Brasil es el principal mercado de bioinsumos a nivel regional, con un tamaño del orden de los USD 300 millones. A su vez, durante los últimos años la demanda de estos productos prácticamente se ha duplicado, representando alrededor del 2,6% del mercado de agroquímicos. Este impulso se verifica también en una creciente cantidad de empresas y de productos registrados: en 2020 Brasil contó con más de 80 empresas que registraron unos 60 bioinsumos. En conjunto con esto, durante los últimos 20 años se registraron en Brasil 376 productos mayoritariamente a base de microorganismos (60%), en gran medida bacterias del género *Bacillus* y hongos como *Trichoderma*, *Beauveria* y *Metarhizium*, entre otros (MAPA, 2020, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). En términos de superficie, se estima que los bioinsumos son utilizados en cerca de 60 millones de hectáreas, en mayor medida para la producción de soja seguido por la caña de azúcar, el maíz y el algodón (MAPA, 2020, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). Aun así, en relación con la cantidad de productores que adoptan

estas tecnologías, los mayores niveles se observan en cultivos de frutas y hortalizas, mientras que en cultivos extensivos como la soja su participación es menor (ABC Bio, 2018, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

Otro país importante a nivel regional es Chile, donde el sector frutícola ha dado impulso a la actividad. Aquí unas 70 empresas han registrado aproximadamente 389 productos en su mayor parte comprendidos por bioestimulantes y biofertilizantes. Sin embargo, se trata de una industria con una elevada participación de productos de origen extranjero con cerca de la mitad de los registros importados mientras que la mitad de las empresas son netamente importadoras (ICEX, 2018, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

Por otra parte, Colombia registra un avance importante en esta industria a partir de su trayectoria en la utilización de biocontroladores en el cultivo de café. El país cuenta con unas 143 firmas que han registrado 350 productos, los cuales son utilizados principalmente para cultivos como café, soja, manzana, alfalfa, palta y arroz.

En México también se observa un interesante desarrollo del sector, con alrededor de 171 empresas en la industria³⁰. Tomando una muestra acotada de proveedores para el sector orgánico, se comercializan al menos 180 bioinsumos con una fuerte participación de biocontroladores y biofertilizantes utilizados para la producción de café, palta y mango.

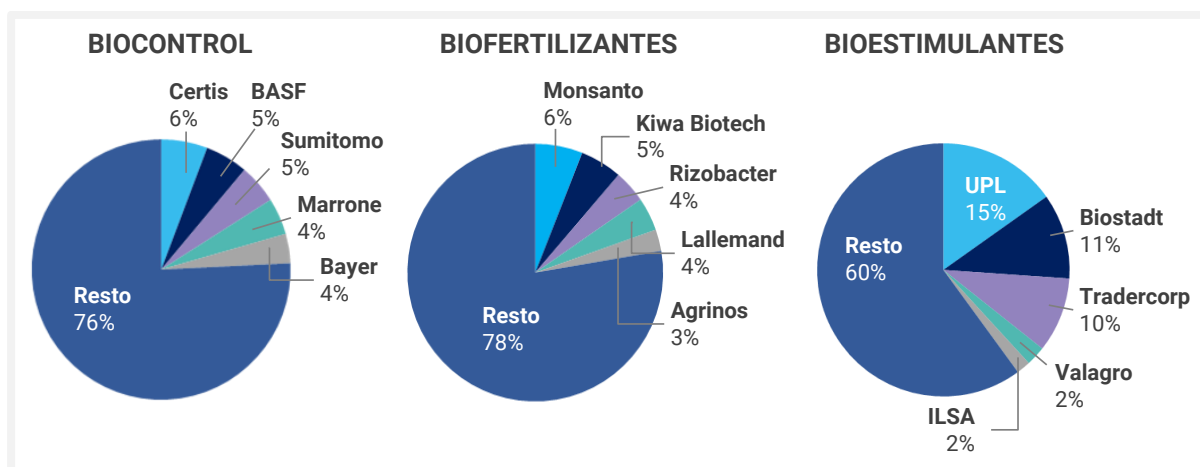
Oferta de bioinsumos: principales productores y estrategias empresarias

En la actualidad, dado que el desarrollo de bioinsumos comprende tecnologías y productos emergentes, se presenta como un sector competitivo y con cierta segmentación de la oferta. Por un lado, a partir del conocimiento generado por parte de instituciones del sector público, ciertos segmentos dentro de la producción de bioinsumos cuentan con bajas barreras para la entrada de nuevas empresas. Por otro lado, las firmas presentan ciertas dificultades a la hora de registrar productos en mercados distintos a los de su país de origen, en tanto las regulaciones y condiciones agroecológicas son diversas, lo que limita en el corto plazo su alcance global. De esta forma, se configura un sector en cierta medida segmentado, con una oferta atomizada que aún habilita el surgimiento de numerosas empresas.

Entre las principales empresas del sector pueden mencionarse a BASF S. E., Syngenta S. A.; Bayer CropScience, UPL, Sumitomo Chemical, Marrone Bio Innovations, Valent Biosciences, Koppert Biological Systems, Isagro S.p.A., Valagro S.p.A. y Novozymes A/S. Pero ninguna de estas alcanza a superar el 10% del mercado (gráfico 15).

³⁰ No se tomaron en consideración los productores para autoconsumo, que en México presentan una participación significativa sobre el total de los agentes registrados (64%). Sin embargo, estos valores influyen sobre el total de los productos registrados que, de acuerdo con información de la [Plataforma Mexicana de Productores de Bioinsumos](#), alcanzan unos 678 productos biológicos. Frente a esta situación se considera información de una fuente alternativa (Dirección de Inteligencia Comercial, 2020).

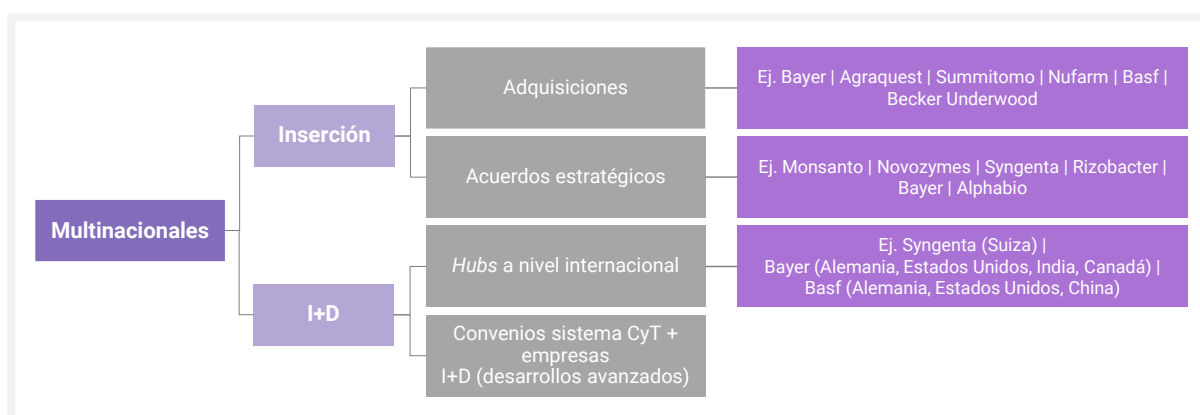
GRÁFICO 15. PRINCIPALES PRODUCTORES A NIVEL MUNDIAL SEGÚN SEGMENTO (2019)



Fuente: Starobinsky *et al.* (2022b).

Como se advierte, si bien los bioinsumos representan aún una porción marginal del mercado mundial de estimulantes y protección de cultivos –que alcanzó en 2019 los USD 249.000 millones–, varias de las empresas más importantes del mundo de los agroquímicos –considerablemente más concentrado– están incursionando en el desarrollo y producción de bioinsumos, y destinando una proporción cada vez más significativa de sus recursos de I+D para desarrollar nuevas tecnologías e incorporar estos productos a su oferta.

FIGURA 6. ESTRATEGIAS DE EMPRESAS MULTINACIONALES QUÍMICAS



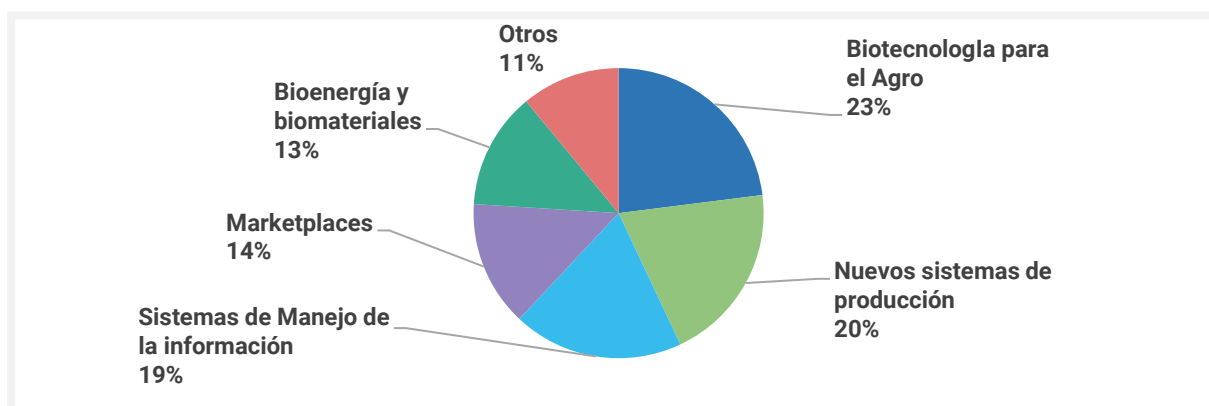
Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

Esa incursión se da a través de diversas estrategias. Por un lado, estas firmas avanzan con adquisiciones de empresas productoras de bioinsumos, lo que les permite incorporar tecnología desarrollada y probada en distintos países. Por otro lado, también conducen alianzas estratégicas con firmas ya establecidas, lo que les permite completar su oferta con productos biológicos a partir de asociaciones sinérgicas para el aprovechamiento de redes de distribución y comercialización (figura 6).

Por otro lado, apuntando a un proceso de mediano y largo plazo, las firmas multinacionales también han puesto en marcha *hubs* exclusivamente destinados a la investigación y desarrollo de bioinsumos, desde donde nutren a sus filiales. En conjunto con este esquema, llevan adelante acciones de relevamiento para identificar proyectos en estado avanzado en el marco de los sistemas científicos y tecnológicos locales, analizando la posibilidad de transferencias tecnológicas tanto para desarrollar productos a nivel local como para cubrir problemáticas en otros mercados. Así, se conforma un flujo del conocimiento multidireccional que puede surgir tanto de los *hubs* como de las filiales que funcionan como “antenas” para captar desarrollos de los ecosistemas locales.

Esas “antenas” también captan *startups* de base científico-tecnológica. El financiamiento de estas empresas, a través de fondos de capital de riesgo, ascendió en el vertical agrícola de unos USD 200 millones en 2006 a más de USD 4.500 millones en 2019. Si bien la mayor parte de estas firmas conducen desarrollos basados en el set de tecnologías asociadas al paradigma 4.0, uno de los principales segmentos de estas inversiones corresponde al de biotecnología para el sector agropecuario, entre las que se encuentran los desarrollos de bioinsumos (gráfico 16).

GRÁFICO 16. INVERSIÓN EN STARTUPS SEGÚN SEGMENTO (2019)



Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

Panorama local

El sector agrícola argentino: principales productos y mercados

Argentina se encuentra entre los principales productores agropecuarios y exportadores de alimentos a nivel mundial. Según estadísticas de la FAO, ocupó el octavo puesto en términos de superficie cultivada (hectáreas) en 2018 –último año disponible– y en 2019 se encontró entre los primeros diez países productores de granos (trigo, maíz), oleaginosas (soja, girasol), frutas (peras, durazno, uvas, membrillos), cítricos (limones, pomelos), legumbres (porotos verdes, maní) y otros cultivos (yerba mate, tabaco, té). A su vez, es un destacado productor de ganado y carne bovina, porcina, avícola y equina, así como de cultivos procesados (aceites, vinos, entre otros).

En términos de exportaciones ocupó las primeras posiciones de poroto de soja, maíz, pellets de soja y girasol, aceite de soja, maíz, girasol y maní, harina de trigo, productos forrajeros, peras, aceitunas, pasas de ciruela, y uva, limones, otras legumbres y productos. Por su parte, la exportación de frutas y verduras (frescas y preparadas) en su conjunto alcanzó un valor de USD 2.037 millones en 2019 (los principales productos fueron porotos, maní, peras, papas, limones, ajo, pasas de uva, frutos rojos, garbanzos, cebollas, y naranjas). De dicho total, el 34% tiene como destino Brasil, el 20% la Unión Europea, el 8% Estados Unidos y el 6% Rusia. A nivel regional Argentina es el sexto exportador de frutas y verduras; los principales exportadores de América Latina son México, Chile y Perú.

A su vez, se destaca la inserción de Argentina en el mercado mundial de productos orgánicos: ocupa el segundo puesto en términos de superficie bajo seguimiento orgánico, y el puesto 13 considerando la superficie orgánica en relación con la superficie total de uso agropecuario (la cual representa el 2,5%). En América Latina, Argentina, Uruguay y Brasil concentran el 85% de la superficie orgánica de la región. Si bien la mayor parte de dicha área se destina al cultivo de pasturas para la cría de ganado ovino (90% de la superficie), Argentina se encuentra también entre los principales países con hectáreas destinadas a cultivos orgánicos de frutas templadas, vid, olivo, legumbres y vegetales. En materia de exportaciones, el país ocupa el puesto 12 entre los países que abastecen de productos orgánicos a la Unión Europea, y se destaca, por ejemplo, que el 17% de las importaciones de frutas (excluidos cítricos) y un tercio del vino orgánico importados por dicha región provienen de Argentina.

La mayor parte de la producción orgánica del país –aproximadamente el 98%, equivalente a 156.000 toneladas– se destina al mercado externo, principalmente a Estados Unidos (44%) y la Unión Europea (41%); el consumo interno absorbe una proporción acotada, aunque presenta una tendencia creciente en los últimos cinco años. Por el contrario, las exportaciones de productos orgánicos muestran una tendencia decreciente, con una disminución anual promedio del 2% (en términos de cantidades), destacándose en 2019 una retracción del 6% respecto del año anterior.

Así, dada la especialización externa de Argentina tanto como proveedor de alimentos en general, como de frutas, verduras y productos orgánicos en particular, la difusión de bioinsumos cobra especial relevancia en el corto plazo ante las tendencias a nivel mundial de crecientes exigencias de calidad y consumo de alimentos orgánicos. En caso contrario, el país puede enfrentar el riesgo de perder de manera incremental cuotas de mercado a nivel internacional.

Mercado de bioinsumos en Argentina

Los bioinsumos agrícolas integran, junto a los agroquímicos (fertilizantes y pesticidas), el mercado de los insumos agrícolas. Como se describe más adelante, en el [proyecto 6](#) del Eje 2 (“Incrementar la resiliencia y la productividad de la agricultura para garantizar la seguridad alimentaria”), Argentina se encuentra entre los países que registran mayor consumo de agroquímicos a nivel mundial. A nivel nacional, las ventas en el mercado de agroquímicos

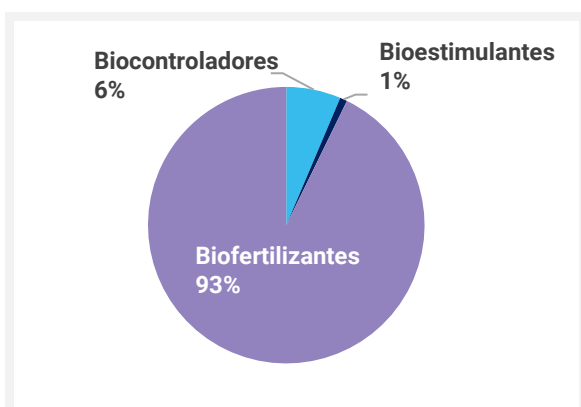
alcanzaron un valor aproximado de USD 2.800 millones en 2019, un incremento de más de 300% desde principios de siglo.

El mercado de insumos biológicos para la agricultura se estima en USD 80 millones, y el segmento principal es el de biofertilizantes de origen microbiano (inoculantes de nitrógeno), que representa más del 90% del mercado. Estos se emplean como complemento de la fertilización química y principalmente para el cultivo de soja. Si bien la mayor parte del mercado de inoculantes se concentra en la producción de soja, se está ampliando su uso hacia otros cultivos extensivos como trigo, maíz, girasol y sorgo, por lo que aún cuenta con perspectivas de crecimiento.

A su vez, en la última década se observa un mayor dinamismo del segmento de biocontroladores, traccionado por diversos factores como las mayores exigencias en los niveles máximos de residuos químicos en productos de consumo en fresco, como frutas y verduras; la creciente diversidad y cantidad de insumos biológicos ofrecidos en el mercado; y las estrategias de comercialización de las empresas del sector. De allí que, aunque el ritmo de difusión pueda estar resultando inferior al previsto en el pasado (Lagler, 2017, Mamani de Marchese y Filippone, 2018, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021), las expectativas de crecimiento se mantienen en línea con las tendencias a nivel internacional (Consejo de los Profesionales del Agro, Alimentos y Agroindustria –CPIA–, 2020, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

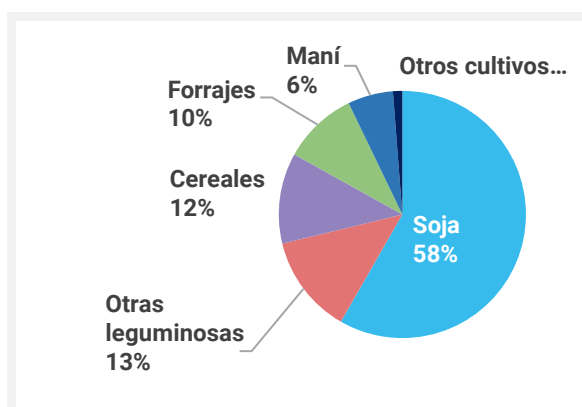
De acuerdo con los registros de SENASA, unas 109 empresas han registrado más de 689 productos, principalmente biofertilizantes, seguidos por biocontroladores y en menor medida bioestimulantes. La gran mayoría de los productos son elaborados a base de bacterias (*Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*) y en menor medida hongos (*Trichoderma*), destinados mayoritariamente a la producción de soja, seguida por la de otras leguminosas (maní, vicia, lenteja, arveja, garbanzo), cereales (trigo, maíz) y forrajes (alfalfa, trébol) (gráficos 17 y 18).

GRÁFICO 17. PRODUCTOS REGISTRADOS EN ARGENTINA



Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

GRÁFICO 18. BIOFERTILIZANTES REGISTRADOS SEGÚN CULTIVO OBJETIVO



Este mercado presenta un elevado nivel de concentración: cinco firmas son responsables de alrededor del 70% de la oferta. En particular, entre las principales empresas, cuatro iniciaron sus actividades en el país a principios de la década de 1980, y de ellas dos fueron adquiridas por compañías multinacionales (cuadro 3).

CUADRO 3. REGISTROS DE BIOFERTILIZANTES SEGÚN EMPRESA

Empresa	Controlante	Origen del capital controlante	Registros
Rizobacter	Bioceres	Argentina	118
Novozymes	Bayer	Alemania	34
Biagro	Bayer	Alemania	23
Nova	---	Argentina	21
Barenbrug (Palaversich)	Barenbrug	Países Bajos	18
Resto (105 empresas)	---	---	475

Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

La producción nacional de biocontroladores, por su parte, presenta un menor nivel de desarrollo con respecto a la de biofertilizantes. En efecto, de acuerdo con información de SENASA, este segmento se compone por unas 24 empresas (en su mayoría pymes de capital nacional) que han registrado 50 productos de los cuales la mitad corresponde a insecticidas y fungicidas a base de bacterias. En particular, no se encuentran registros de bioherbicidas, en línea con lo que ocurre a nivel mundial: los resultados de campo aún son escasos.

No obstante, la industria cuenta con una serie de biocontroladores adicionales ya desarrollados, pero registrados como biofertilizantes o acondicionadores. Como se mencionó anteriormente, ciertos componentes otorgan propiedades combinadas a los bioinsumos, pudiendo actuar a la vez como biofertilizantes y biocontroladores. Sin embargo, a pesar de encontrarse registrados como biofertilizantes, debe completarse un nuevo proceso ya que para el registro de estos productos como controladores biológicos debe cumplirse con una serie adicional de requisitos.

En ese sentido, entre las limitaciones más destacadas del sector se encuentra el proceso de registro de nuevos productos, así como la falta de control de calidad sobre aquellos comercializados en el mercado. Esta situación lleva a que exista cierta desconfianza por parte de los productores agrícolas en torno al empleo de insumos biológicos.

En síntesis, el segmento de biofertilizantes argentino es un mercado maduro que presenta una fuerte competencia vía precio entre los actores, mientras que el mercado de biocontroladores aún es un mercado en desarrollo y las empresas generalmente no compiten entre sí, sino que lo hacen con las firmas que producen agroquímicos.

Las empresas multinacionales de agroquímicos se diferencian por su tamaño relativo y la estructura que sostiene su actividad, lo que les permite integrar la totalidad de los eslabones de la cadena de valor y complementar su amplio portfolio de insumos con productos biológicos. Sin embargo, a nivel local estas firmas no realizan las tareas de aislamiento e identificación de nuevos agentes efectores, sino que se abastecen de los *hubs* internacionales de I+D, concentrándose a nivel nacional en la formulación y la producción.

Junto con ellas, en la industria se distinguen las empresas medianas y grandes de capitales nacionales, muchas de las cuales han sido pioneras a nivel local con la producción de inoculantes para semillas. En términos generales, se trata de empresas integradas y dinámicas que cuentan con equipos de I+D importantes e inversiones crecientes en torno a bioinsumos, lo que les permite formular sus propios productos y producirlos a gran escala en sus plantas. Estas firmas despliegan una activa política de vinculación con el subsistema científico-tecnológico, aprovechan las herramientas de apoyo provistas por el Estado nacional – especialmente la Agencia de I+D+i–, y establecen también alianzas con otras empresas y *startups* del sector.

Por su parte, con la difusión de inoculantes a nivel nacional, un número importante de pymes ha incursionado en este segmento produciendo biofertilizantes. La mayor parte de estas firmas no cuentan con equipos de I+D o son de tamaño sumamente reducido, por lo que generalmente no formulan sus productos y concentran su actividad en la comercialización y producción. Dentro de este estrato, ciertas firmas producen a fasón para empresas que cuentan con una marca más desarrollada y que operan dentro de este segmento como comercializadoras.

En términos generales, tomando en cuenta la morfología del mercado de bioinsumos, las firmas pequeñas desarrollan estrategias defensivas, focalizándose en la comercialización de los productos, los servicios posventa y la adaptación con mayor flexibilidad a las necesidades de los productores agrícolas. Las medianas y grandes consolidadas en el mercado nacional, por su parte, han avanzado en un proceso de internacionalización insertándose en mercados limítrofes como Paraguay y Uruguay. En tanto, las de mayor envergadura han logrado sumar otros destinos regionales como Brasil, Colombia y México, y otras incluso el mercado europeo y africano.

Otro aspecto para remarcar en el funcionamiento de las firmas del sector es la tercerización que presentan ciertas actividades tales como los ensayos a campo y, en particular, el aislamiento de nuevos agentes efectores. En muchas oportunidades estos últimos son provistos por las organizaciones públicas de ciencia y tecnología, como el INTA o las universidades nacionales.

Sin embargo, han comenzado a surgir proveedores privados a través de *startups* que conducen el aislamiento de agentes efectores, pruebas de concepto y desarrollo de formulaciones a cambio de un *royalty* o una participación en las ventas. Estos suelen ser emprendimientos muchas veces iniciados por personas con cierto recorrido en instituciones del ecosistema científico tecnológico, que muchas veces aprovechan su experiencia para funcionar como intermediarios en el proceso de transferencia o complementando las etapas de desarrollo para poder dar respuesta a requerimientos del sector privado.

Si bien en la actualidad la actividad productiva puede nutrirse de los desarrollos ya probados con los que cuenta el complejo científico-tecnológico, las tareas de identificación de nuevos agentes efectores implican un riesgo importante, en tanto no es posible saber con anticipación su efectividad ni cuál de ellos tendrá mejores resultados. Esta característica dificulta en consecuencia el acceso al financiamiento privado convencional, y se transforma así en una importante limitante para las pymes.

FIGURA 7. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL ECOSISTEMA EMPRESARIO



Las *startups* cumplen un rol importante en esa etapa de la cadena intensiva en I+D. A pesar de ello, este trabajo pudo relevar solo una incubadora especializada en proyectos de biotecnología, Bioloop, que se encuentra radicada en la Universidad de San Martín. Bioloop asiste emprendimientos del sistema científico-tecnológico con espacios de laboratorio, estrategia de patentamiento y formulación de proyectos para aplicar en programas del sector público, entre

otros aspectos. Más recientemente, la firma Terragene anunció la creación de una incubadora que contará no solo con espacios de laboratorio y personal especializado de apoyo para el desarrollo científico-tecnológico, sino también con fondeo de riesgo propio.

Para apuntalar el crecimiento de estos emprendimientos han surgido en los últimos años un conjunto de actores privados con estrategias de inversión de capital de riesgo, con montos que suelen ubicarse en niveles de capital semilla y hasta Serie A. En el marco de este trabajo, se relevaron tres aceleradoras de base científico-tecnológica que ofrecen un financiamiento inicial por proyecto de entre USD 50.000 y USD 500.000. En términos agregados, estas organizaciones cuentan con una cartera de proyectos orientados a biotecnología vegetal (por ejemplo, transgénesis), biotecnología para alimentos, agricultura de precisión y monitoreo de plagas (robótica y drones), entre otros. En el caso de los bioinsumos, se destacan iniciativas en el segmento de biocontroladores como el desarrollo de bioherbicidas a partir de extractos vegetales y plaguicidas, así como un proyecto con macroorganismos. Sin embargo, las estrategias de estos fondos de inversión los llevan a concentrarse en proyectos con potencial global y basados en tecnologías disruptivas, tesis que pocas veces se vincula con el abanico de desarrollos existentes en materia de bioinsumos.

Por último, en cuanto a la institucionalidad del sector, se puede mencionar la creación de la Cámara Argentina de Bioinsumos en 2017, conformada por gran parte de las empresas del sector y cuyo objetivo es posicionar la producción, investigación y desarrollo de bioinsumos para promover una agricultura eficiente y sustentable. A su vez, se destacan otras iniciativas como la conformación de una comisión de productos biológicos hacia el interior de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Dado el carácter emergente de esta industria, dichas iniciativas se encuentran en proceso de consolidación.

Grandes jugadores nacionales

Rizobacter Argentina S.A.

La empresa de capitales nacionales inició sus actividades a finales de la década de 1970 produciendo inoculantes. A lo largo de estos años, atravesó un importante crecimiento impulsado por el proceso de expansión del cultivo de la soja en Argentina, de manera conjunta con una fuerte inversión en las actividades de I+D. En la actualidad sus ventas alcanzan alrededor de USD 120 millones, de los cuales cerca del 25% corresponde a exportaciones.

La firma ofrece soluciones principalmente para cultivos extensivos (soja, trigo, maíz, arroz, legumbres), y sus principales líneas de productos son los inoculantes, curasemillas, coadyuvantes, packs y fertilizantes. En lo que refiere a los productos biológicos, se encuentra enfocada en biofertilizantes a base de microorganismos (bacterias y hongos), en promotores de crecimiento y también ofrece en el mercado un biofungicida.

En la actualidad, Rizobacter cuenta con una importante participación a nivel tanto nacional como internacional, es el principal productor de inoculantes en Argentina y un destacado jugador a nivel mundial, con cerca del 30% y 4% de ese segmento respectivamente. En lo que

refiere al mercado de biofungicidas, su participación aún es reducida ya que se trata de un producto relativamente nuevo y para el que compite con firmas del sector de agroquímicos, con mayor trayectoria.

Cabe destacar que la firma avanza con una estrategia expansiva hacia los mercados internacionales, buscando incrementar la participación de las exportaciones en su facturación. En la actualidad comercializa sus productos en más de 60 países y cuenta con filiales en Brasil (la más importante del grupo), Paraguay, Uruguay, Colombia, Sudáfrica, India, Estados Unidos y Francia.

Gran parte de la demanda es abastecida desde su planta de Pergamino donde cuenta con infraestructura y equipamiento para producir inoculantes con una capacidad de 200.000 dosis/día, y otra para la producción de fertilizantes microgranulados desarrollada en conjunto con De Sangosse. Aquí ha instalado también su Centro Estratégico de Negocios, que en conjunto con su planta emplea a alrededor de 500 personas. Por último, la firma también cuenta con instalaciones productivas en Brasil y actualmente se encuentra avanzando en la construcción de una segunda planta para la producción de adyuvantes.

Otro aspecto destacado de Rizobacter son los cerca de 60 convenios establecidos con diversas organizaciones, algunos de los cuales le permiten incorporar nuevos productos a su portafolio. Se puede mencionar los casos de Syngenta, con la cual tiene un acuerdo estratégico de comercialización de curasemillas y packs, De Sangosse para la producción de fertilizantes, y Marrone para bioestimulantes.

Esto mismo también resulta sumamente significativo en el área de I+D: luego de su adquisición por el grupo Bioceres, la firma avanza hacia un esquema de innovación abierta. Rizobacter ha firmado más de 20 convenios (tanto con el sector público como privado) para llevar a cabo tareas de investigación y transferencia. A partir de ello, por ejemplo, se nutre de gran parte de las cepas que utiliza, lo que también le permite avanzar con desarrollos, como es el caso de Rizoderma (convenio con el INTA).

Protergium - Terragene

Protergium surge como un desprendimiento de Terragene, luego de que en 2016 inauguraran un laboratorio dedicado exclusivamente a tecnologías de bioinsumos. Esta exclusividad de alguna manera también se ve reflejada en su oferta comercial: no incluyen productos químicos y se concentran en productos con menor desarrollo a nivel local, como bioestimulantes.

Terragene está invirtiendo alrededor de USD 8 millones para la puesta en marcha de una planta de 7.600 metros cuadrados, con cámaras de ensayos y áreas de fermentación, preparada para hacer los 400.000 litros de bioinsumos por mes, lo que la ubicaría como la de mayor capacidad productiva a nivel nacional. Al igual que Terragene, Protergium integrará la totalidad del proceso productivo ya que, junto con la formulación y la producción, la firma cuenta con un cepario propio.

Así, a partir de los estudios elaborados a base de *Trichoderma* y *Bacillus*, Protergium logró desarrollar tres productos para su aplicación en cultivos de soja y trigo, de los cuales uno es una vacuna bioestimulante compuesta por un consorcio microbiano. Recientemente, la firma ha desarrollado un acuerdo con Helms, empresa de agroquímicos alemana, a los fines de impulsar la comercialización de estos bioinsumos tanto a nivel local como internacional (Brasil, Colombia y México).

Por último, cabe destacar que desde Terragene se inició un proceso de inversión para la puesta en marcha de una incubadora de proyectos de biotecnología (UOVO). Para ello, la firma estructurará un fondo de inversión de capital de riesgo para financiar entre USD 200.000 y USD 600.000 en cada proyecto, a la vez que dispondrá de un equipo de 20 biotecnólogos para acompañar su avance.

YPF-AGRO

YPF-Agro inició sus actividades en 2001 como desprendimiento de un segmento de YPF, que concentra su actividad en el abastecimiento de combustible a las explotaciones agrícolas. En la actualidad la firma cuenta con el segmento dedicado a la venta exclusiva de combustibles y lubricantes, y otro con una cartera de productos para la protección y nutrición de cultivos, y también de semillas y silobolsas.

Dentro de Y-TEC, el centro de desarrollo tecnológico conjunto entre YPF y CONICET, el eje estratégico de "Sostenibilidad ambiental" contempla desarrollar productos más sustentables a partir de una mejor efectividad en las distintas líneas de insumos agrícolas. YPF Agro, que produce y también adquiere productos químicos por parte de terceros (en algunos casos ya formulados y en otros en instancia de formulación), logró a través de Y-TEC introducirse en segmentos de mercado basados en la diferenciación de productos, como por ejemplo a partir de los avances basados en nanotecnología. En cuanto a bioinsumos, esta estrategia se concentra hasta hoy en desarrollos propios basados en hongos y bacterias. Así, recientemente ha lanzado al mercado el Y-TERRA Pack Trigo y el Pack Soja, dos biofertilizantes que a la vez pueden funcionar como biofungicidas.

Estrategias empresarias globales y ecosistema local: implicancias para la política pública

A partir del análisis integral de las tendencias del mercado de bioinsumos a nivel internacional y nacional, junto con las capacidades de investigación, desarrollo, producción y comercialización de los subsistemas científico-tecnológico y empresarial se identifica una serie de oportunidades para Argentina, para su proyección como país desarrollador, y no solo adoptante, de estas tecnologías.

Dichas oportunidades se presentan en función del tamaño de mercado (tanto de bioinsumos específicamente como del impacto en los mercados de productos agrícolas a través de su uso), y de su factibilidad en relación con las capacidades y recursos existentes y potenciales, enmarcándose en distintos momentos de tiempo (corto plazo: 1 a 3 años; mediano plazo: 3 a 6

años; largo plazo: más de 6 años). Como contrapartida, se identifican ciertas amenazas o riesgos que puede llegar a enfrentar el país en caso de no fortalecer sus capacidades en torno al desarrollo de bioinsumos y de no abordar los espacios de mejora. Tanto las oportunidades como las amenazas identificadas se sintetizan a continuación.

Oportunidades de mercado para el desarrollo y producción de bioinsumos

Corto plazo

1. Bioinoculantes para el mercado interno y externo: si bien se trata de un mercado maduro a nivel nacional, principalmente para la producción de soja, estos productos pueden extenderse hacia otros cultivos extensivos (trigo, maíz, girasol, sorgo) y cuentan con potencialidad de inserción en mercados externos.
2. Biocontroladores para cultivos de exportación: ante las crecientes exigencias en los niveles máximos de residuos químicos en alimentos (en particular para consumo en fresco como frutas y verduras) por parte de ciertos mercados como los de los países de la Unión Europea y Estados Unidos, los productores enfrentan la necesidad concreta de utilizar bioinsumos en estos cultivos (que tienen relevancia principalmente en economías regionales) por lo que su uso presenta una tendencia creciente.

Mediano plazo

3. Bioestimulantes y biocontroladores mercado externo: el dinamismo de la demanda de bioinsumos a nivel internacional, junto a las regulaciones crecientes en torno a la implementación de agroquímicos e inocuidad de los alimentos, presenta una destacada oportunidad en términos de provisión de tecnologías y nuevos productos, en la medida en que se avance con los procesos de registro en distintos países.
4. Adoptante temprano de bioinsumos: la alta potencialidad de complementariedad con agroquímicos para todos los cultivos puede promover mayores rendimientos y calidad en la producción agrícola. Transformarse de manera temprana en una referencia en la adopción de bioinsumos podría implicar ventajas de acceso a mercados internacionales y, por lo tanto, incrementos en las exportaciones.

Largo plazo

5. Bioinsumos (mercado externo): la creciente cantidad de anuncios por parte de diversos países que planifican de manera paulatina la reducción del uso de agroquímicos para los próximos años puede materializar la fuerte ampliación de los mercados de bioinsumos a nivel internacional.
6. Sustitución de agroquímicos e importaciones: a medida que se avance sobre nuevos desarrollos de productos biológicos, así como sobre su efectividad, consistencia y dosificación, los bioinsumos se presentan como potenciales sustitutos de una creciente diversidad de agroquímicos (gran parte de los cuales son importados por parte de Argentina).

7. Bioherbicidas: la mayor oportunidad en términos de tamaño de mercado es la de productos biológicos para el combate de malezas como reemplazo del glifosato y otros productos químicos (ante los cuales las malezas desarrollan creciente resistencia). Si bien en la actualidad no existen este tipo de productos en el mercado, el avance de las líneas de investigación que se encuentran en proceso puede conducir a su reemplazo.

Amenazas para el desarrollo de bioinsumos

Corto plazo

1. Pérdida de mercados de exportación de frutas y verduras: ante las mayores exigencias de los mercados internacionales y la baja adopción de biocontroladores, en caso de no profundizar su desarrollo, producción y difusión a campo para cumplimentar con estas, Argentina enfrenta el riesgo de perder los mercados de frutas y verduras en los que se encuentra inserta.

Mediano plazo

2. Importación de biocontroladores: ante las tendencias mencionadas del mercado de bioinsumos y las regulaciones internacionales, su difusión a campo puede darse a través de la importación de estos productos desde países que se encuentran más avanzados (por ejemplo, Brasil, Chile, Colombia, entre otros), tanto de manera complementaria al uso de agroquímicos como a partir de su sustitución.
3. Importación de bioestimulantes: la mayor difusión y comprobación a campo de los resultados en términos de mayores rendimientos y calidad de la producción agrícola, junto con un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y una mayor captura de carbono, puede promover una creciente demanda de bioestimulantes que, en caso de no contar con desarrollos locales y mayor producción, puede llegar a ser cubierta por productos importados.

Largo plazo

4. Menores rendimientos por erosión de nutrientes del suelo: el balance negativo en el consumo de nutrientes del suelo debido a la falta de fertilización (práctica que se eficientiza a través de la incorporación de productos biológicos en los esquemas productivos), puede verse reforzado en caso de no adoptarse y difundirse estas prácticas.
5. Importación de bioherbicidas: el creciente interés a nivel mundial por la búsqueda de nuevas soluciones para el combate de malezas, dado el tamaño de mercado de herbicidas, puede llegar a promover que su reemplazo a nivel nacional se dé a través de bioherbicidas importados. Así, las capacidades de producción actualmente existentes en el país pasarían "a pérdida".

Sobre los bioinsumos aplicados a la ganadería

La cadena de nutrición animal genera productos y servicios vinculados a la dieta, digestión, crecimiento y productividad del ganado, entre los cuales se encuentran: los suplementos nutricionales; los aditivos alimentarios microbianos que mejoran el procesamiento de los alimentos o el sistema inmune, aquellos aditivos alimenticios o tratamientos que disminuyen la metanogénesis³¹ en el rumen; y los promotores del crecimiento que se adicionan al alimento o se inyectan al ganado.

La nutrición a partir de alimento balanceado o piensos compuestos permite alimentar al ganado con una mezcla de materias primas y suplementos, procedentes de sustancias vegetales, animales, orgánicas o inorgánicas, o de procesos industriales, contengan o no aditivos. Otros ejemplos de diferentes tipos de productos generados por esas tecnologías son las vitaminas, minerales, proteínas celulares de microorganismos, L-aminoácidos, enzimas, forrajes modificados, bacterias que producen hormonas o enzimas para mejorar el aprovechamiento de los nutrientes o microorganismos que fortalecen el sistema inmune, ácidos grasos poliinsaturados, ionóforos, somatotropina recombinante bovina (estimula el crecimiento de tejidos y la producción de leche), implantes anabólicos hormonales (estrógenos y andrógenos), bio aditivos alimenticios no nutritivos y agentes de repartición (β -agonistas).

Al analizar las alternativas de producción, los bioinsumos aplicados a la ganadería engloban a todo producto basado en micro o macroorganismos vivos, así como compuestos y/o extractos derivados de ellos u otras fuentes biológicas, capaces de mejorar el rendimiento, calidad y/o sanidad al aplicarlos en la producción ganadera.³²

Las tecnologías implementadas para la alimentación animal son generalmente nutrientes obtenidos a través de procesos de fermentación y forrajes con mejores características nutricionales obtenidos por biotecnología vegetal. Para la digestión animal, en el caso de aditivos microbianos, se utilizan los probióticos y las bacterias recombinantes. Los bacteriófagos son virus capaces de infectar a la mayoría de las bacterias. Se encuentran fácilmente en la mayoría de los entornos colonizados por bacterias, y también se han estudiado para aplicar en la nutrición animal (Allen *et al.*, 2014) contra los patógenos transmitidos por los alimentos y la formación de biopelículas en la industria láctea (Fernández *et al.*, 2017). Entre los aditivos microbianos que disminuyen las metanogénesis predominan los suplementos obtenidos por fermentación, vacunas recombinantes y control microbiológico del rumen

³¹ Entendiendo por metanogénesis a la etapa del proceso digestivo que ocurre en rumiantes, mediante el cual se produce el gas CH₄ (metano). El CH₄ generado contribuye al aumento del efecto invernadero y reduce la retención de energía en los animales, por tanto, es importante el desarrollo de diferentes dietas y aditivos que permitan aumentar la eficiencia digestiva y reducir las emisiones de CH₄.

³² Si bien en la industria los insumos biológicos se encuentran asociados comúnmente de manera exclusiva a vacunas, en este proyecto se consideran los insumos biológicos aplicados tanto a sanidad animal como al resto de la cadena vinculada a la ganadería, particularmente, a los efectos positivos de la nutrición en el rendimiento agropecuario.

(transferencia de microorganismos del rumen procedentes de otras especies). Por su parte, para aumentar la producción y mejorar la productividad del ganado se aplican promotores del crecimiento y modificadores metabólicos recombinantes u obtenidos de fuentes biológicas.

Con relación a la sanidad animal, el ganado es susceptible a numerosas enfermedades infecciosas causadas principalmente por virus, bacterias y parásitos, pero también pueden verse afectados por trastornos no infecciosos de origen genético o generados por el consumo de plantas tóxicas, mal manejo nutricional, deficiencias de minerales, escasez de disponibilidad de agua y otros factores. Por ser tan abarcativa, una forma de comprender esta cadena de valor es dividiéndola en sus etapas de diagnóstico, tratamiento y prevención. En la primera pueden diagnosticarse enfermedades tanto infecciosas como genéticas, por lo cual se aplican técnicas diferenciadas. En el caso de las infecciosas se utilizan técnicas serológicas (ELISA, por ejemplo), moleculares (PCR, RFLP) o de identificación de genes de resistencia a patógenos. Para las genéticas pueden aplicarse técnicas moleculares de identificación de genes asociados a ellas. Algunos ejemplos de productos y servicios vinculados a enfermedades infecciosas son los tests de diagnóstico para leucosis, leptospirosis, brucelosis, tuberculosis y *Mycoplasma bovis* (mastitis y enfermedad respiratoria). En el caso de las genéticas se encuentran los diagnósticos de deficiencia de adhesión de leucocitos en bovinos (BLAD), de la Malformación Vertebral Compleja (CVM), del gen LIMBIN en bovinos, y del síndrome de estrés porcino (SSP), entre otros.

Los principales productos utilizados para el tratamiento de enfermedades son medicamentos basados en moléculas pequeñas, como antiparasitarios, antibióticos, antisépticos, bactericidas y fungicidas tópicos, mientras que en el campo de los biológicos se pueden encontrar algunos antiparasitarios de origen vegetal y, de forma incipiente, algunas hormonas recombinantes como la gonadotropina coriónica recombinante. En el caso de la prevención de enfermedades, las vacunas y anticuerpos, por un lado, y el control de los vectores de enfermedades infecciosas, por el otro, son los principales *outputs* de esta cadena. Las principales tecnologías utilizadas en el primer caso son las vacunas tradicionales, las recombinantes y los alimentos con vacunas o anticuerpos incorporados. Estas permiten prevenir enfermedades infecciosas como rotavirus, *Escherichia coli*, conjuntivitis, tétanos. Para el control de vectores suele utilizarse la técnica del insecto estéril (TEI), es decir, la cría masiva de insectos estériles (naturales esterilizados o modificados estériles) y su posterior liberación. Un ejemplo de esto último es la propagación de machos estériles del gusano barrenador, una plaga mortal para el ganado.

El desafío hacia 2030

El incremento demográfico, la urbanización acelerada, la mayor preocupación por el ambiente y la salud son algunos factores que influyen en los cambios sobre el tipo y calidad de los productos alimenticios de origen animal (carne, leche, huevos, etc.) demandados en todo el mundo. Por ejemplo, la contaminación patógena y parasitaria en productos cárnicos, sumado a brotes de enfermedades entre los animales de ganado, han generado inquietudes sobre la calidad y la seguridad de los alimentos de origen animal (Mordor intelligence, 2022a). La seguridad alimentaria se ha convertido en un tema de relevancia mundial.

Se estima que hacia 2050 se va a necesitar 73% de proteína animal para satisfacer la creciente demanda a nivel global (FAO, 2011). Actualmente, más del 20% de las pérdidas de la producción animal destinada a alimentación se vinculan con las enfermedades animales. Además, las enfermedades animales representan una amenaza directa para los ingresos de las comunidades rurales que dependen de la producción ganadera (OMSA, 2021), entre otros riesgos sanitarios globales actuales y potenciales.

Es por esto que en la actualidad las y los consumidores se preguntan cada vez más sobre el origen y calidad de lo que consumen, sobre todo en lo que se refiere a los alimentos provenientes de animales. En la nutrición animal, los antibióticos aplicados en los piensos compuestos³³, además de utilizarse por sus propiedades antimicrobianas, se utilizan como agentes promotores del crecimiento y potenciadores del rendimiento: al favorecer el control de la flora bacteriana se aprovechan mejor los nutrientes y se genera un aumento considerable de peso. De hecho, se estima que el 73% de los antimicrobianos (principalmente antibióticos) son consumidos por la industria ganadera a nivel global (Van Boeckel *et al.*, 2019). Las tetraciclinas, las penicilinas, las sulfonamidas y los macrólidos son algunos de los principales antibióticos utilizados en este sector. Un estudio de 2015 también estima que el uso global de antibióticos en la ganadería aumentará un 67% entre 2010 y 2030, principalmente debido al incremento en el uso en los países en desarrollo como Brasil, China e India (Van Boeckel *et al.*, 2015).

Las bacterias farmacorresistentes, los virus y los parásitos pueden circular en poblaciones de seres humanos³⁴ y animales a través de los alimentos, el agua y el ambiente, y en la transmisión influyen el comercio, los viajes, la migración humana, etc. Puede haber bacterias resistentes en los animales destinados a la alimentación y en los productos alimentarios destinados al consumo humano (OMS, 2016). Por lo tanto, la denominada “resistencia antimicrobiana” (RAM)³⁵ podría aumentar el número de infecciones resistentes a los medicamentos tanto en animales como en humanos (Bush *et al.*, 2011) al punto de convertirse en una amenaza para las generaciones futuras, teniendo en cuenta que las enfermedades bacterianas son una de las principales causas de muerte a nivel global (Shallcross *et al.*, 2015).

Por lo expuesto, el principal desafío en las cadenas de nutrición y sanidad animal es impulsar innovación que permita ampliar la diversidad de cepas microbianas como pre y probióticos disponibles para desarrollar soluciones adaptables a las diversas especies animales. La sostenibilidad de los alimentos balanceados para animales tiene como base el desarrollo de soluciones de prevención para garantizar un uso limitado y responsable de los antibióticos a través del dominio del microbiota y la inmunidad.

³³ El pienso compuesto, o simplemente pienso, es un alimento para animales, constituido por una mezcla de materias primas que son transformadas o no con el fin de lograr un alimento nutritivo y sano.

³⁴ Por ejemplo, los riesgos de exposición a cultivos tratados con agentes antimicrobianos o contaminados por abono o estiércol líquido, y las escorrentías agrícolas hacia las aguas subterráneas.

³⁵ Se refiere a la resistencia presentada por distintos microorganismos patógenos (bacterias, virus, hongos, parásitos) a los agentes que se utilizan en salud humana y animal para combatirlos, limitando las opciones terapéuticas para distintas enfermedades infecciosas.

Las potenciales estrategias

Para Van Boeckel *et al.* (2017), el uso de antimicrobianos en los animales destinados al consumo podría reducirse para 2030, ya sea con políticas que disminuyan la cantidad de antimicrobiano utilizado por animal o la cantidad de animales destinados a la producción de alimentos. Los escenarios planteados son:

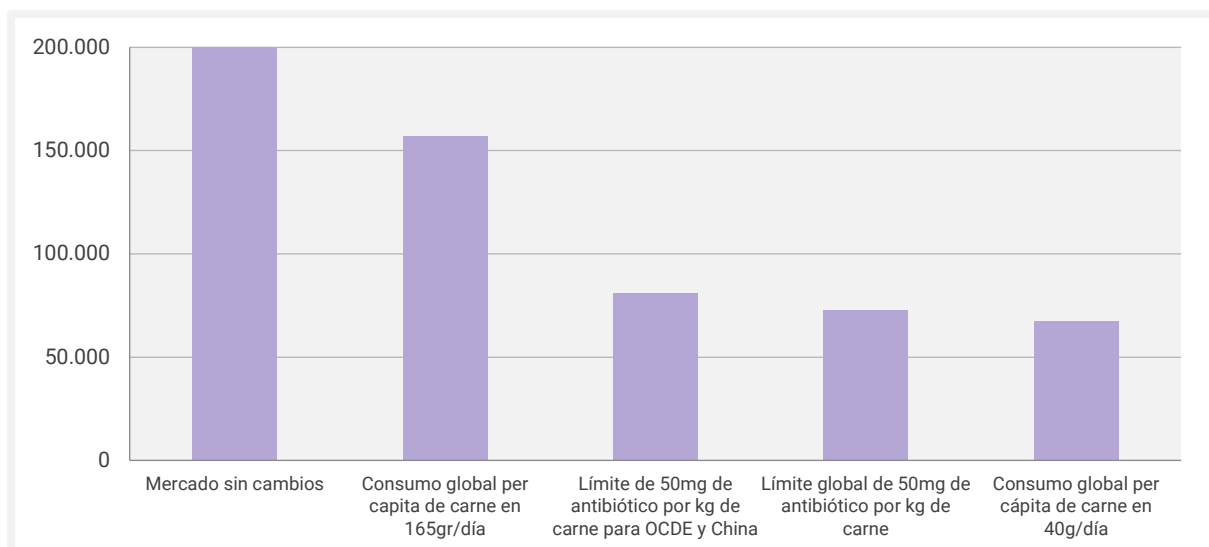
1. Si existiera una regulación global que estableciera un tope de 50 mg de antimicrobianos por unidad de peso animal (PCU) por año (la cantidad promedio global actual) podría reducir el consumo total en un 64%.
2. Si se estableciera una regulación para que los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y China adopten esa regulación, el consumo global en 2030 ya se reduciría en un 60%.
3. Si se limitara el consumo de carne en todo el mundo a 40 gr./día (el equivalente a una hamburguesa estándar de comida rápida por persona), podría reducir el consumo mundial de antimicrobianos en los animales destinados al consumo en un 66%. Esta reducción es comparable con lo que podría lograrse a través de regulaciones dirigidas al uso de antimicrobianos (incisos 1 y 2). Sin embargo, el consumo de carne en los Estados Unidos actualmente tiene un promedio de 260 g/día.
4. Con un límite global más realista de 165 gramos de carne/día (promedio proyectado de la Unión Europea en 2030), el consumo global de antimicrobianos podría reducirse en un 22%. Por lo tanto, la reducción del consumo de carne podría tener beneficios sustanciales en la resistencia a los antimicrobianos, así como otros problemas ambientales y de salud humana.
5. La imposición de un impuesto del 50% del precio actual a los antimicrobianos veterinarios podría reducir el consumo mundial en un 31%. Dicha política también generaría ingresos anuales entre USD 1.700 millones y USD 4.600 millones, considerando que el nivel de inversión necesario para el desarrollo de un nuevo compuesto antimicrobiano suele ser de USD 1.000 millones de dólares.

En el gráfico 19 se reflejan los distintos escenarios propuestos por Van Boeckel *et al.* (2017) para dimensionar las toneladas anuales de antibióticos que podrían dejar de consumirse en cada uno.

Más allá de los posibles escenarios antes mencionados, en la actualidad la demanda de alimentos de origen animal sin antimicrobianos está aumentando en todo el mundo debido a que el uso excesivo e indebido de los mismos está contribuyendo a la creciente amenaza de la RAM. A partir de un relevamiento de la consultora Nielsen se sabe que el incremento del consumo de productos alimenticios sostenibles (incluidos los de origen animal sin antibióticos) en Estados Unidos fue de casi el 30% entre 2011 y 2015, y de 45% entre 2016 y 2017. De este modo, las ventas de este tipo de productos sostenibles en Estados Unidos aumentaron casi un 20% entre 2014 y 2018, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 3,5% (Gelski, 2019).

Esto evidencia que la necesidad de disminuir el consumo global de antimicrobianos y el aumento de las ventas de productos de origen animal libre de antimicrobianos (particularmente antibióticos) en los últimos años genera incentivos para que la industria reduzca su uso y los reemplace con productos sostenibles vinculados a lo biológico.

GRÁFICO 19. PROYECCIÓN DEL USO GLOBAL DE ANTIBIÓTICOS EN GANADO BAJO DISTINTOS ESCENARIOS. EN TONELADAS ANUALES, AÑO 2030



Fuente: elaboración propia con base en Van Boeckel *et al.* (2017).

En este contexto, las empresas productoras de alimentos de origen animal tienen como alternativa concreta la adopción de estrategias adecuadas con respecto a la seguridad alimentaria y el bienestar de los animales para:

- Compensar la pérdida sistémica de producción ganadera global.
- Satisfacer las nuevas tendencias de demanda de las y los consumidores.
- Adecuarse a las restricciones comerciales que cada vez más países están implementando por la RAM.

Por último, otras alternativas incluyen enfoques preventivos para mantener a los animales más saludables y así reducir la necesidad de antibióticos. Estos incluyen mejorar las condiciones de vida de los animales, estimular la inmunidad natural a través de una mejor nutrición, aumentar la bioseguridad, implementar mejores prácticas de manejo e higiene y garantizar un mejor uso de la vacunación. Esto refleja en cómo las empresas alimentarias han estado prestando atención a las nuevas tendencias de consumo y han ajustado sus prácticas de nutrición y sanidad animal. Por caso, importantes empresas a nivel global han tomado medidas para eliminar el uso rutinario de antibióticos ([Tyson](#), [JBS](#), [Pilgrim's Pride](#), [Cargill](#) y [Perdue Farms](#), entre otras) a fin de conservar a sus clientes, quienes tienen cada vez más opciones al momento de cambiar a fuentes de proteínas de origen vegetal (ver [apartado 6.1.3](#), sobre alimentos innovadores).

Entre algunas de las estrategias de las empresas mencionadas para adaptarse a las nuevas tendencias de la demanda se encuentran:

- Identificación (a partir de etiquetado individual) y vacunación del ganado.
- Revisión diaria del ganado en busca de lesiones y enfermedades.
- Con lo anterior, en caso de identificar la necesidad de cuidados adicionales, el animal es trasladado a otra área para brindarle un tratamiento antimicrobiano específico en caso de ser necesario, bajo la dirección de veterinarios y técnicos en salud animal.
- Programas integrales de bioseguridad diseñados e implementados para prevenir la introducción de enfermedades infecciosas al ganado, aves de corral, etc. a través de vectores humanos y animales o equipos contaminados en operaciones de la fábrica de alimentos, entrega de productos, transporte, administración de vacunación y salud, visitantes y auditores.
- En caso de animales de criadero (aves de corral, etc.), verificación de las condiciones de ventilación, la calidad del aire, el agua, las líneas de alimentación y la calidad del material de cama, observando de cerca la salud ocular o signos de cojera.
- Aplicación de suplementos naturales en la nutrición animal para evitar enfermedades y, por ende, la consecuente utilización de antibióticos.

Las actualizaciones en las formulaciones de alimentos, como la composición de la materia prima, para satisfacer las necesidades de los animales en diferentes etapas de crecimiento, y la gestión de la producción de alimentos, como la necesidad de actualizar la tecnología de procesamiento de alimentos y cambiar la formulación, son los factores cruciales que se espera que afecten a los fabricantes de alimentos balanceados a nivel global. En definitiva, las estrategias de las empresas de la cadena enlistadas en esta sección buscan evitar un uso excesivo de antimicrobianos en los animales, compensando además con la creciente implementación de bioinsumos, lo cual reduce considerablemente las posibilidades de resistencia a estos productos y sus consecuencias en la salud animal y humana.

En síntesis, el desafío actual se centra en encontrar compuestos que logren los mismos resultados beneficiosos en la producción que los antimicrobianos como promotores de crecimiento, sin los efectos adversos del uso de Estos para tal fin. Entre las alternativas propuestas se encuentran las enzimas exógenas, los probióticos, los prebióticos y los aditivos fitogénicos, entre otros. Idealmente, las opciones para el reemplazo de los antimicrobianos como promotores de crecimiento deberían brindar tan buenos resultados como ellos. Sin embargo, hasta el momento ninguno de los compuestos propuestos compensa totalmente las pérdidas ocasionadas por el retiro de los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento (AGP, por la sigla en inglés de *antibiotic-based growth promoters*), cuando son usados individualmente.

La oportunidad de desarrollo local

El desafío planteado puede convertirse en una oportunidad de desarrollo para Argentina: la adopción de tecnología en los procesos de producción ganadera para mejorar el bienestar animal, aprovechando las capacidades nacionales en nutrición y sanidad animal, permitiría un incremento de los rendimientos al aumentar la productividad y la competitividad en carnes, leches y subproductos. Ante la problemática de la resistencia microbiana a los antibióticos sintéticos antes mencionada, en Argentina está creciendo en forma sostenida tanto la utilización de compuestos prebióticos y microorganismos probióticos como de extractos botánicos (tales como los aceites esenciales, taninos y saponinas). En este contexto, los medicamentos biotecnológicos están reemplazando de manera creciente a los biológicos extractivos. Los primeros tienen diversas ventajas sobre los segundos, entre las que se destacan mayores rendimientos, niveles de bioseguridad y bienestar animal. La principal diferencia reside en que los medicamentos biotecnológicos están basados en técnicas de ADN recombinante o hibridomas y se producen a partir de cultivos celulares de microorganismos o células animales; mientras que los biológicos extractivos se obtienen de la sangre u otros fluidos de animales superiores vivos. Los bioinsumos destinados a la sanidad animal están contemplados por el SENASA en la [Resolución N°1642/2019](#) al establecer el marco regulatorio para la importación, exportación, elaboración, tenencia, fraccionamiento, distribución y/o expendio de productos veterinarios en Argentina (CPIA, 2020, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021). Por su parte, el reemplazo de los medicamentos químicos, como los antibióticos (los cuales no solo se utilizan para sanidad sino también para aumentar la productividad; ver en anexo 3: “Antibióticos como promotores de crecimiento y alternativas más saludables”) por opciones biológicas, es aún más incipiente. Además, el desarrollo de nuevas vacunas recombinantes implica desafíos en relación con la bioseguridad, la eficacia y/o la facilidad de uso que aún limitan su capacidad para reemplazar el uso de antibióticos. Superar estos desafíos requerirá una estrecha colaboración y nuevos enfoques innovadores. Una de las causas de la falta de avance de sustitutos de los antibióticos recae en el costo de la I+D que aún se requiere invertir.

El análisis del panorama global y local de la sanidad y nutrición animal se vuelve relevante para conocer si Argentina tiene el potencial de jugar un rol predominante en esa búsqueda. Por lo expuesto, la planificación del desarrollo agropecuario a 2030 tiene que enfocarse en la mejora de los rendimientos³⁶ de la cadena agroalimentaria local con capacidades tecnológicas nacionales, tanto para lograr una producción sustentable de alimentos de origen animal, como para desarrollar soluciones biotecnológicas que vuelvan a esos productos más saludables y ecológicamente sostenibles.

A continuación, se expone el escenario actual de los bioinsumos aplicados en la ganadería para la nutrición y sanidad animal, junto a las perspectivas y los desafíos en la producción sostenible

³⁶ Se utiliza rendimiento como medida de la cantidad producida de carne, leche y/o subproductos, por unidad de superficie de tierra.

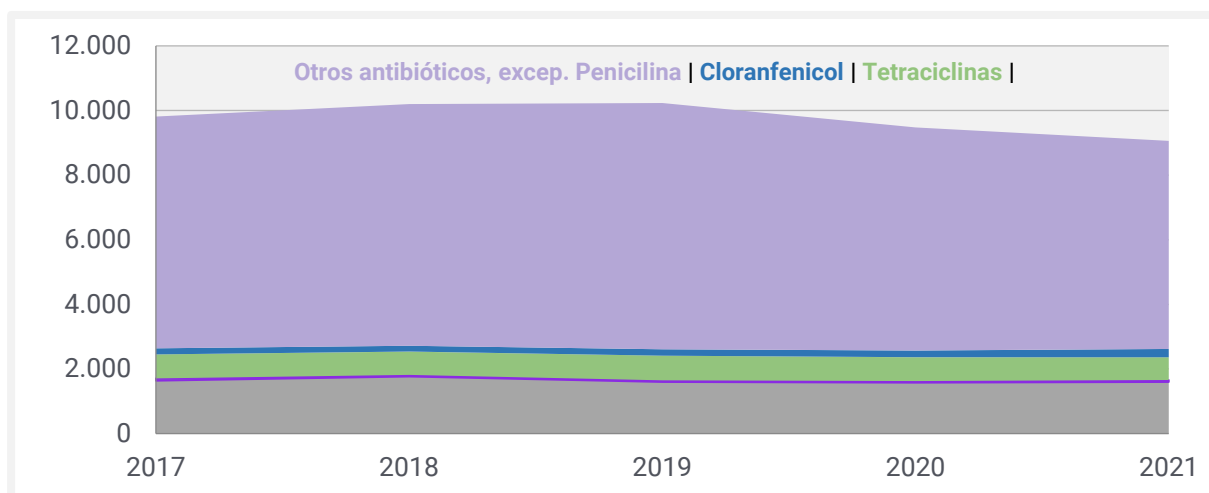
de estas cadenas, presentando las alternativas de producción con base biotecnológica y la perspectiva futura de inserción de Argentina en el paradigma actual.

El mercado global de antimicrobianos

Como se mencionó previamente, el 73% de los antimicrobianos (principalmente antibióticos) son consumidos por la industria ganadera a nivel global (Van Boeckel *et al.*, 2019). En 2021, a partir de datos de International Trade Centre (Trade Map), se comercializaron USD 9.427 millones en concepto de antibióticos a nivel global (incluyendo a los destinados para la salud humana). Al analizar los productos comercializados, el mercado global de antimicrobianos está segmentado en tetraciclinas, penicilinas, estreptomicinas, sulfonamidas, macrólidos, aminoglucósidos, lincosamidas, fluoroquinolonas y cefalosporinas, principalmente. La tendencia del flujo comercial que se observa en el gráfico 20 se puede atribuir, por un lado, a la creciente demanda de productos alimenticios de origen animal y el aumento de la incidencia de enfermedades zoonóticas; por el otro, a las crecientes restricciones comerciales por parte de los países desarrollados a través de la implementación de regulaciones para prevenir su propagación (como medidas paraarancelarias a productos alimenticios de origen animal que hayan utilizado antimicrobianos durante el proceso de producción), que explicarían la caída entre 2019 y 2021.

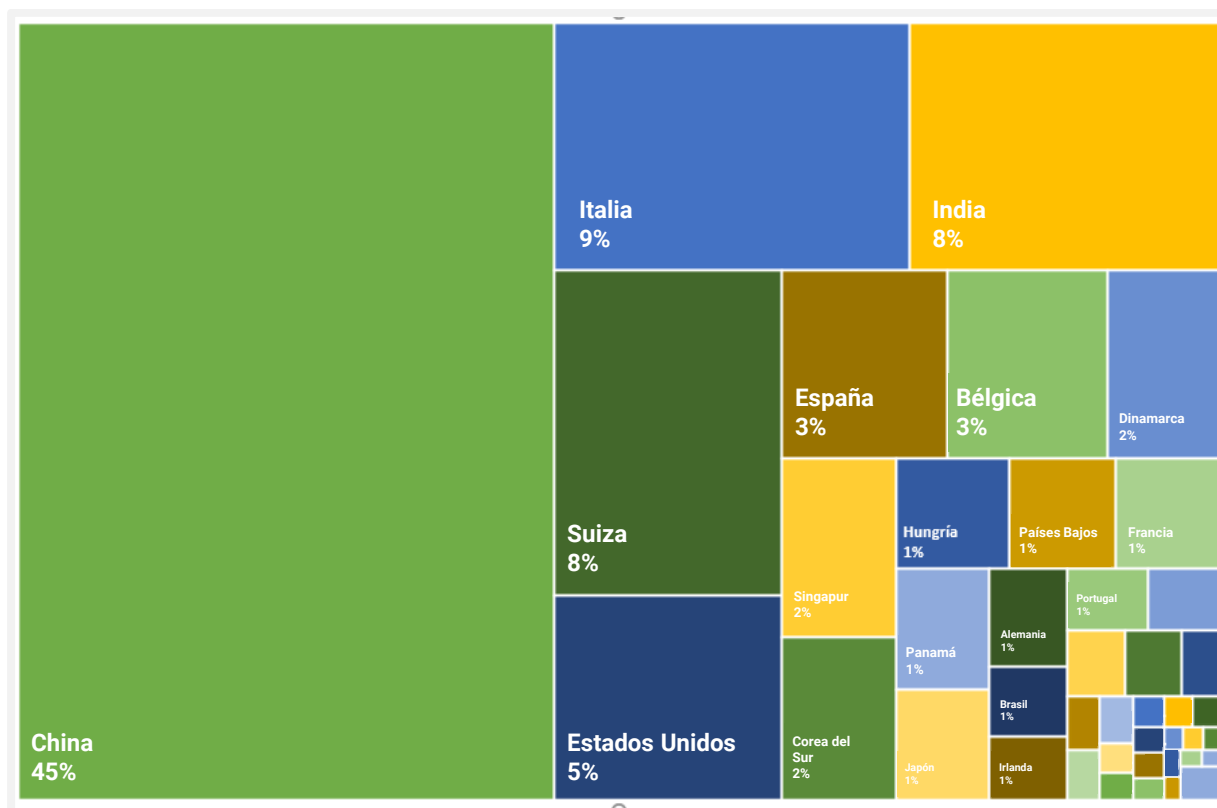
Al analizar los flujos comerciales de antibióticos por destino, los principales exportadores fueron China (USD 4.205 millones), Italia (USD 886 millones), India (USD 780 millones), Suiza (USD 742 millones), y Estados Unidos (USD 466 millones). En el gráfico 21, se observa la casi nula participación de países de la región en estas exportaciones, al totalizar solo USD 56 millones comercializados.

GRÁFICO 20. EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES GLOBALES DE ANTIBIÓTICOS, EN MILLONES DE DÓLARES, 2017-2021



Fuente: elaboración propia con base en International Trade Centre. Nota: al incluir a los destinados a la salud humana representa un proxy imperfecto del mercado destinado a sanidad animal.

GRÁFICO 21 EXPORTACIONES MUNDIALES DE ANTIBIÓTICOS, POR PAÍS, EN PORCENTAJE DEL TOTAL, 2021



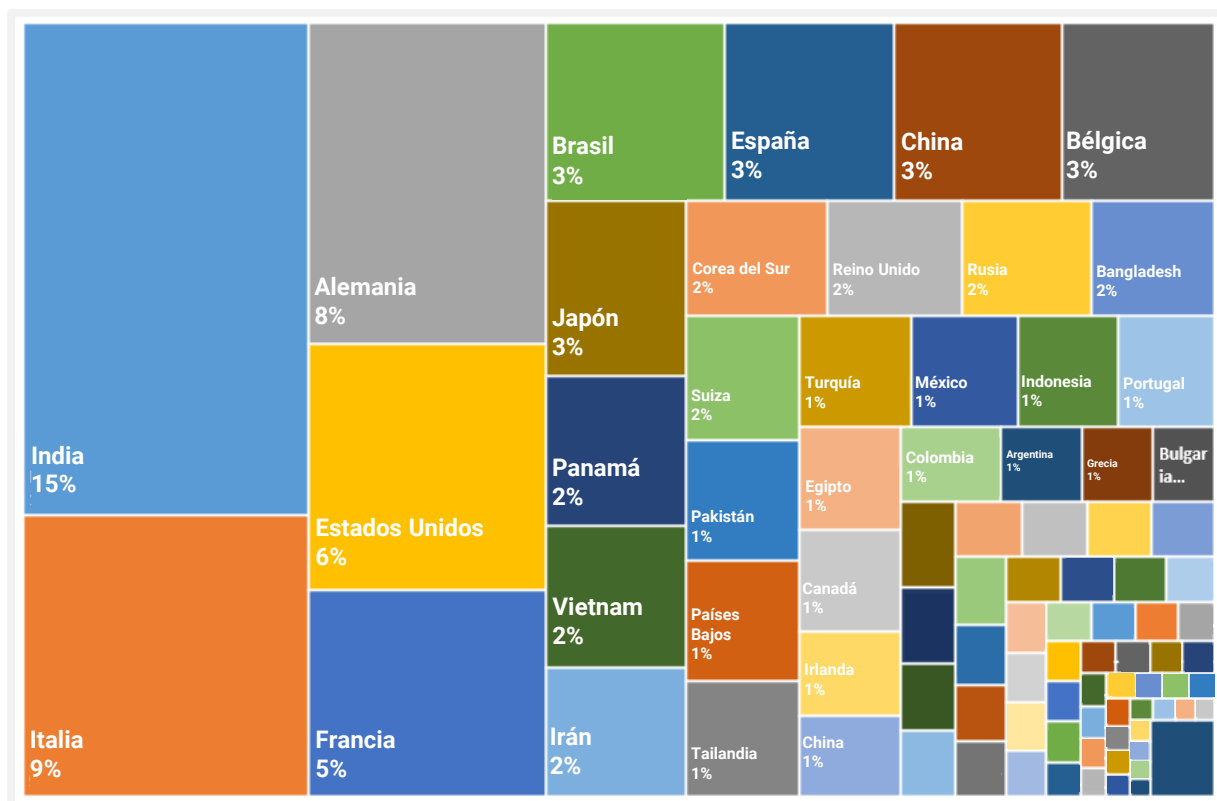
Fuente: elaboración propia con base en International Trade Centre. Nota: corresponde a datos de la posición 2941 del Sistema Armonizado a 4 dígitos. Al incluir a los destinados a la salud humana representa un proxy imperfecto del mercado destinado a sanidad animal.

Por su parte, India (USD 1.656 millones), Italia (USD 944 millones), Alemania (USD 892 millones), Estados Unidos (USD 682 millones), y Francia (USD 572 millones) fueron los principales importadores durante el año 2021, como se observa en el gráfico 22.

En términos regionales, el flujo importador tiene una participación mayor a la observada en las exportaciones: se importan cerca de USD 650 millones, siendo Brasil el principal comprador (USD 375 millones), seguido de Colombia (USD 89,2 millones) y Argentina (USD 72,8 millones).

Finalmente, se espera que la creciente resistencia a los antimicrobianos –junto con la consecuente búsqueda de cepas genéticas de pre y probióticos para sustituir su uso– obstaculicen el crecimiento del mercado de antibióticos hasta cierto punto, abriendo una ventana de oportunidad para productos de origen biológico aplicables a la nutrición y sanidad animal, en donde países como Argentina podrían tener participación. De avanzar en medidas concretas de progresivo reemplazo del consumo de antimicrobianos por bioinsumos a nivel global, los países antes caracterizados como los principales importadores podrían ser los mercados de destino de esos nuevos productos de origen biotecnológico.

GRÁFICO 22. IMPORTACIONES MUNDIALES DE ANTIBIÓTICOS, POR PAÍS, EN PORCENTAJE DEL TOTAL, 2021



Fuente: elaboración propia con base en International Trade Centre. Nota: corresponde a datos de la posición 2941 del Sistema Armonizado a 4 dígitos. Al incluir a los destinados a la salud humana representa un proxy imperfecto del mercado destinado a sanidad animal.

La resistencia antimicrobiana (RAM) y su impacto en el mercado

Como se mencionó, el mayor uso de antibióticos en la ganadería y el creciente riesgo de RAM han impulsado a nivel global la utilización e investigación de productos alternativos para la promoción del crecimiento y mejora de la nutrición y sanidad animal. Un ejemplo de esto es el [Plan de Acción Mundial sobre la Resistencia a los Antimicrobianos](#) presentado en 2015 por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

De hecho, la utilización de antibióticos como aditivos en alimentos para animales ya es considerada ilegal en la Unión Europea desde 2006 (European Commission, 2006). Estas nuevas regulaciones impactaron en la producción de sus socios comerciales, los cuales debieron adaptar progresivamente sus procesos productivos a los nuevos requerimientos sanitarios. De manera similar, desde principios de 2017 se prohibió el uso subterapéutico³⁷ de antibióticos de

³⁷ Entendiéndose por uso subterapéutico de antibióticos, al uso de antibióticos en dosis menores a las recomendadas para combatir una infección microbiana. Se utiliza para mejorar la eficiencia alimenticia y acelerar el crecimiento animal.

importancia médica en alimentos y agua para animales para promover el crecimiento y mejorar la eficiencia alimenticia en Estados Unidos (American Veterinary Medical Association, 2017), teniendo en cuenta que en los años 40 se había descubierto que la alimentación con niveles subterapéuticos de antibióticos mejora la eficiencia alimenticia y acelera el crecimiento animal (Ogle, 2013). En consecuencia, a partir de un informe de 2018 de la Administración de Alimentos y Medicamentos de ese país (FDA), se verificó que las ventas nacionales y la distribución de antimicrobianos utilizados en animales destinados a la producción de alimentos cayeron 33% entre 2016 y 2017; 43% de 2015 (el año de ventas máximas) a 2017; y 28% de 2009 (el primer año de ventas reportadas) hasta 2017. En particular, las tetraciclinas, que representan el mayor volumen de estas ventas nacionales, disminuyeron un 40% entre 2016 y 2017. Si bien la agencia gubernamental señala en el informe que los datos de ventas no reflejan necesariamente el uso real de antimicrobianos porque los veterinarios y los productores pueden comprar los medicamentos y no dárselos a los animales, o pueden administrarlos en años posteriores, la reducción indica que los esfuerzos para modificar la administración antimicrobiana están teniendo un impacto significativo (FDA, 2019).

Evolución de la producción mundial de bioinsumos para la ganadería

Con relación a alternativas más sustentables de producción, el uso de aditivos para alimentos balanceados, como enzimas, prebióticos y vitaminas, que proporcionan una nutrición equilibrada a los animales y los protegen contra factores ambientales nocivos, ha ido en aumento en los últimos años.

En el caso de los prebióticos, se trata de carbohidratos no digeribles que el animal expulsa junto a las bacterias generadoras de enfermedades. Los más estudiados son los fructooligosacáridos (FOS)³⁸ y los mananoligosacáridos (MOS).³⁹ Por su parte, los probióticos están ganando terreno como complemento alimenticio alternativo. Especialmente en los últimos 10 años, el uso de probióticos como suplementos en la alimentación animal por motivos de salud y rendimiento se ha incrementado significativamente. Se clasifican en bacterias, levaduras y hongos. Las bacterias probióticas más utilizadas en alimentos para animales incluyen *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Bifidobacterium* y *Propionibacterium*. Los avances tecnológicos en biología molecular y secuenciación de genes están permitiendo a los investigadores y científicos desarrollar nuevas fórmulas probióticas para alimentos para el ganado que son más adaptables y específicas para ciertos animales.

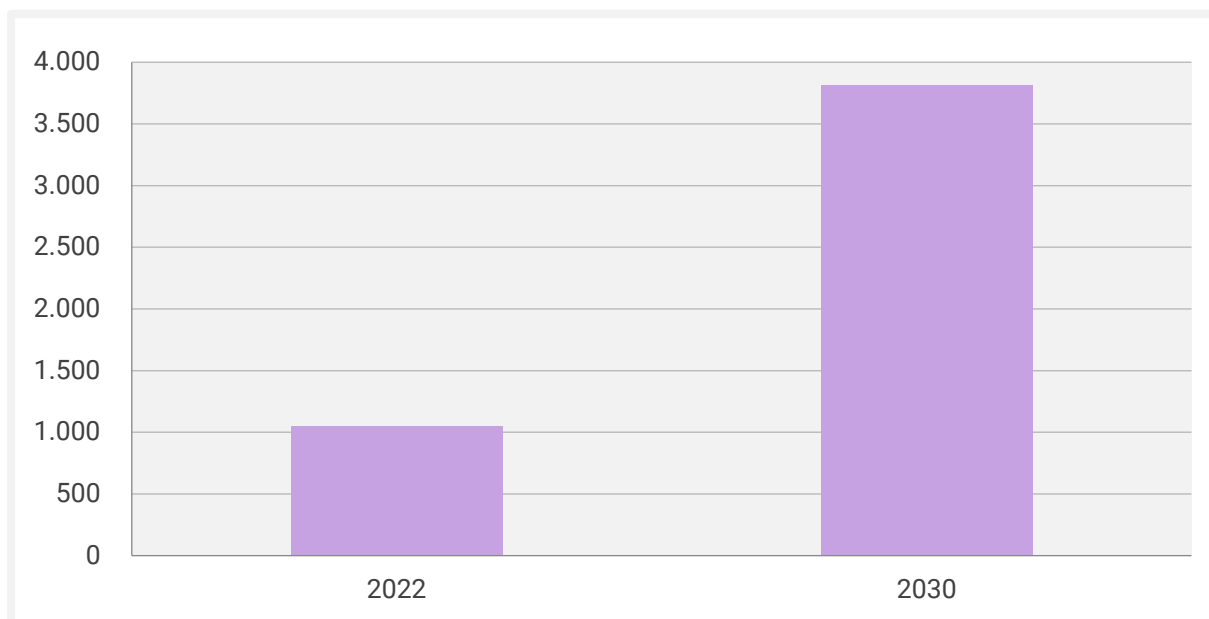
Con relación al tamaño del mercado de prebióticos, la consultora Grand View Research proyecta que el mercado mundial de prebióticos registre una tasa de crecimiento anual compuesto del 14,9% entre 2022 y 2030, al alcanzar los USD 21.200 millones. De este total, 82% corresponde

³⁸ Los FOS han sido estudiados principalmente para su uso en la alimentación de pollos.

³⁹ Los MOS funcionan básicamente haciendo que las bacterias se unan a ellos en lugar de al intestino y luego siendo expulsados del animal.

a la industria de alimentos y bebidas (Grand View Research, 2022). Con estos datos, el mercado mundial de prebióticos para la nutrición animal podría alcanzar los USD 3.816 millones en 2030. El crecimiento de prebióticos como alternativa a los antibióticos ha impulsado la demanda en las aplicaciones en alimentación animal, sobre todo en la producción lechera.

GRÁFICO 23. CRECIMIENTO ESTIMADO DEL MERCADO DE PREBIÓTICOS EN NUTRICIÓN ANIMAL. EN MILLONES DE DÓLARES, 2022-2030



Fuente: elaboración propia con base en Grand View Research (2022).

La demanda mundial de prebióticos para alimento balanceado también fue alta en 2021 y aumentará aún más debido a la creciente importancia de las proteínas animales en los mercados asiáticos y la fortificación de alimentos para animales con bacterias que mejoran su salud intestinal (Grand View Research, 2022). En particular, el segmento de inulina⁴⁰ tuvo una participación del 37,5% en el mercado global de los prebióticos en 2019. De la producción total de inulina, casi el 20% es utilizado por la industria de alimentos para animales (Mordor Intelligence, 2022b). La administración de prebióticos en dietas porcinas puede regular la microbiota intestinal y tiene un impacto a largo plazo en la salud del animal.⁴¹

Por su parte, el mercado de prebióticos para alimentación animal ofrece cada vez mejores oportunidades para los próximos años, producto de la remodelación impulsada por el desarrollo

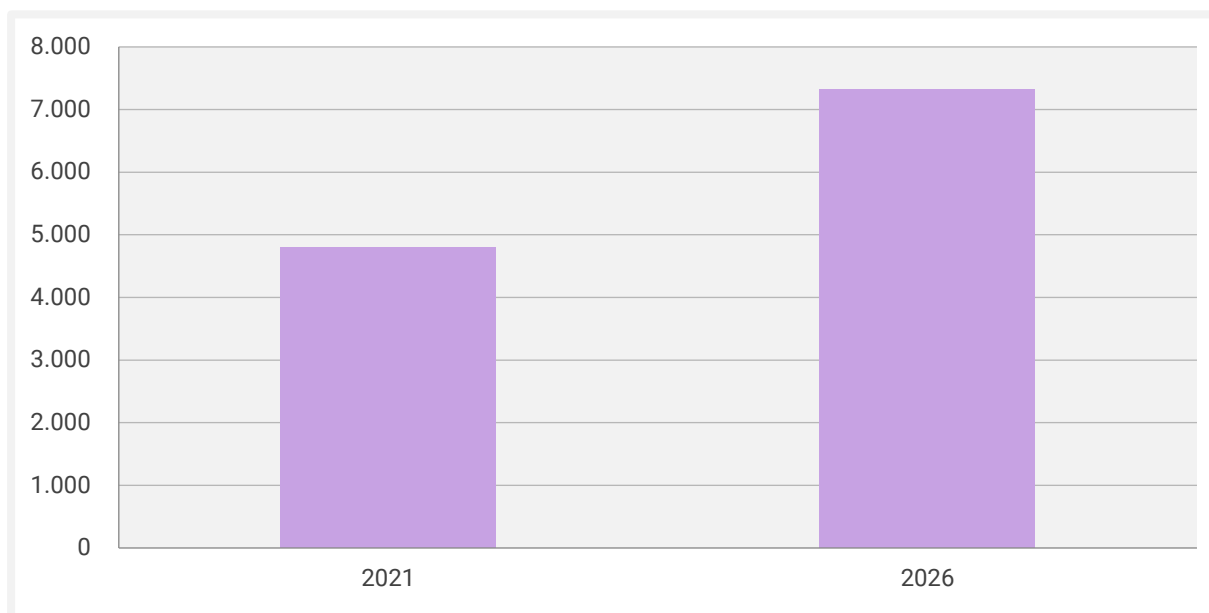
⁴⁰ La materia prima de la inulina, la raíz de achicoria, también se utiliza como materia prima para otros negocios lucrativos, como la industria del café.

⁴¹ A través del proceso de fermentación, la inulina se convierte en una microflora intestinal saludable (bifidobacteria). Los fructanos tipo inulina pueden estimular la absorción de minerales en el intestino y afectar al mecanismo renal de regulación del equilibrio hidroelectrolítico. También puede regular el metabolismo energético, activar los mecanismos enzimáticos que previenen el estrés oxidativo y modular la síntesis de colesterol y triglicéridos en el hígado (Lepczyński *et al.*, 2021).

de la tecnología moderna. El valor de mercado de los probióticos utilizados en la alimentación animal fue de alrededor de USD 4.800 millones en 2021. Se espera que este mercado crezca un 8,8% anual hasta alcanzar un valor total de USD 7.318 millones en 2026 (Markets&Markets, 2021).

Esta dinámica podría explicarse en gran parte por el incremento de la demanda de alimentos balanceados sostenibles para animales dado el aumento del consumo de proteínas en los países asiáticos y las regulaciones europeas y de otros países desarrollados sobre el ingreso de productos alimenticios de origen animal en cuyo proceso productivo se haya utilizado antibióticos u otros antimicrobianos.

GRÁFICO 24. CRECIMIENTO ESTIMADO DEL MERCADO DE PROBIÓTICOS EN NUTRICIÓN ANIMAL. EN MILLONES DE DÓLARES, 2021-2026



Fuente: elaboración propia con base en Markets&Markets (2021).

En la actualidad, el mercado está fragmentado con un gran número de empresas involucradas en la extracción y procesamiento de prebióticos a partir de materias primas. Algunos de los jugadores destacados que operan en el mercado mundial de prebióticos para nutrición animal incluyen: Alltech, Inc., Cargill, Inc.,⁴² Beneo GmbH, FrieslandCampina Domo y Beghin Meiji (Tereos S.A.) según el informe de Mordor Intelligence (2022). Las empresas se están centrando en estrategias de negocio que buscan establecer instalaciones de I+D con un auge tecnológico en la extracción y el refinado de las materias primas junto con la adopción de nuevas tecnologías de fabricación de alimentos. Además, se suman estrategias como:

⁴² En la región, en 2017, Cargill llegó a un acuerdo para adquirir Integral Animal Nutrition, un productor de alimentos para ganado en Brasil.

- Programa de Reducción de Antibióticos de Alltech (Alltech, 2021). En Reino Unido, consultores de la industria, veterinarios y nutricionistas de “Alltech Gut Health Platform” ayudan a desarrollar un plan de acción personalizado y brindan asistencia a medida que los productores de animales se esfuerzan por reducir el uso de antibióticos en su ganado. En el cuadro 4 puede verse la comparación de los cambios registrados en la producción porcina al aplicar el programa de reducción de antimicrobianos. El programa se basa en la mejora de la salud intestinal y prácticas holísticas de nutrición y manejo en todas las etapas de producción para optimizar los rendimientos y la sanidad animal: nutrición (formulación de alimentos, programa de nutrición, etc.), bioseguridad, sanidad animal (vacunación y estrategias de tratamiento), sanidad del agua, gestión de instalaciones, control de patógenos entéricos.
- Producción interna de ingredientes de origen natural de Beneo (Beneo, 2020). Los ingredientes de alimentos balanceados para ganado son derivados de la remolacha azucarera, la raíz de achicoria, el arroz y el trigo. Los producen en sus instalaciones internas para garantizar los estándares de calidad y seguir siendo flexibles y cumpliendo con los tiempos de entrega.
- Marca específica para prebióticos por parte de Beghin Meiji (Allied Nutrition, 2019). Con un producto diferenciado, a base de un fructo-oligosacárido de cadena corta natural (scFOS) que nutre la microflora intestinal beneficiosa del ganado, la empresa busca ganar terreno en el mercado.

Las empresas productoras tienen a sus departamentos de I+D como áreas claves al estar constantemente involucrados en la investigación e identificación de aditivos sostenibles para alimentos balanceados. Aproximadamente el 70% de los fabricantes de alimentos ha comenzado a combinar diferentes aditivos. Entre los mayores desafíos de estas empresas se encuentran justamente los altos costos de I+D para desarrollar nuevas cepas pre y probióticas. Para disminuir esos costos, las firmas están aumentando las expansiones estratégicas, las fusiones y adquisiciones y las actividades de desarrollo de nuevos productos:

- En marzo de 2022, Beneo anunció una importante expansión de su planta de fabricación de raíz de achicoria en Chile para 2022 que está siendo financiada con una inversión de más de USD 50 millones (InvestChile, 2022). Esta expansión se debe a la creciente demanda de inulina, oligofructosa y fibras de raíz de achicoria de Beneo, ya que el interés de los consumidores por la salud digestiva sigue en aumento.
- En octubre de 2019, Ashland firmó un acuerdo con Clasado Biosciences (Investor Center Press Release, 2019), una empresa que desarrolla productos GOS avanzados para prebióticos y brinda soluciones para productos farmacéuticos y alimentos y bebidas en todo el mundo. Según el acuerdo, Ashland tiene derecho a suministrar prebióticos Bimuno en los Estados Unidos. Se espera que la enorme base de producción y la presencia en la industria de los fabricantes de almidón, como ADM, Cargill Foods y Beneo, en América del Norte y Europa, satisfagan la creciente demanda.

Ahora bien, empresas multinacionales también han centrado sus estrategias en construir una sólida base de I+D para obtener una ventaja competitiva, lo que ha creado barreras a la entrada para otros actores en el mercado de los probióticos en la alimentación animal. Por caso, DuPont invirtió USD 100 millones para expandir su capacidad de producción de probióticos con el fermentador más grande del mundo (DuPont Press Release, 2019), con tecnología de aire presurizado para mezclar soluciones de fermentación, reemplazando las bombas tradicionales y paletas mezcladoras que pueden dañar las bacterias, y nueva tecnología de congelación de bacterias para el almacenamiento seguro de los probióticos que aumenta significativamente la eficiencia.

CUADRO 4. COMPARACIÓN INTERANUAL AL APLICAR PROGRAMA DE REDUCCIÓN DE ANTIBIÓTICOS EN PRODUCCIÓN PORCINA

Impulsor de destete	Año 1	Año 2	Variación
Consumo de alimento balanceado (kg)	1,4	1,7	300 g
Ganancia diaria de peso vivo (g)	505	714	211 g
Alimento necesario para ganancia (ratio)	2,8 : 1	2,39 : 1	4 puntos
Mortalidad (%)	14,2	7,7	6,5
Tiempo necesario para sacrificar (días)	201	139	62
Resto (105 empresas)	---	---	475

Fuente: elaboración propia con base en Alltech (2021).

Evolución de la producción mundial de vacunas para uso veterinario

Siguiendo el enfoque preventivo en el marco de la expansión de la RAM, el mercado de vacunas para uso veterinario es de suma importancia para la industria de alimentos de origen animal. El tamaño del mercado mundial de vacunas para uso veterinario tuvo un valor de USD 11.800 millones en 2021 (Grand View Research, 2021). Se espera que crezca a una tasa anual compuesta del 9,3% para 2030 hasta llegar a USD 24.035 millones. El segmento de vacunas vivas atenuadas dominó el mercado de vacunas para animales y representó una participación en los ingresos de más del 35% en 2021. La atenuación viva es el método de vacunación más antiguo utilizado en el campo veterinario. Este método también se está probando para el desarrollo de aplicaciones adicionales. Algunas de estas alternativas incluyen el desarrollo de vacunas de subunidades de proteínas para cerdos, que se administran por vía intramuscular. Estos productos ayudan a reducir la tasa de mortalidad y mejoran la vida útil de los cerdos afectados por enfermedades.

Se espera que el segmento de vacunas recombinantes muestre un crecimiento relevante entre 2022 y 2030. Estas vacunas ayudan a reducir el riesgo de patogenicidad en animales después de la vacunación. También se espera que las vacunas recombinantes ayuden a lograr la vacunación contra múltiples cepas de virus, ya que estos productos pueden llevar múltiples

inserciones de genes. Estas formulaciones de vacunas pueden evitar la necesidad de adyuvantes, aumentar la viabilidad de la vacuna y mejorar la estabilidad. Algunas de las vacunas recombinantes disponibles para la medicina veterinaria son las vacunas contra la enfermedad de Newcastle en aves, la enfermedad de Lyme en ganado y la influenza aviar.

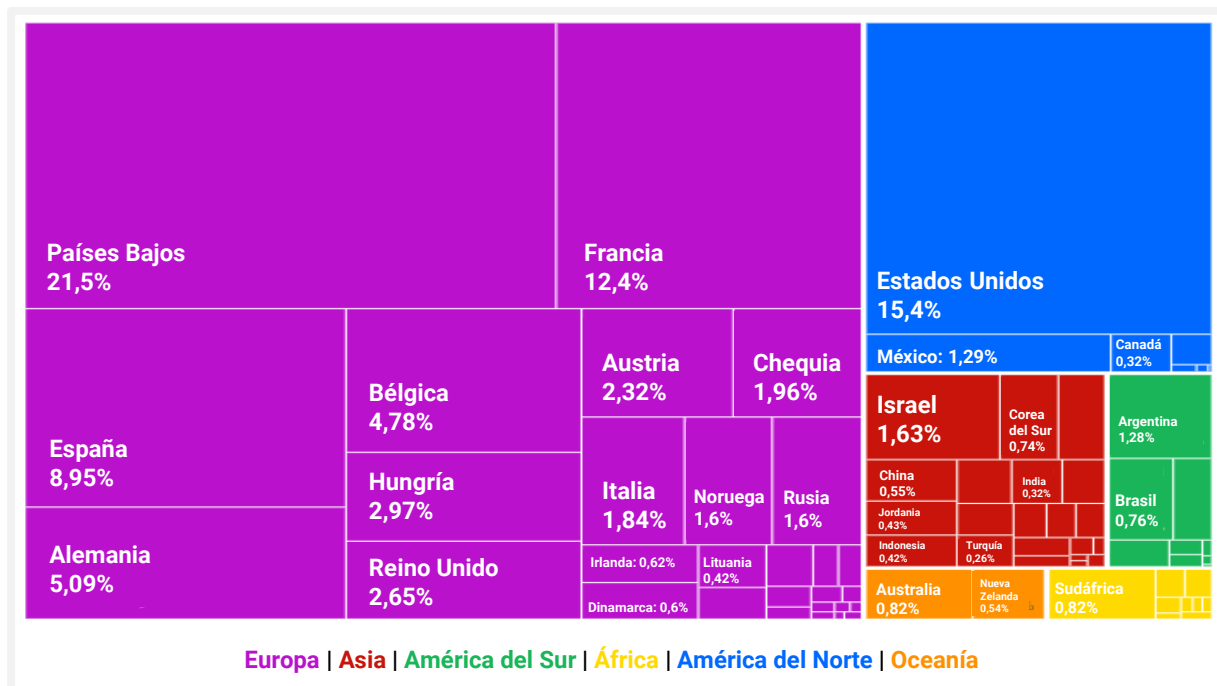
El comercio global del mercado de vacunas para uso veterinario alcanzó los USD 3.870 millones en 2020, siendo los Países Bajos (USD 833 millones), Estados Unidos (USD 597 millones), Francia (USD 479 millones) y España (USD 347 millones) los principales exportadores, según datos del Observatorio de Complejidad Económica (OEC). Argentina tuvo una participación del 1,3% del total de esos flujos exportados durante ese año (USD 49,7 millones). A nivel regional, las exportaciones totalizaron USD 113 millones (3% del comercio global), siendo Argentina el país que lideró el ranking desde 2015, a partir de exportaciones a países limítrofes y, con creciente peso en los últimos años, a Asia (Corea del Sur y Vietnam). Le siguieron en relevancia de participación regional Brasil (USD 29,3 millones en 2020), Uruguay (USD 18,6 millones) y Colombia (USD 8,7 millones).

Con estos datos, los flujos comerciales globales representan apenas 30% de esta cadena de valor (a nivel regional esa relación no supera el 1%). Esto puede explicarse por el hecho de que los principales productores ganaderos (Cargill, Tyson Food, New Hope, CP Group, Land O Lakes, etc.) podrían contar con provisión local de vacunas para uso veterinario, por lo que una gran proporción de esos productos se destinan a los mercados internos en los países en donde desarrollan sus cadenas de suministro, disminuyendo así el volumen comercializado externamente.

Con relación al flujo importador a nivel global, los Países Bajos (USD 183 millones), Rusia (USD 175 millones), Francia (USD 169 millones), China (USD 166 millones) y Alemania (USD 147 millones) fueron los principales importadores de vacunas para uso veterinario durante 2020. En este mercado de USD 3.870 millones, Argentina tuvo una participación inferior al 1% del total importado. En la región, las importaciones totalizaron USD 355 millones, siendo Brasil el principal importador (USD 139 millones), seguido de Chile (USD 58,5 millones), Colombia (USD 34,4 millones) y Argentina (USD 32,2 millones).

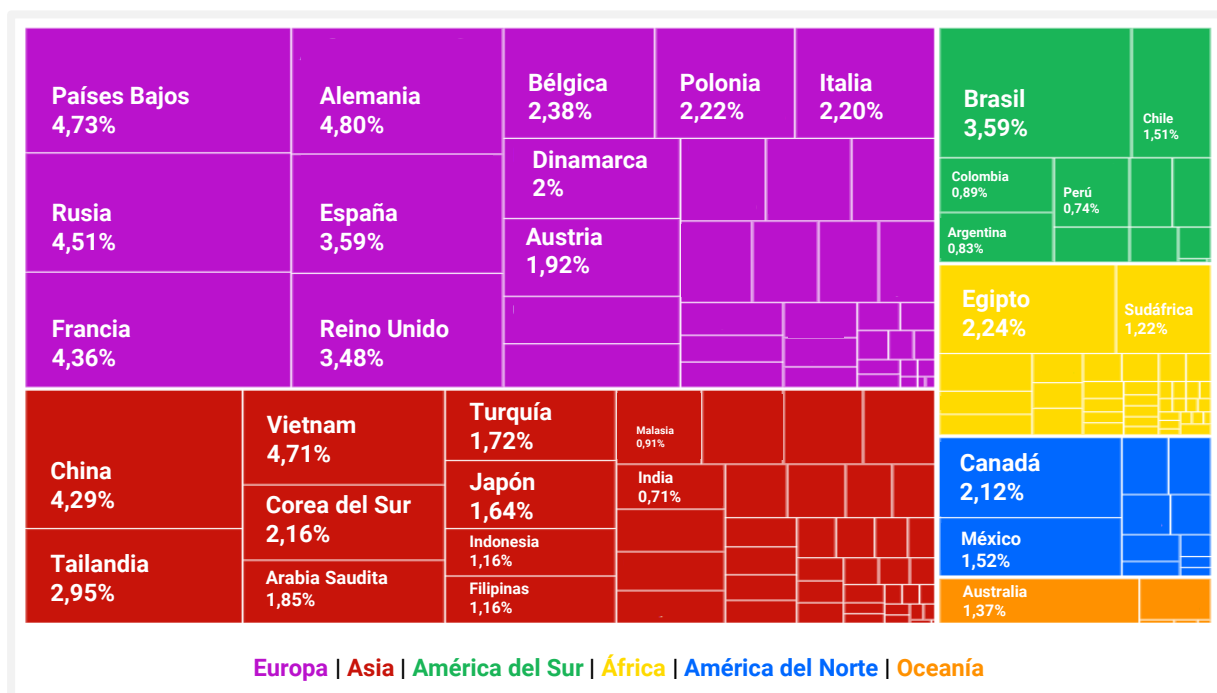
Ahora bien, como puede observarse en los gráficos 25 y 26, el acceso a estas vacunas se distribuye de manera desigual entre los países. Los desarrollados logran obtener elementos de prevención de enfermedades para el ganado, evitando así el uso excesivo de antibióticos y sus costos asociados (tanto monetarios como de restricción de acceso a mercados donde están prohibidos o los vinculados a las muertes masivas de animales contagiados, por ejemplo). A su vez, la cohabitación entre humanos y animales es más común en las naciones más pobres, particularmente entre las poblaciones rurales, y esta relación se evidencia por la mayor incidencia de zoonosis en estos países. Aproximadamente el 75% de las enfermedades animales emergentes son zoonóticas, y los brotes han llevado a la eliminación de cientos de millones de animales incurriendo en costos que afectan la competitividad de las naciones menos desarrolladas (Bueno-Marí *et al.*, 2015). Esto se refleja en la distribución de los flujos comerciales de vacunas para uso veterinario, que evidencia las dificultades de los países en desarrollo para importar soluciones preventivas para las enfermedades zoonóticas y/o para producirlas localmente, dada la hegemonía comercial de los desarrollados en esta cadena.

GRÁFICO 25. EXPORTACIONES MUNDIALES DE VACUNAS PARA USO VETERINARIO, POR PAÍS. EN PORCENTAJE DEL TOTAL, AÑO 2020



Fuente: Observatorio de Complejidad Económica (OEC). Nota: corresponde a datos de la posición 300230 del Sistema Armonizado a 6 dígitos.

GRÁFICO 26. IMPORTACIONES MUNDIALES DE VACUNAS PARA USO VETERINARIO, POR PAÍS. EN PORCENTAJE DEL TOTAL, AÑO 2020



Fuente: Observatorio de Complejidad Económica (OEC). Nota: corresponde a datos de la posición 300230 del Sistema Armonizado a 6 dígitos.

En síntesis, el creciente uso de insumos biológicos y biotecnología en las cadenas de nutrición y sanidad animal para la industria alimenticia se enmarca en el paradigma de consumo actual que tiene como una de sus características la de jerarquizar la necesidad de ralentizar la aparición de la RAM y reducir su propagación. El panorama global muestra una desigual distribución en los flujos comerciales de antimicrobianos y vacunas para animales entre países desarrollados y en desarrollo. Sin embargo, es en este marco que las tendencias globales de mercados innovadores, cada vez más alejados de tecnologías de origen sintético y más vinculados a las biológicas, cobran una creciente participación dentro de los flujos mundiales de productos comercializados en las cadenas de nutrición y sanidad animal, como son los probióticos, prebióticos y vacunas recombinantes para uso veterinario, donde países como Argentina podrían tener un rol estratégico.

Panorama local de la cadena de nutrición y sanidad animal

En Argentina, los principales complejos vinculados a la ganadería –avícola, bovino, lácteo y porcino– totalizaron un 30% del valor agregado bruto (VAB) de las cadenas agroalimentarias (CAA)⁴³ en el año 2020 (Lódola y Picón, 2021), dando cuenta de la relevancia de estas cadenas en el sistema productivo. Teniendo en cuenta la estructura productiva de Argentina y el fuerte peso que tiene la ganadería en ella, el valor agregado de la carne, leche y subproductos se apalanca en la innovación de productos y procesos, así como en el impacto ambiental de su producción, el bienestar animal y el acceso a esta información por parte del consumidor (MAGYP, 2021). Por lo tanto, se registra una cada vez mayor concientización de la prevención de enfermedades en la ganadería local y el aumento de la productividad de manera sustentable a través de productos de origen biológico en la nutrición y sanidad animal.

La implementación de enzimas y probióticos en la nutrición animal se encuentra en crecimiento. De las primeras, algunas como las proteasas, lipasas y amilasas enriquecen el alimento y se utilizan en lugar de antibióticos y antiparasitarios. Algo similar tiene lugar con los segundos, al utilizarse como bioactivos fitogenéticos (aceites esenciales, saponinas, flavonoides, mucílagos y taninos) a partir de *Lactobacillus spp.*, *Enterococcus spp.*, *Bacillus spp.*, *Saccharomyces cerevisiae* o *Aspergillus oryzae*, por ejemplo. En Argentina, estos bioinsumos están contemplados por la Norma Técnica de Alimentos para Animales de la República Argentina del SENASA.⁴⁴

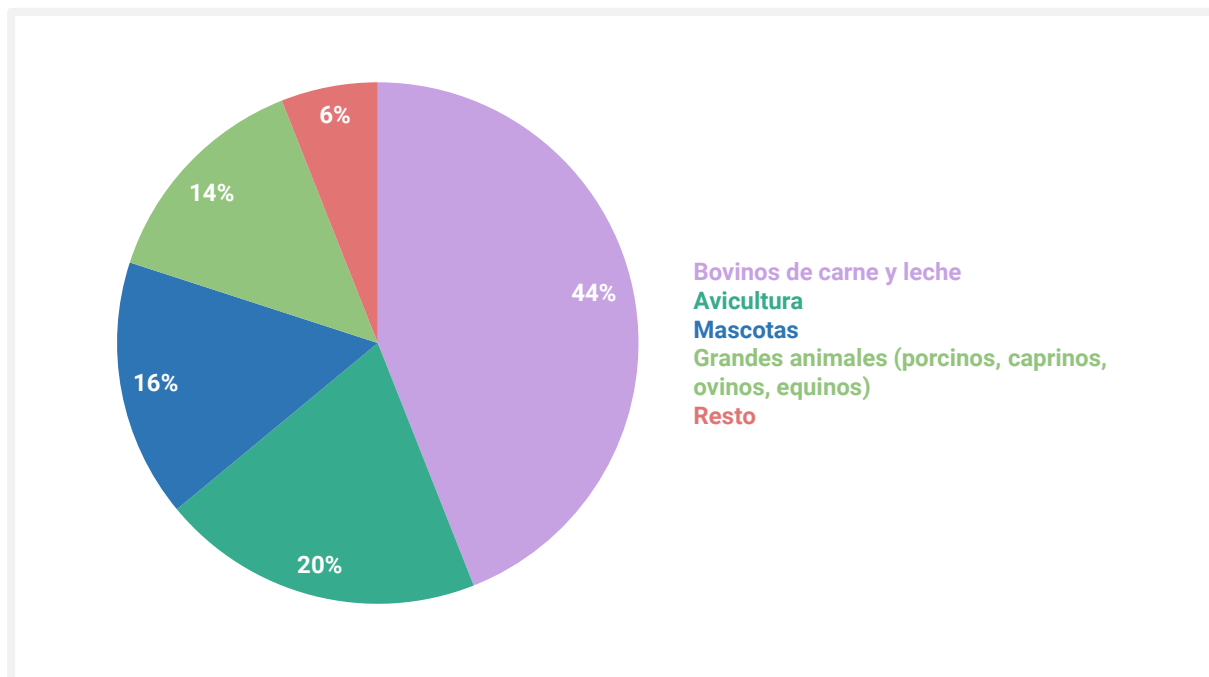
Con relación al tamaño del mercado local de sanidad animal, en base a las estimaciones de la Cámara Argentina de la Industria de Productos Veterinarios (CAPROVE), su facturación total durante el 2020 fue de USD 400 millones. Como se ve en el gráfico 27, al desglosar el monto total de facturación por las distintas especies animales, contemplando siempre productos farmoquímicos y biológicos (a excepción de la vacuna antiaftosa), se obtiene que la producción de bovinos de carne y leche tuvo una participación del 44%; avicultura representó el 20%;

⁴³ Se identificaron 31 CAA que en conjunto abarcan el 98% del valor agregado agroalimentario de Argentina.

⁴⁴ Esta norma se explicita en el anexo I de la Resolución N°594/2015 de SENASA.

animales de compañía, el 16%; y otros grandes animales (porcinos, caprinos, ovinos, equinos), implicó el 14%. Los productos sin una especie definida o bien desinfectantes explicaron el 6% restante. Además, en el caso de productos para grandes animales, fármacos químicos representó el 69%, mientras que biológicos el 31% del total.

GRÁFICO 27. MERCADO DE PRODUCTOS DE SANIDAD ANIMAL EN ARGENTINA, POR ESPECIE. EN PORCENTAJE DEL TOTAL FACTURADO, AÑO 2020



Fuente: elaboración propia con base en CAPROVE (2020).

Según la cámara sectorial, los niveles de facturación se explican por el incremento de unidades comercializadas y por la incorporación de moléculas de mayor valor en su comercialización. Lo mismo ocurre en biológicos, donde las subas se ven afectadas por el uso de vacunas más complejas en reemplazo de las tradicionales. Esto ocurre en mancha, gangrena y enterotoxemia, segmento en el que se incrementó el uso de vacunas con mayor cantidad de antígenos, por ejemplo. Con relación a productos biológicos de grandes animales, en 2020 se comercializaron 109 millones de dosis, un aumento del 25% comparado contra 2019.

Identificación de actores e instituciones relevantes

- Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA): evalúa la bioseguridad para el agroecosistema de todos los productos de uso agropecuario o potencialmente agropecuario que aspiran a tener una autorización comercial.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA): a través de la Dirección Nacional de Sanidad Animal (DNSA) del SENASA se conformaron Comisiones Nacionales de Sanidad y Bienestar Animal en vistas de contar con un ámbito participativo para compartir e intercambiar información, recoger demandas, opiniones y propuestas de los actores

públicos y privados involucrados en las diferentes cadenas productivas durante el proceso de elaboración y actualización de normas, procedimientos y medidas de sanidad y bienestar animal, con el fin de robustecer la gobernanza.

- Cámara Argentina de Empresas de Nutrición Animal (CAENA): agrupa a 140 empresas industrializadoras, comercializadoras y proveedoras que explican el 85% del mercado local de nutrición animal.
- Cámara Argentina de la Industria de Productos Veterinarios (CAPROVE): representa a empresas elaboradoras, comercializadoras e importadoras de productos biológicos y/o farmacéuticos para el uso veterinario. Entre los objetivos de la entidad se encuentran el de garantizar el cumplimiento y actualización de las normas vigentes de registro de productos y la adaptación a estándares internacionales; autonomía del sector dentro del SENASA; profundizar el trabajo de Auditoría Técnica en plantas (procesos e instalaciones); realizar la auditoría del control de calidad de productos terminados en las empresas, tanto elaboradoras como importadoras; profundizar la auditoría y control de droguerías; entre otros.
- Cámara Argentina de Distribuidores Veterinarios (CADISVET): agrupa a empresas legalmente constituidas para operar en el segmento de la distribución de zooterápicos, en vistas de fomentar y facilitar el desarrollo de las relaciones comerciales internacionales con el concurso de filiales, corresponsales o agencias; garantizar la mejora de la legislación nacional, provincial y municipal vinculada; entre otros objetivos.
- Cámara de Laboratorios Argentinos Medicinales Veterinarios (CLAMEVET): nuclea a más de 60 laboratorios veterinarios de capitales nacionales que se encuentran capacitados para garantizar el abastecimiento de productos veterinarios tanto a nivel local como con exportaciones. La cámara se encarga de organizar cursos de capacitación para los asociados; intervenir en comisiones técnicas con autoridades regulatorias; garantizar la asistencia de representantes al Comité de las Américas de Medicamentos Veterinarios (CAMEVET) en vistas de facilitar la armonización de normas para el registro de los productos veterinarios en la región; garantizar la representación en la Rama Industrial de la Confederación Argentina de la Mediana Empresa (CAME).

Capacidades de desarrollo y estrategias empresariales a nivel local

Según un relevamiento sobre las capacidades locales de desarrollo en sanidad animal, las farmacéuticas veterinarias multinacionales adquieren tecnología ya desarrollada. Biogénesis Bagó, IQA y CEVA son algunos de los principales jugadores que en conjunto representan la mayor parte del mercado argentino de sanidad animal. Esas empresas grandes se encuentran en la búsqueda y adquisición de desarrollos avanzados (prototipos bien probados), cercanos a convertirse en productos, complementando los desarrollos internos. Esto implica posibilidades para *startups* argentinas con proyectos de investigación innovadores que puedan ser de interés para esos grandes actores de mercado, como las siguientes:

- **Alytix** desarrolló una plataforma de bacteriófagos para mejorar la salud animal y humana, reduciendo el uso innecesario de antibióticos y aumentando la sostenibilidad ambiental.
- **Armenta** es una empresa de base tecnológica que desarrolló una solución no invasiva para curar la mastitis⁴⁵ bovina y contó con la exposición y asesoramiento del médico veterinario.
- **Chemtest** desarrolló, entre otras cosas, sistemas de diagnóstico de enfermedades animales como la Brucelosis y la Fiebre Aftosa, a través de dos plataformas: una denominada Elisa (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay), que permite analizar una gran cantidad de muestras y que debe ser realizada en laboratorio por la necesidad de equipamiento, capacidades humanas e infraestructura adecuada y la otra LFIA (Lateral Flow Immuno Assays), similares a las tiras del Evatest, que posibilita hacer el análisis en campo y obtener resultados en pocos minutos.
- **Inmunova** cuenta con proyectos en investigación para desarrollos en salud animal, como una vacuna de nueva generación contra la fiebre aftosa.

Con relación a las barreras para estas empresas en reciente desarrollo, a diferencia de lo que podría suponerse, los ensayos en animales no representan una barrera de entrada para nuevos medicamentos veterinarios biotecnológicos. Si bien se requiere realizar ensayos sobre una gran cantidad de animales⁴⁶ para obtener el registro comercial de un medicamento biotecnológico innovador (cantidad comparable o superior a las poblaciones requeridas para ensayos clínicos en humanos), los costos de estos ensayos, en general, no representan una barrera para las pymes.

Por su parte, empresas de capitales nacionales ya establecidas en el mercado también cuentan con proyectos de investigación biotecnológicos vinculados a la sanidad y nutrición animal, tanto en sus laboratorios de I+D como en colaboración con centros externos. En este sentido, entre las estrategias empresariales a nivel local se encuentran:

- Generar inversiones en laboratorios para profundizar la investigación de desarrollos de base biotecnológica para la nutrición y sanidad animal.
- Ganar escala para cubrir eficientemente las inversiones en planta, equipos, investigación, desarrollo y ensayos clínicos que permiten sostenerse cerca de la frontera tecnológica.
- Impulsar alianzas estratégicas de innovación con empresas extranjeras.

⁴⁵ Para contextualizar, Argentina pierde USD 300 millones anualmente por la mastitis en las vacas. Un tamo promedio pierde un mes de leche. Del 100% de la pérdida, el 7% corresponde al costo del antibiótico; el 23% al descarte de la leche que no puede utilizarse; pero lo más importante es que el 70% restante de la pérdida es todo lo que la vaca deja de producir, aproximadamente 435 litros durante los 90 días posteriores de la mastitis. Si sumamos el descarte de leche y el costo del tratamiento convencional, las pérdidas superan los 600 litros de leche. En el peor escenario, una vaca puede dejar de producir más de 1000 litros de leche por lactancia (Armenta, 2022).

⁴⁶ Debido a la diversidad de razas, comportamientos y capacidad de respuesta, que son dependientes del clima, de la disponibilidad de alimentos y de la ubicación geográfica, entre otros.

- Realizar vinculaciones público-privadas de base tecnológica en el marco de la nueva Ley de promoción de la Biotecnología Moderna y la Nanotecnología⁴⁷, para la investigación, diseño y desarrollo de anticuerpos, vacunas recombinantes y prestación de servicios especializados orientados a la salud animal.

Argentina cuenta con una base empresarial de unas 27 firmas empleadoras y algunos jugadores nacionales⁴⁸ que han registrado cambios en su base tecnológica en los últimos años para adaptarse al nuevo paradigma. Es el caso de Vetanco S.A., un laboratorio veterinario que desde finales de los '80 desarrolla, elabora y comercializa productos innovadores para la salud y la producción animal. La empresa inició con medicina tradicional veterinaria utilizando fármacos químicos (antibióticos) hace 35 años. Al entender que el futuro ya no iba a pasar por los fármacos químicos –por las cada vez mayores restricciones de comercialización a nivel mundial– hace unos 20 años comenzó a indagar en productos vinculados a lo biológico, aditivos de nutrición para mejorar el estado de salud animal, como los pre- y probióticos. Para posicionarse en el mercado, la empresa incrementó su competitividad a través de la generación de estrategias de innovación abierta en la búsqueda de distintas universidades e instituciones extranjeras para poner en valor tecnologías que existían en lo público pero que no podían llegar al mercado. Es en este contexto que forman una alianza con el INTA –que ya estaba trabajando el tema de los prebióticos– a través de la fundación de Bioinnovo, una empresa de base tecnológica. Bioinnovo es una de esas alianzas y nace como la pata innovadora de un grupo de empresas con una visión amplia, en un contexto donde había dos plataformas diferenciadas:

1. Bioinnovo Terneros es un producto de inmunidad pasiva basado en anticuerpos IgY específicos contra los agentes virales y bacterianos causales del síndrome de la diarrea neonatal del ternero. Surge como propuesta de INTA para el reemplazo de la importación desde Corea de anticuerpos en yema y huevo para tratamientos profilácticos terapéuticos biológicos.
 - a. Con altos niveles de anticuerpos específicos, este primer producto tiene una alta eficacia para la prevención y tratamiento de los agentes causantes de la Diarrea: *Rotavirus A*, *Coronavirus*, *Escherichia Coli* y *Salmonella*.
 - b. Favorece la salud intestinal mejorando el estado general de los animales al reducir la pérdida de peso mejorando su performance.
 - c. El uso como tratamiento reduce la excreción viral a través de la materia fecal y por tanto, la carga viral del ambiente.

⁴⁷ La iniciativa otorga beneficios fiscales a empresas que realicen inversiones en proyectos innovadores en esos sectores estratégicos para la ciencia y la tecnología nacional, prorrogando y ampliando hasta el año 2034 la Ley N° 26.270.

⁴⁸ Este número incluye a las empresas de salud animal de base biológica (que registran productos veterinarios biológicos) y/o mixtos (que registran productos veterinarios químicos y biológicos). No incluye a las firmas de nutrición animal de base biológica dado que éstas no pudieron cuantificarse. Sin embargo, según información aportada por el SENASA, existen a la fecha, 333 aditivos para alimentación animal registrados.

- d. Evita el uso indiscriminado de antibióticos y por lo tanto las resistencias bacterianas a los mismos.
2. Vacuna contra el virus de la diarrea viral bovina (VDVB)⁴⁹
 - a. Se trató de la primera vacuna recombinante direccionada para bovinos a nivel global.
 - b. Tuvo apoyo del Soluciona del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación para respaldar los registros en el exterior.
 - c. Con el tiempo comenzó a crearse otra familia de productos (patógenos complejos) vinculados a esa vacuna.

Por último, la empresa se encuentra presente en más de 40 países y ofrece productos para la mejora de la productividad y la seguridad agroalimentaria, bajo las normas de calidad internacionales.

Otro caso relevante dentro de la base empresarial argentina es el de la empresa Tecnovax, una compañía biofarmacéutica que desarrolla, produce y comercializa vacunas y productos biológicos para sanidad animal. Fue fundada en 2003 por empresarios argentinos relacionados al sector de investigación y desarrollo de nuevas soluciones para prevenir enfermedades infecciosas utilizando los últimos avances tecnológicos. Mediante técnicas de biología molecular, aislaron e identificaron los principales agentes infecciosos con impacto en la sanidad animal, desarrollando una amplia línea de vacunas virales y bacterianas destinadas a ganadería, salmónidos y animales de compañía. La constante búsqueda de nuevas tecnologías llevó a la empresa a firmar, en los últimos años, distintos acuerdos de investigación y desarrollo con la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación, Centro de Virología Animal del Conicet y las firmas Ag-Research de Nueva Zelanda y DNA Investments del mismo país, para el desarrollo de vacunas mediante tecnología de ADN recombinante.

En síntesis, Argentina cuenta con un entramado empresario (grandes jugadores y *startups*) que se está especializando crecientemente en productos de base biológica para la nutrición y sanidad animal (utilización de enzimas, producción de vacunas a partir de proteínas recombinantes, producción de prebióticos, probióticos, etc.). Esto tiene lugar a partir del aprovechamiento de las capacidades del subsistema científico-tecnológico local y de la colaboración con centros de I+D externos para dar origen a nuevos desarrollos biotecnológicos de frontera como los mencionados en este apartado. Se trata de un segmento relevante a nivel global teniendo en cuenta un contexto en donde la demanda de soluciones preventivas sustentables para enfermedades zoonóticas en animales destinados al consumo alimentario está incrementando (con foco en la disminución de la resistencia antimicrobiana y sus

⁴⁹ El virus de la diarrea viral bovina (VDVB) es uno de los agentes involucrados en los complejos respiratorio y reproductivo bovino y ocasiona importantes pérdidas económicas a nivel mundial (Pecora y Pérez Aguirreburualde, 2017). El virus ocasiona en Argentina pérdidas por USD 100 millones anuales y a nivel Mercosur se estiman en torno a los USD 500 millones (INTA, 2022).

consecuencias en la producción agropecuaria y la salud humana) y cuyas proyecciones parecen confirmar esa tendencia.

Antecedentes de desarrollos biotecnológicos locales para la nutrición y sanidad animal

- **Vacuna recombinante contra la Escherichia coli en bovinos.** Un equipo de investigadores de los Institutos de Patobiología y de Biotecnología del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) desarrolló una vacuna recombinante capaz de reducir la colonización de Escherichia coli enterohemorrágica (EHEC) en bovinos, principal reservorio de la bacteria. Este patógeno es responsable del Síndrome Urémico Hemolítico (SHU), una enfermedad sistémica grave que afecta principalmente a los niños menores de cinco años, y que se transmite a través de los alimentos, el agua y de persona a persona a través de las manos, también por el contacto directo con la materia fecal del ganado bovino, principal fuente de infección. El producto logrado por investigadores argentinos es una vacuna constituida por proteínas recombinantes que reduce la carga bacteriana en los vacunados, con una muy buena reacción inmune. Argentina es uno de los países del mundo con mayor incidencia de la enfermedad (500 casos por año). Este desarrollo favorece también a la exportación de carne, ya que algunos mercados detectan la presencia de serotipos portadores de toxinas Shiga para el ingreso de la mercadería.
- **Vacuna recombinante para el control del virus de la diarrea viral bovina.** Se trata de un desarrollo público-privado de Bioinnovo SA, la empresa conformada por el INTA y la firma Vetanco S.A. El producto combina la potencia de las vacunas “vivas” con la seguridad de las vacunas inactivadas, teniendo en cuenta que atenuadas están prohibidas en la Argentina por cuestiones relacionadas con la bioseguridad.
- **Vacuna contra el virus de la Leucosis Bovina (LBE).** El virus de la Leucosis Bovina genera la muerte del 10% del ganado infectado en Argentina, como consecuencia de tumores del sistema linfático. Esto implica un impacto negativo en el sistema productivo lechero de alrededor de USD 5.300 por vaca muerta afectada (INTA, 2014). En este marco, el INTA y la Universidad de Liege (Bélgica) desarrollaron la primera vacuna del mundo contra el virus. Se trata de un desarrollo biotecnológico que permite combatir y erradicar un virus que afecta a más del 80% de los tambos de la Argentina, lo que muestra su alta contagiosidad y necesidad de control.
- **Hormona Gonadotrofina Coriónica Equina recombinante.** La Gonadotrofina Coriónica Equina (eGC) es una hormona ampliamente utilizada como complemento de los protocolos de inseminación asistida en vacas. Su utilización ha logrado aumentar las tasas de preñez y el mantenimiento de la gestación en vacas y vaquillonas con baja condición corporal y/o en anestro. La producción tradicional de esta hormona se basa en el método extractivo, a partir de suero equino. Mediante un convenio de vinculación tecnológica, el laboratorio Zoovet, la Universidad Nacional del Litoral (Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas) y la empresa Biotecnofe S.A., desarrollaron FOLI-REC, la primera eCG de origen recombinante del mundo. Debido a la mayor potencia de la eCG recombinante sobre la hormona de origen sérico, se necesita utilizar una menor cantidad para obtener el mismo efecto, lo cual permite reducir la cantidad de hormona empleada en el proceso de inseminación asistida.

Proyecto 3. Fortalecer la productividad agroganadera a partir del desarrollo de la biotecnología aplicada a la mejora genética vegetal y animal

Biotechnología para la mejora de la genética vegetal

En el presente documento entendemos por mejora de la genética vegetal al mejoramiento de los cultivos a través de la ingeniería genética, es decir, la alteración directa del material genético de un organismo utilizando la biotecnología. La ingeniería genética permite la introducción, remoción, modificación o perfeccionamiento de genes específicos de interés, con cambios mínimos no deseados en el resto del genoma del cultivo. A su vez, la ingeniería genética permite el intercambio de material genético entre especies. Así, la materia prima genética que puede ser aprovechada para este proceso no se limita a los genes disponibles dentro de la especie.

En la mayoría de los casos, la ingeniería genética de plantas se basa en los métodos convencionales de transgénesis o en las más recientes técnicas de edición del genoma. En los métodos transgénicos convencionales, los genes que otorgan rasgos agronómicos deseados se insertan en el genoma en ubicaciones aleatorias a través de la transformación de las plantas. Estos métodos generalmente resultan en variedades que contienen ADN exógeno, es decir, proveniente de otra especie. Por el contrario, la edición génica permite obtener cambios en el ADN endógeno de la planta, como por ejemplo deleciones, inserciones y reemplazos de ADN de varias longitudes en sitios objetivos del genoma. Dependiendo del tipo de ediciones realizadas, el producto puede o no contener ADN exógeno.

En algunas partes del mundo, incluyendo Estados Unidos, Argentina y Brasil, las plantas con genoma editado que no contienen ADN exógeno, no están sujetas a las medidas adicionales de regulación que se aplican a las plantas transgénicas. Independientemente de las diferencias en las políticas regulatorias, tanto las técnicas de transgénesis convencionales, como las de edición génica, siguen siendo herramientas poderosas para la mejora de cultivos (Dong y Ronald, 2019). A continuación, se mencionan los distintos tipos de aplicaciones de la ingeniería genética de las plantas.

- **Mejora de rasgos agronómicos** (*input traits*, en inglés), como ciertas características morfológicas (tamaño del grano, altura de la planta, etc.), resistencia a plagas y enfermedades (virus, insectos, hongos, etc.) y tolerancia a herbicidas o a condiciones ambientales adversas (salinidad, heladas, sequía, etc.). Como ejemplos de estas mejoras encontramos los cultivos que actualmente se comercializan en el mundo: soja, maíz, algodón y canola tolerantes a herbicidas, maíz y algodón resistentes a insectos, papaya resistente a virus y el trigo HB4⁵⁰ tolerante a la sequía, entre otros.

⁵⁰ Desarrollado por el Instituto de Agrobiotecnología del Litoral (IAL) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) en asociación público-privada con la empresa Bioceres.

- **Mejora de la resistencia frente a plagas y enfermedades.** Las pérdidas globales por enfermedades y plagas se estiman que oscilan en promedio entre el 11 y el 30 %. Las pérdidas de cosechas son más altas en las regiones que ya sufren de inseguridad alimentaria. Las pérdidas por enfermedades serían mucho peores sin los avances constantes en las prácticas agrícolas, los controles, el uso de agroquímicos y el control biológico. Sin embargo, no existe una única solución 100% efectiva, y es necesario un enfoque integrado para combatir las enfermedades de las plantas, que combine las mejores tecnologías y prácticas disponibles. Algunos pesticidas están perdiendo eficacia rápidamente debido a la evolución de los patógenos. El mejoramiento de cultivos clásico puede incrementar la resistencia a enfermedades individuales, pero existe un desafío asociado con seleccionar cultivos con resistencia contra múltiples enfermedades simultáneamente, manteniendo a la vez las características de las variedades élite⁵¹. Finalmente, la introgresión de una sola resistencia a través del mejoramiento clásico facilita la adaptación de los patógenos a esa resistencia. De este modo, una de las formas más efectivas y sostenibles de controlar las plagas y enfermedades consiste en utilizar la modificación genética y la edición del genoma en los cultivos (Van Esse, 2020).
- **Mejora de la tolerancia a la sequía.** Investigadores y productores agrícolas de distintas partes del mundo reconocen que el agua es el factor abiótico más importante que limita la productividad de los cultivos. La sequía y la eficiencia en el uso del agua son factores importantes que limitan la productividad agrícola en todo el mundo. La mayor parte de las tierras cultivadas dependen del agua proveniente de la lluvia, lo que genera que la productividad sea dependiente de los patrones climáticos y contenga un elevado componente aleatorio en la producción. Además, el aumento de las temperaturas globales introduce una mayor incertidumbre. Mediante la biotecnología, es posible introducir o modificar genes que afectan directamente el uso del agua en las plantas, con el fin de aumentar su tolerancia a la sequía. El objetivo consiste en lograr que las plantas adquieran una capacidad de adaptación superior frente a períodos de sequía, sin afectar su productividad.
- **Mejora de características relacionadas con la calidad** (*output traits*, en inglés), a través de la modificación en las vías metabólicas y la composición de los cultivos. Dentro de estas aplicaciones se encuentran las modificaciones tendientes a generar alimentos más saludables, a obtener alimentos mejorados para animales y los cambios en las plantas para la fitorremediación, entre otros.

⁵¹ Entendemos por variedad élite a aquel cultivar o planta altamente seleccionada entre muchas otras, que posee ciertas características o rasgos agronómicos altamente deseables, como productividad, resistencia a todo tipo de estrés, adaptabilidad, alta habilidad combinatoria y/o gran transmisión de rasgos. Frecuentemente, estos cultivares contienen una serie de rasgos poco comunes, únicos y especiales, con respecto al resto de cultivares comercialmente disponibles.

Dentro de las modificaciones para la generación de alimentos más saludables y seguros, encontramos el aceite de soja con una composición más saludable de ácidos grasos, el maní hipoalergénico y el arroz con niveles aumentados de provitamina A.

Dentro de los alimentos mejorados para animales, existen pasturas más fáciles de digerir y maíz con mayor contenido de aminoácidos esenciales.

También podemos encontrar mejoramiento de cultivos para determinadas aplicaciones industriales, como granos con más aceite o con diferente composición de ácidos grasos y madera con menos lignina para la fabricación del papel. También pueden incluirse en este grupo las frutas con maduración retardada.

Además, se pueden modificar plantas para utilizarlas en fitorremediación, es decir, para la remediación de suelos y aguas contaminadas.

Un último grupo dentro del *output traits* comprende las modificaciones en las características decorativas de las plantas ornamentales, como el color, la duración de las flores y la calidad del césped, entre otros.

Por último, las plantas también pueden ser modificadas para utilizarlas como fábricas de moléculas de interés industrial, como anticuerpos, vacunas, enzimas, etc. (*molecular farming*, en inglés). Como ejemplo, se puede mencionar la planta de cártamo transgénico desarrollada por INDEAR, que produce quimosina recombinante, una enzima animal con funciones coagulantes que se utiliza en la elaboración del queso. Entre las ventajas del *molecular farming* respecto a la producción de proteínas recombinantes por cultivo celular (fermentación), se encuentran el bajo costo y el menor impacto ambiental, que derivan de la posibilidad de producir las moléculas de interés a gran escala, utilizando pocas hectáreas y luz solar como fuente de energía.

Panorama global de la genética vegetal

La creciente necesidad de adaptar los sistemas agroalimentarios a los nuevos desafíos ambientales y socioeconómicos condujo a una fuerte expansión de insumos biotecnológicos y fundamentalmente de la producción de semillas transgénicas. En términos de proyección, se espera que el mercado de semillas se mantenga en crecimiento en los próximos años (2022-2027) a una tasa anual acumulada del 6,6% (Mordor Intelligence, 2022c). Esto se asocia en parte al potencial que presenta la ingeniería genética para incrementar la elaboración de alimentos con un menor requerimiento de tierra cultivable, lo que redundará en una descompresión de los ecosistemas y una mayor seguridad alimenticia. Asimismo, las posibles mejoras en la productividad parecieran actuar como motivo adicional en los productores para adoptar cada vez más este tipo de tecnologías. Dado el dinamismo que está presentando el mercado conviene realizar un análisis tanto desde el lado de la oferta como del lado de la demanda.

Breve descripción de la distribución de actividades dentro de la cadena de producción

Si se analiza la distribución de actividades en la cadena de producción de semillas se advierte una clara diferenciación de tareas y, por ende, capacidad de apropiación de rentas, según el origen del capital empresario. Antes de adentrarnos en esta caracterización parece conveniente describir brevemente el proceso innovador y de desarrollo que pasa una semilla transgénica:

1. Obtención de la construcción genética (CG): la CG hace referencia a la secuencia genética que contiene el transgén. En esta etapa las empresas realizan grandes esfuerzos de investigación y desarrollo y, una vez alcanzado el objetivo, se patenta y se vende la tecnología asociada (Bisang *et al.*, 2011; Pellegrini, 2011). Este es quizá el eslabón con mayores barreras a la entrada y posibilidad de captación de rentas extraordinarias a lo largo de toda la cadena. Esto se asociaría a la elevada intensidad innovativa que caracteriza a esta etapa y a la existencia de grandes empresas con capacidad financiera y un largo recorrido hecho a lo largo de la curva de aprendizaje. Las CG pueden surgir de una interacción directa con el entramado científico local (como es el caso de algunas empresas locales) o bien de laboratorios propios de las firmas.
2. Desarrollo de cultivares transgénicos y aparición de eventos transgénicos: en esta etapa se inserta el gen a los cultivos de interés y se evalúa su desempeño en campos controlados y después en campos abiertos. Como estadio final se presentan las evaluaciones resultantes a las autoridades regulatorias pertinentes que permitan su comercialización para plantación. Generalmente, el trasplante del gen se realiza a un cultivo que sea comercialmente viable para poder justificar los montos de inversión realizados. Asimismo, en esta etapa se realizan constantes modificaciones biotecnológicas del cultivo para poder adaptarlo a las condiciones agroecológicas de la región donde va a ser sembrado y cultivado. Esta tarea puede realizarla la misma empresa obtentora del gen (en el caso de las transnacionales se suele hacer mediante sus filiales) o bien por semilleras locales que obtuvieron la licencia de la CG.

Reproducción y comercialización de semillas: este podría considerarse el eslabón final de la cadena donde, una vez aprobado el evento transgénico, se procede a su reproducción y venta a productores locales.

Análisis de la oferta mundial de semillas genéticamente modificadas

Desde una perspectiva ofertista, los mecanismos de provisión global de semillas al sector agrícola sufrieron grandes modificaciones a lo largo de la historia. Tradicionalmente, los mismos productores se abastecían de semillas almacenadas de cosechas anteriores y con el tiempo fueron construyendo redes de proveeduría con grandes empresas transnacionales. Hoy en día estas empresas concentran gran parte de la oferta global de semillas producidas en base a actividades biotecnológicas, así como también en otros mercados afines como el de agroquímicos. Entre las más relevantes pueden mencionarse Corteva Agriscience, Bayer Group, BASF y ChemChina, las cuales concentran más de la mitad del mercado global de semillas (Bonny, 2017).

La actual baja dispersión de oferentes fue resultado de un proceso de adquisiciones y fusiones de una oferta que ya se encontraba altamente concentrada. Veinte años atrás, el mercado de semillas transgénicas era controlado por un grupo de empresas llamadas “los seis grandes” compuesta por las ya mencionadas Bayer Group y BASF junto con Monsanto, Syngenta, Dow y Dupont. Estas firmas se caracterizan por haber ampliado su *core competence* de sustancias y productos químicos a semillas transgénicas y agroquímicos. De esta manera, la estrategia de las firmas consistió en la creación y ofrecimiento de paquetes tecnológicos cerrados⁵² (Quadrona, 2020). Iniciada la primera década del nuevo siglo “los seis grandes” iniciaron un proceso de adquisiciones y fusiones reduciendo así gran parte de la oferta global de insumos agrícolas a un puñado aún más pequeño de empresas. Este fue el caso Dow y Dupont que se fusionaron en “DowDupont” y en 2019 crearon Corteva Agriscience. Asimismo, Monsanto fue adquirida por Bayer y Syngenta por la empresa pública china ChemChina (Deconinck, 2020).

Las motivaciones detrás de aquel comportamiento respondieron al alcance de economías de escala y la ampliación en la participación del mercado. Bonny (2017), a su vez, identificó otros factores adicionales como fueron los bajos precios de los productos agrícolas e ingresos en los productores percibidos entre 2015 y 2016, los cuales, sumados a las dificultades derivadas de las condiciones climáticas adversas, generaron menores inversiones por parte del sector primario tanto en semillas como en pesticidas. Así, las empresas transnacionales biotecnológicas vieron en la adquisición y fusión una alternativa viable para afrontar dicha situación, motivadas adicionalmente por las bajas de tasas de interés de aquel período.

Más allá de los factores mencionados anteriormente, un determinante clave a la hora de analizar la concentración del mercado global de semillas es el elevado costo de realizar actividades intensivas en investigación y desarrollo. Los costos en I+D son, por lo general, un factor crítico en las estrategias empresariales de la industria de semillas y conduce muchas veces a realizar alianzas estratégicas y fusiones. De esta manera, se reduce el peso de la I+D en la estructura de costos obteniendo así rendimientos adecuados sobre el capital invertido. Es por ello que en el próximo apartado se hará un análisis sobre las estrategias empresariales ligadas a la innovación de las principales proveedoras de semillas transgénicas en el mundo.

Estrategias empresariales ligadas a la innovación de las principales empresas biotecnológicas a nivel global

Las inversiones en I+D son el pilar central dentro de las industrias biotecnológicas y de semillas transgénicas. La aparición de nuevas exigencias asociadas a la producción de alimentos y a la salud humana obligan constantemente a los productores a adaptarse y elaborar productos que cumplan con ciertos estándares de calidad. En este marco de nuevos requerimientos se encuentran factores ligados tanto a comportamientos del mercado (cambios en los patrones

⁵² Las distintas variedades de semillas transgénicas resistentes a plagas y herbicidas que ofrecen las empresas multinacionales se les asocia un tipo de agroquímico específico, el cual también es producido y vendido por estas firmas. De esta manera, el comprador no solo adquiere el producto en sí, sino todos los bienes intermedios asociados a él.

de consumo alimentario y en la sensibilidad de los consumidores a la sostenibilidad, calidad de alimentos, precios de insumos, entre otros), cuestiones ambientales (cambio climático, disponibilidad de recursos naturales y desastres naturales) y entornos institucionales (ligados a los estándares y normativas de sanidad vegetal o animal, impuestos e incentivos) (Sonino y Ruane, 2013).

En este sentido, los productores agropecuarios se ven incentivados a incorporar el conocimiento como insumo clave en su función de producción, motivados aún más por los cambios evidenciados en los mismos campos tecnológicos (avances en los conocimientos básicos, TICs, etc.). De esta manera, las tecnologías relativas a la ingeniería genética ocupan cada vez más importancia en la provisión de insumos al sector, presionando a las empresas productoras de semillas a generar innovaciones en nuevos productos y mejorar los existentes.

La dinámica descrita anteriormente queda reflejada en el peso del gasto en I+D dentro de los balances empresariales de las semilleras biotecnológicas. Se estima que en promedio las principales empresas proveedoras del sector invierten cerca del 10% de los ingresos obtenidos por ventas en actividades de I+D (INASE, 2019). Syngenta, por ejemplo, reportó para el año 2021 (año en el que ya se encontraba en alianza con ChemChina) un monto de USD 481 millones destinado a investigación y desarrollo para la producción de semillas, lo que representó una suba real de 21% y una participación del 14% de los ingresos obtenido por las ventas de semillas. En el caso de Bayer, los gastos en I+D relativos a la ciencia de los cultivos representaron en 2021 el 10% de los ingresos totales para ese segmento.

Las actividades relativas al descubrimiento del gen y tratamiento surgen de los mismos laboratorios de las empresas globales ubicados fundamentalmente en los países con mayor desarrollo tecnológico. De esta manera, el eslabón más intensivo en I+D se concentra en países europeos como Alemania y Francia, así como en Estados Unidos. De hecho, casi la totalidad de los eventos transgénicos (entendidos como la efectiva aplicación al genoma de una planta de uno o más genes exógenos) en el mundo se generó por estas empresas y en países desarrollados (Sztulwark y Girard, 2018). En tanto, las filiales dedicadas exclusivamente a la producción y comercialización se encuentran más dispersas a lo largo de los continentes.

Las firmas líderes en la producción de semillas transgénicas buscan innovar no solo por producto mediante la elaboración de nuevos eventos genéticos, sino también vía mejoras en el proceso de producción y adentrándose en nuevos campos tecnológicos como pueden ser la digitalización o agricultura de precisión. Como se mencionó en el apartado anterior, las técnicas de mejoramiento en la genética vegetal se centran en la transgénesis, es decir, mediante la inserción de genes exógenos a la planta. Sin embargo, en los últimos años las principales empresas del sector han experimentado en la implementación de la edición genética mediante el mejoramiento de ADN endógeno al cultivo. Esta técnica abrió nuevas interrogantes respecto al impacto que podría llegar a tener en el mercado de la biotecnología agrícola, dado su alto carácter disruptivo: en principio, la edición génica presenta una mayor precisión y velocidad en la modificación del genoma de una planta que las técnicas de transgénesis ya que en este último no se puede controlar el lugar donde se va a insertar el genoma (hay un factor aleatorio

muy elevado). De esta manera, la edición genética sufre de menores procesos de “prueba y error” y resulta ser menos costoso que la transgénesis. Asimismo, los cultivos agrícolas genéticamente modificados resultantes no sufrirían de las trabas regulatorias asociadas a los productos de transgénesis. Es por todo ello que firmas como Bayer, Syngenta y Dow Agrosience (actualmente parte de la empresa Corteva Agriscience) mostraron interés en estas tecnologías de mejoramiento y adquirieron licencias de las diferentes técnicas descubiertas⁵³ con el objetivo de poder aplicarlo a sus productos.

Análisis de la demanda mundial de semillas

La adopción de semillas transgénicas fue generalizada en el sector agrícola del mundo. Se estima que cerca del 80% del área sembrada de soja y algodón global la ocuparon semillas modificadas genéticamente, mientras que para el caso del maíz fue del 30%. De esta manera, las plantaciones de cultivos transgénicos han alcanzado una superficie 113 veces mayor a la observada en 1996 (ISAAA, 2018).

Por país, los principales cultivadores de plantas transgénicas se exponen en el cuadro 5. El podio lo ocupan Estados Unidos, Brasil y Argentina concentrando cerca del 78% del total de la superficie sembrada por transgénicos a nivel global. A su vez, estos mismos países junto con otros sudamericanos como Uruguay y Paraguay presentan más de la mitad del total de su área implantada con semillas genéticamente modificadas. La gran adaptación de la biotecnología por parte del sector agrícola en estas regiones contrasta fuertemente con la de otras como la Unión Europea,⁵⁴ por ejemplo.

El fuerte crecimiento de la siembra de cultivos transgénicos quedó reflejado en el dinamismo observado en el comercio global de semillas. Estudios como el de Bonny (2017) han estimado que desde 2000 hasta 2016 las semillas transgénicas ganaron año a año peso en el comercio global de semillas llegando a explicar en el 2016 el 33% de las ventas globales (USD 33.000 millones). Asimismo, la superficie implantada a nivel mundial está cada vez más ocupada por cultivos transgénicos, por lo que no es de extrañar que gran parte de la provisión de semillas a nivel global sea de origen biotecnológico.

⁵³ Por ejemplo, una de las primeras técnicas utilizadas para la edición genética fueron las “nucleasas tipo dedos de zinc” (ZFN, por sus siglas en inglés) descubierta y patentada por la empresa Sangamo Therapeutics quien posteriormente le otorgó la licencia a AgroSciences.

⁵⁴ Europa tuvo varias idas y vueltas con la primera autorización de transgénicos debido a que muchos integrantes de la Unión Europea consideraban que debía modificarse el procedimiento vigente desde 1990 para la evaluación de estos cultivos. De esta manera, el Parlamento Europeo logró aprobar la nueva reglamentación recién en 2001 pero con efectiva aplicación en 2003 (en el caso de Francia fue aún más tarde en el 2008). Al año siguiente se otorgó la autorización al maíz transgénico propiedad de Syngenta. Es por ello que en ocasiones se plantea que Europa tuvo una *moratoria de hecho* en la aprobación de transgénicos.

CUADRO 5. ÁREA SEMBRADA RELATIVA A CULTIVOS TRANSGÉNICO POR PAÍS (2019)

Ranking	País	Área implantada en millones de hectáreas	Participación dentro del total del área implantada
1	Estados Unidos	71,5	75,1%
2	Brasil	52,8	64,9%
3	Argentina	24	65,2%
4	Canadá	12,5	40,9%
5	India	11,9	6,0%
6	Paraguay	4,1	68,1%
7	China	3,2	1,8%
8	Sudáfrica	2,7	49,7%
9	Pakistán	2,5	11,9%
10	Bolivia	1,4	35,5%
11	Uruguay	1,2	67,6%
12	Filipinas	0,9	6,3%
13	Australia	0,6	2,7%
14	Myanmar	0,3	1,7%
15	Sudán	0,2	1,0%
16	México	0,1	1,3%
17	España	0,1	0,8%
18	Colombia	<0,1	2,3%
19	Resto		---

Fuente: elaboración propia con base en datos de ISAAA y FAO.

A modo de resumen, el mercado relativo a la biotecnología vegetal, orientado específicamente a la elaboración de semillas con ingeniería genética, presenta las siguientes características económicas:

1. La oferta global se encuentra altamente concentrada en pocas firmas multinacionales cuya estrategia empresarial se centra en la preservación de las rentas en mercados oligopólicos mediante una fuerte inversión en I+D. La constante innovación genera barreras a la entrada para nuevos competidores motivando aún más la concentración de la oferta.
2. Las fuertes inversiones en I+D (que fueron las que condujeron a su vez a una búsqueda de fusiones y adquisiciones entre las grandes multinacionales) se centran en la generación de innovaciones tanto de nuevos productos como de técnicas (edición genética). Asimismo,

estas empresas buscan constantemente ser proveedoras de paquetes tecnológicos cerrados.

3. La demanda atraviesa un período de alto dinamismo y expansión asociado a los nuevos desafíos que presentan los agricultores del mundo en un contexto de crisis ambiental y proyección de crecimiento del consumo de alimentos. Las persistentes complicaciones para producir en el sector agrícola incentivan al productor a buscar alternativas que permitan sostener e incrementar sus rendimientos. Es por ello que la biotecnología vegetal se vuelve altamente atractiva.

El rol de la biotecnología vegetal en la resiliencia al cambio climático

Como se mencionó, uno de los grandes retos de la humanidad es garantizar la seguridad alimentaria en un contexto donde los cambios ambientales causados por la crisis climática ya son evidentes. Entre las consecuencias directas de estos nuevos fenómenos asociados al clima, que limitan notoriamente a la producción agrícola, se pueden mencionar el incremento de la frecuencia y duración de los períodos de sequía y la aparición de plagas. De esta manera, la aplicación de herramientas biotecnológicas aparece como una forma de generar nuevas variedades de cultivos que permitan incrementar y asegurar la producción agrícola de una manera respetuosa con el ambiente.

La biotecnología vegetal también es una tecnología que contribuye a la reducción del impacto de la agricultura en el ambiente. El mejoramiento genético incrementa la producción por hectárea, lo que debería permitir reducir la necesidad de expandir la frontera agrícola vía deforestación. A su vez, el desarrollo de variedades con mejor captación de nutrientes contribuiría a eficientizar el uso de fertilizantes, limitando su contaminación en el suelo. Algo similar sucedería si se utiliza la biotecnología para descubrir cultivos con mayor eficiencia hídrica, los cuales lograrían aminorar la dependencia de la irrigación y preservar los recursos hídricos.

En este marco, distintos organismos internacionales han advertido de la importancia de la biotecnología como herramienta para el desarrollo sostenible de la agricultura y la han catalogado como tecnología clave para la resiliencia climática. Los impactos de los cultivos genéticamente modificados que más se suelen resaltar son el aumento de la productividad promedio en un 21%, la reducción del uso de pesticidas en un 37% y la mejora de la rentabilidad de los productores en un 69% (Rajalahti, 2021).

Particularmente, en los países en vías de desarrollo, donde el impacto de la crisis climática es especialmente mayor y en donde la agricultura resulta ser el principal medio de subsistencia de muchas familias, los beneficios de la biotecnología agrícola podrían resultar aún mayores. Muchos países del este de Asia, por ejemplo, desarrollaron, o se encuentran en proceso de realizar, sistemas regulatorios para el control y habilitación de los cultivos genéticamente modificados y los beneficios de aplicar biotecnología como tecnología de resiliencia ya se han alcanzado en gran parte de esta región. El arroz tolerante a eventos climáticos extremos es quizá uno de los hechos más paradigmáticos en este sentido: a la fecha se descubrieron

100.000 variedades de arroz que permitieron alcanzar beneficios en torno a los USD 1.500 millones por año y mejoras de los rendimientos cercanas al 11% anuales en promedio en períodos de sequía. Recientemente se descubrió que el aumento de la producción por hectárea de arroz con estas variedades es notable también en contextos con abundancia de precipitaciones (Vaiknoras, 2021).

La biotecnología en África también está progresivamente incorporándose como herramienta para la adaptación al cambio climático en la producción de alimentos. La agricultura familiar africana es predominante en la economía y es por ello que el progreso social y económico en dicha región se asocia usualmente con la mejora de la productividad agrícola. Actualmente, los rendimientos de los cultivos africanos se encuentran por debajo del promedio global y el porcentaje de la población de África en situación de inseguridad alimentaria es de las más altas del mundo (21% aproximadamente) (Fuentes-Nieva, 2022). Más grave aún, el aumento de la producción agrícola evidenciado en los últimos años fue producto de una expansión de la frontera agropecuaria más que a una mejora de la productividad. Este escenario de vulnerabilidad se asocia muchas veces a problemas derivados del cambio climático como sequías y plagas.

Bajo este escenario, varios países de África comenzaron a esquematizar instrumentos que sirven para la creación de capacidades biotecnológicas, como en el caso de Nigeria. La ingeniería genética en Nigeria se inició con una regulación de la biotecnología moderna a mediados de los '90 con la firma del Convenio sobre la Diversidad Biológica, el cual sentaría las bases para la posterior creación de la Ley de Bioseguridad y de la Agencia Nacional de Gestión de Bioseguridad. Estos antecedentes regulatorios permitieron al país africano mantenerse en la frontera de los avances biotecnológicos modernos y convertirse en el primer país del continente en validar las pautas de edición de genoma en 2020, por ejemplo. Actualmente tiene varias actividades de I+D en diferentes niveles (investigación, prueba, canalización y comercialización) y logró la aprobación comercial de algunos cultivos transgénicos como la mandioca, la yuca y el caupí. En el caso del caupí se mejoró la resistencia al barrenador de la vaina (plaga que afecta el cultivo de leguminosas), lo que permitió una mejora de los rindes seis veces mayor que las variedades convencionales. El caupí modificado también ha reducido el uso de pesticidas de ocho veces por temporada a solo dos veces volviendo al cultivo más rentable para el productor (IITA, 2019).

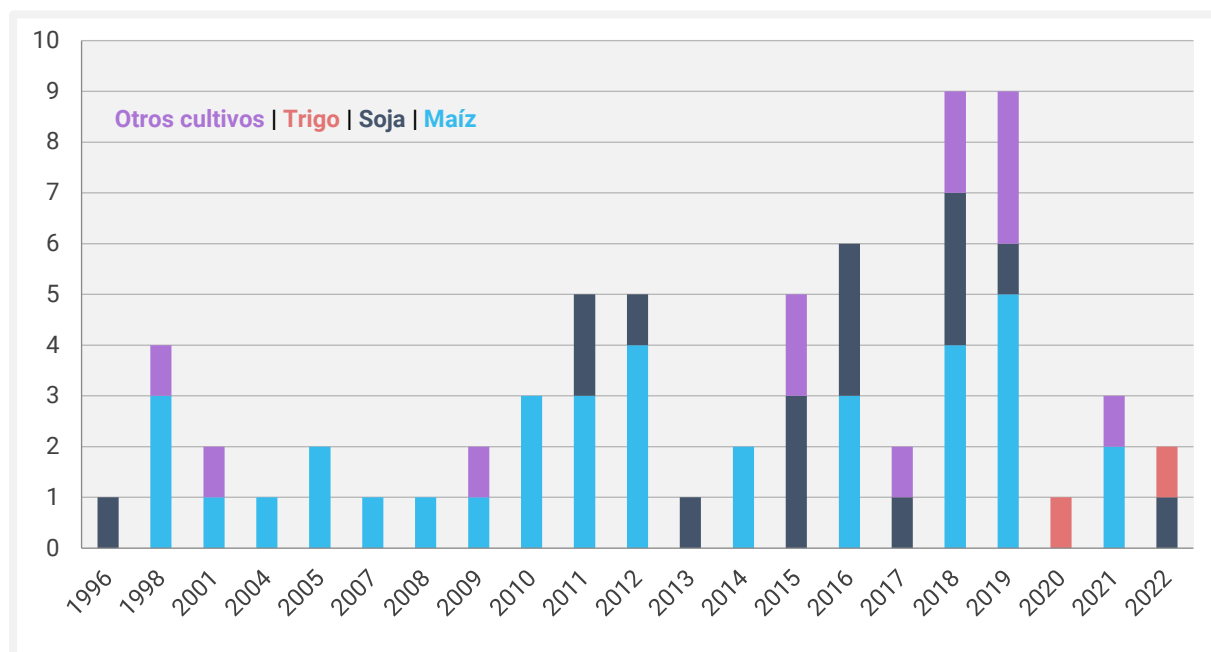
De esta manera, es claro el rol de la biotecnología en la resiliencia al cambio climático por parte de los productores agrícolas. La capacidad adaptativa requiere de un equilibrio entre la preservación de los recursos naturales y un sostén en la producción de alimentos y dicho equilibrio es posible en parte al mejoramiento genético de cultivos. Varios países han avanzado en la consolidación de sus capacidades de desarrollos biotecnológicos, así como de asimilación de cultivos basados en ingeniería genética por parte del sector primario. América Latina no escapa de este escenario y cuenta con jugadores claves que actúan como proveedores no solo de alimentos sino de insumos biotecnológicos. Este es el caso de Argentina, por ejemplo, donde el desarrollo de su entramado científico-tecnológico y la existencia de una estructura empresarial dispuesta a asumir riesgos en la producción de productos biotecnológicos permitirían posicionar al país como agente importante en la resiliencia agrícola en el mundo. Es por ello que a continuación se abordará en un análisis descriptivo del sector biotecnológico a nivel nacional.

Panorama local de genética vegetal

El recorrido productivo para la elaboración de las semillas transgénicas puede resumirse a grandes rasgos en dos etapas: una primera etapa en donde las empresas realizan esfuerzos de I+D para descubrir y aislar nuevos genes de interés para el mejoramiento de ciertos cultivos; y una segunda etapa en donde se desarrollan las técnicas de mejoramiento a través de esos genes obtenidos. En esta última etapa es donde se cultivan las variedades vegetales genéticamente alteradas para la reproducción de semillas.

Bajo ese esquema productivo, el mercado local sufrió varias transformaciones. Inicialmente, los descubrimientos genéticos eran elaborados por las empresas transnacionales, las cuales los transferían vía patentes. Las empresas nacionales, por su parte, aplicaban los genes obtenidos por terceros a variedades vegetales propias utilizando fundamentalmente técnicas de fitomejoramiento⁵⁵ (sobre la distribución de tareas a lo largo de la cadena de producción profundizaremos en el siguiente apartado). De esta manera, a partir de los '90 comenzaron a liberarse varios eventos genéticos en el país concentrados sobre todo en el maíz y la soja (ver gráfico 28) y con un ritmo no tan dispar al evidenciado en mercados tradicionalmente más dinámicos como el estadounidense, por ejemplo (Anlló *et al.*, 2011).

GRÁFICO 28. EVOLUCIÓN DE LA CANTIDAD DE EVENTOS TRANSGÉNICOS EN EL PAÍS POR TIPO DE CULTIVOS (1996-2022)



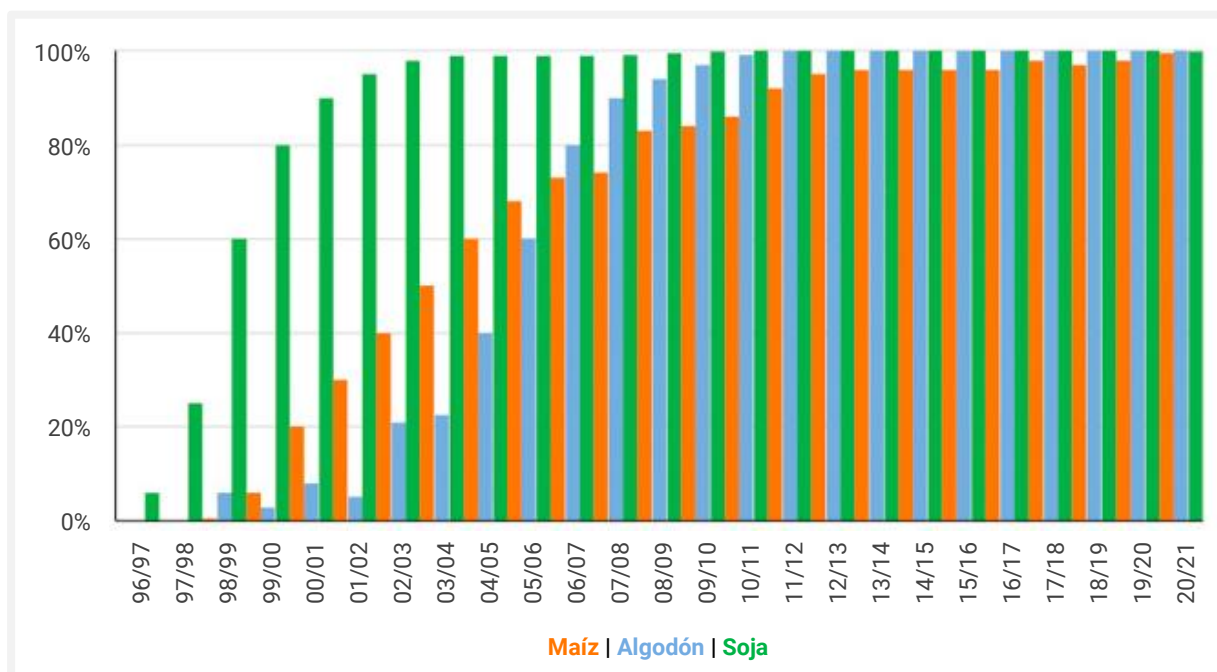
Fuente: elaboración propia con base en datos de Argenbio y MAGyP. Nota: el segmento "otros cultivos" incluye alfalfa, cártamo, algodón y papa.

⁵⁵ El mejoramiento genético convencional (o fitomejoramiento) consiste en el cruce de genes entre plantas de una misma especie.

Al día de hoy se han aprobado un total de 67 semillas genéticamente modificadas para uso comercial, fundamentalmente en cultivos como el maíz, la soja y el algodón. Gran parte de las innovaciones hechas fueron para aumentar la tolerancia de las plantas al uso de herbicidas y mejorar la resistencia a los insectos. En los últimos años aparecieron también eventos transgénicos más innovadores como fue el trigo tolerante al estrés hídrico en el año 2021 por la empresa INDEAR S.A., perteneciente al grupo Bioceres.

Ahora bien, en todo proceso de innovación se requiere que haya una efectiva transferencia de las tecnologías elaboradas a la sociedad para poder vislumbrar los beneficios asociados al progreso tecnológico. Este pareciera ser el caso de las semillas transgénicas en Argentina, donde la aceptación y adaptación del sector agrícola fue más bien amplia y con una rapidez de aplicación muy notoria (ver gráfico 29). Las primeras experiencias comerciales de semillas transgénicas en el país fueron con la campaña agrícola 1996/1997. Sin embargo, los pasos iniciales que permitieron el impulso de la biotecnología en el país se dieron cinco años antes con la creación de la Comisión Nacional Asesora de Bioseguridad Agropecuaria (CONABIA). El rol de la CONABIA fue clave para la regulación y difusión de los eventos transgénicos, lo que permitió el alto nivel de aceptación por parte de los productores agrícolas. A partir de allí, la siembra con semillas transgénicas creció casi ininterrumpidamente para el maíz, la soja y el algodón, con una adopción que llegó a alcanzar el 100% del área sembrada en la soja a inicios del año 2000. En el caso del algodón se completó el total de la superficie implantada en la primera década del 2000, mientras que para el maíz se sembró casi la totalidad recién en las últimas campañas (19/20 y 20/21).

GRÁFICO 29. EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN ARGENTINA (1996-2022) (PARTICIPACIÓN EN % DEL TOTAL SEMBRADO PARA CADA CULTIVO)



Fuente: reproducido de [Argenbio](#).

El rol de las empresas biotecnológicas nacionales en la cadena de valor

A nivel local las empresas extranjeras explican gran parte de los descubrimientos de cultivos modificados genéticamente (primera etapa del eslabón). Estos hallazgos se realizan en las casas matrices de tales firmas, concentradas en su gran mayoría en países de mayor desarrollo tecnológico relativo, para luego transferirlas a sus filiales en el resto del mundo (Quadrana, 2020). Ahora bien, dada la idiosincrasia propia de la actividad agrícola, los paquetes tecnológicos asociados al agro deben adaptarse a las condiciones agroecológicas de cada región (Anlló *et al.*, 2011) y es aquí donde las semilleras locales ganan mayor protagonismo dentro de la cadena de valor realizando el mejoramiento genético necesario en función de estas especificidades (segunda etapa del eslabón). Este es el caso, por ejemplo, de las empresas Don Mario y Nidera.

Sin embargo, en los últimos años, algunas firmas nacionales comenzaron a ganar protagonismo en la etapa intensiva en investigación como Tecnoplant S.A. con el caso de la papa resistente a la virosis y el reciente descubrimiento de Bioceres con el trigo HB4 (ver recuadro 5 para más información). De esta manera, aparecieron experiencias de empresas locales que no se limitaron solo a la reproducción y mejoramiento de semillas transgénicas ya existentes, sino que comenzaron a tener un rol más protagónico en la generación de innovaciones. Estos eventos de modificación genética nacionales comparten dos características que son relevantes mencionar:

- a. Relación simbiótica entre el sector público y privado:** tanto para el caso de Bioceres (mediante su empresa de servicios de investigación y desarrollo denominada INDEAR) como en el de Tecnoplant, el desarrollo biotecnológico fue producto de una cooperación público-privada. En términos generales el esquema de trabajo en ambos casos consistió en la detección y manipulación del gen de interés por parte del sector público y el financiamiento del proceso y posterior reproducción del cultivo transgénico por la empresa privada. En este sentido, el CONICET fue el responsable de las investigaciones iniciales de hallazgo tanto con la tecnología HB4 como con la papa resistente a la virosis. Un rasgo distintivo entre ambas experiencias fue la simbiosis generada. Las instituciones del CONICET no contaban con los recursos económicos y logísticos necesarios para atravesar un proceso de liberación comercial y comercialización, las cuales fueron cubiertas por Tecnoplant en el caso de la papa y Bioceres en el trigo/soja HB4. Asimismo, ambas firmas también asumieron el rol de gestor para la obtención de los derechos de propiedad.
- b. Atención de necesidades agrícolas puntuales:** los descubrimientos realizados y desregulados para el uso comercial de las empresas nacionales estuvieron orientados en cultivos de economías regionales como son la papa, el cártamo y la alfalfa. Esto la distingue de los eventos transgénicos de empresas transnacionales que estuvieron concentradas en la soja, maíz y trigo. Esta decisión podría responder también a una estrategia empresarial por parte de las firmas locales. Las multinacionales deciden invertir grandes montos de dinero en la investigación de cultivos que permitan justificar la inversión hecha. En cambio, las empresas más chicas ven oportunidades de inversión en mercados más diferenciados.

Por su parte, si bien INDEAR se destacó por su trabajo con el trigo y la soja, la naturaleza del evento fue completamente distinta al de la gran mayoría, ya que tenía por objetivo mejorar la productividad vía una mejor adaptación a la sequía y no por mayor tolerancia a fertilizantes o herbicidas

Recuadro 5. El caso de Bioceres con el trigo tolerante a sequías

Bioceres es una empresa nacional fundada a fines del año 2001 por un grupo de productores agropecuarios cuyo objetivo es proveer de soluciones biotecnológicas al sector agrícola mediante el desarrollo de innovaciones. Hoy en día la empresa se especializa en biogenética elaborando cultivos con cualidades especiales que los vuelven tolerantes a ciertos contextos de estrés. Uno de sus productos emblema en este aspecto es el trigo producido bajo tecnología HB4 basado en transgénesis.

La tecnología HB4 fue el primer evento transgénico tolerante a la sequía y a la salinidad en Latinoamérica. El proceso de transgénesis, cuyas investigaciones iniciaron con el CONICET en el año 1995, consistió a grandes rasgos en tomar el gen que le otorga al girasol su capacidad de tolerar sequías y la salinidad y aplicarlo a otros cultivos. Bioceres logró obtener la licencia del descubrimiento en 2005 para luego transferir mediante transgénesis el gen del girasol al trigo y a la soja. De esta forma, se lograría alcanzar rendimientos en estos cultivos mayores a los que se podrían obtener en escenarios de estrés hídrico sin haber utilizado tecnología HB4 (CONICET, 2019). La licencia transferida de CONICET, en conjunto con la Universidad Nacional del Litoral, a Bioceres constituyó la materialización de una alianza estratégica clave para el desarrollo del trigo transgénico y un claro ejemplo de simbiosis entre el sector público y el sector privado. Esto generó que la empresa haya podido contar con tecnologías de plataforma de I+D *state of the art* en la mayor parte de sus áreas de trabajo.

El proceso de desregulación del trigo HB4 en el país fue largo y de alta incertidumbre. Esto se asoció en parte a la propia naturaleza de las innovaciones tecnológicas, las cuales siempre acarrear inmensurables costos asociados a la poca previsibilidad sobre la materialización del proyecto. Asimismo, la resistencia que presenta el trigo HB4 al herbicida glufosinato de amonio supuso un aspecto adicional que ralentizó el proceso de aprobación comercial. Este herbicida presenta niveles de alta toxicidad y fue prohibido su uso en mercados claves como el europeo. En este sentido, productores agropecuarios se mantuvieron reacios a la adquisición de semillas con tecnología HB4 hasta que no se asegurasen que los compradores se mantendrían indistintos al consumo de estos productos. En Argentina, gran parte de la producción de trigo y sus productos industrializados como la harina se exportan principalmente a Brasil, y es por ello que la licencia del evento en Argentina había quedado supeditada a la aprobación en el mercado brasileño. La [Resolución N° 41/2020](#) dictaminada por la Subsecretaría de Mercados Agropecuarios de Argentina había establecido que Bioceres debía abstenerse a la venta del trigo HB4 hasta que no se desregulara el evento en el país vecino. Efectivamente, en noviembre de 2021 se aprobó la harina en Brasil derivada del trigo transgénico permitiendo un avance en la comercialización del trigo HB4.

El descubrimiento y comercialización del trigo HB4 son el reflejo de la capacidad científico tecnológica del país. El mismo equipo que elaboró esta tecnología atribuyó la posibilidad de haber alcanzado este éxito a las diferentes políticas de ciencia y tecnología y a las líneas de financiación estatal que recibieron (como aportes no reembolsables y subsidios a diferentes proyectos). De esta manera, la experiencia de Bioceres deja entrever la importancia de consolidar el sistema nacional de innovación para facilitar y acelerar creaciones como las del trigo HB4, con un alto potencial para el desarrollo productivo. Esto último se asocia a la posibilidad de diversificación de la economía e incorporación de conocimiento en las funciones de producción en pos de aumentar la productividad en sectores relevantes para el país como es el agro.

En resumen, y siguiendo los aportes de Pellegrini (2011), la oferta local de semillas transgénicas se caracteriza por la presencia de tres tipos de agentes. En primer lugar, las grandes empresas multinacionales obtentoras de genes, las adaptadoras y las obtentoras nacionales. Las obtentoras son aquellas que descubren y aíslan el gen para luego patentarlas y vender la tecnología asociada. Por su parte, las adaptadoras realizan los mejoramientos genéticos necesarios para poder justamente adaptar el cultivo a las condiciones específicas de las regiones a sembrar. En ese sentido, el apartado siguiente se centrará en el análisis cuantitativo de aquellas empresas locales que realizan tanto tareas biotecnológicas ya sea ligadas a la obtención de nuevos genes como al desarrollo de mejoramientos (es decir, las obtentoras y adaptadoras).

Análisis de la estructura empresarial local del mercado de semillas

La identificación de empresas locales que realizan ingeniería genética se complejiza dada la novedad de las tareas. Asimismo, al tratarse de tipo de técnicas y no de un sector económico en particular, la disponibilidad de datos es aún más escasa. Bajo estas dificultades, en un estudio de Anlló *et al.* (2016), se han logrado identificar 18 empresas desarrolladoras de actividades biotecnológicas relativas a las semillas en sus diversas modalidades en el país para el año 2015. Por su parte, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación mediante su encuesta de I+D del sector empresario mapeó un total de nueve empresas biotecnológicas en 2019 que producían semillas.⁵⁶

Respecto a la inversión en I+D, la industria semillera local invirtió en 2019 cerca de USD 829.148 posicionándose como el segmento dentro de biotecnología vegetal con mayor preponderancia (O'Farrell *et al.*, 2022). Sin embargo, en términos generales la inversión privada en investigación y desarrollo en biotecnología agrícola se encuentra lejos de los valores observados en los países más desarrollados. En lo referido a las ventas de bienes y servicios biotecnológicos, la producción de semillas concentró el 0,6% del total; la mayor parte se concentra en productos farmacéuticos (70%) y la industria alimenticia (20,6%) (MINCYT, 2021).

Sobre las cadenas de genética y reproducción animal

El mercado de la genética y reproducción animal incluye todas las pruebas y servicios de genética animal basados en técnicas de ingeniería genética. La aplicación más importante de esta cadena es la cría de animales, en la que se explotan rasgos particulares de los animales para los intereses humanos. A grandes rasgos, la genética animal tiene como objetivo reproducir animales con las características más deseables. Proporciona la materia prima para los programas de cría destinados a mejorar la productividad y satisfacer las necesidades de los

⁵⁶ Cabe destacar que la encuesta hecha por el organismo estatal sufrió varias modificaciones metodológicas a lo largo de los años afectando año a año la cantidad de empresas semilleras biotecnológicas. En el año 2015, por ejemplo, se habían registrado 18 firmas, por lo que la reducción de empresas en 2019 no fue un fiel reflejo de la performance que tuvo el sector.

ganaderos, los consumidores y la sociedad en general (FAO, 2015). La selección de rasgos de adaptabilidad a una condición particular o resistencia a enfermedades en un animal puede obtenerse mediante el empleo de crianza estratégica. Los rápidos avances en la biotecnología molecular y la evolución ulterior de la biología reproductiva han proporcionado nuevos y eficaces instrumentos para seguir innovando. Tecnologías como la genómica y los marcadores moleculares son útiles para comprender, caracterizar y ordenar los recursos genéticos de actividades agroproductivas.

La identificación de individuos y el mejoramiento genético son algunas de las grandes ventajas de implementar técnicas genéticas en el ganado. En el primer caso se desarrolla un servicio de identificación total o parcial del mapa genético para la selección de individuos superiores, lo cual puede lograrse a partir de la secuenciación génica, marcadores moleculares o la bioinformática. Un ejemplo es la identificación de individuos o poblaciones con genes de ternera en bovinos. Además, con la introducción o modificación de genes (mediante transgénesis o edición génica) pueden obtenerse organismos mejorados genéticamente u organismos que producen un compuesto de interés, como por ejemplo, vacas modificadas que producen *lysostafina* en la leche (compuesto que previene la mastitis). Para la identificación del ganado, puede desarrollarse la huella genética del individuo (a través de una huella genética natural o con marcadores genéticos artificiales mediante técnicas moleculares) o indicadores poblacionales que permiten determinar la estructura genética, índices de consanguinidad y distancias genéticas mediante técnicas moleculares. Ejemplos de *outputs* de las huellas genéticas son los mapas de genes que identifican como único al individuo o la identificación de un conjunto de genes de fenotipo, mientras que de los indicadores poblacionales se puede mencionar al manejo y conservación de recursos zoogenéticos (Uffo, 2011).

Por su parte, la eficiencia reproductiva es uno de los factores de mayor impacto económico en la producción de carne, leche y otros derivados. Aplicando las nuevas tecnologías y conocimientos de la reproducción animal a nivel científico-tecnológico es posible mejorar los índices de producción. Entre los principales *outputs* de la reproducción animal se encuentran la inseminación artificial y/o producción de embriones *in vitro*, por un lado, y la clonación de individuos, por el otro. Para el primer conjunto de servicios pueden desarrollarse técnicas como la recogida de ovocitos, maduración y fecundación *in vitro*, transplante de embriones, o la selección de embriones por sexado del semen y de embriones, detección de aberraciones cromosómicas e identificación de patrones de razas. Con estas técnicas pueden obtenerse individuos con calidad genética (rodeos, materia prima industrial) o embriones y gametas congeladas. Con relación a la clonación, a partir de la división limitada de un embrión e introducción del núcleo de una célula somática puede lograrse la multiplicación de animales modificados genéticamente y/o con características genéticas superiores (Uffo, 2011).

Las ventajas de incorporar elementos genéticos al manejo de enfermedades comprenden desde bajos costos iniciales y de mantenimiento hasta la permanencia y consistencia del efecto una vez que la estrategia ha sido establecida, disminuyendo la contaminación ambiental y efectos nocivos en la salud al bajar el uso de fármacos en el largo plazo.

Por lo tanto, la diversidad genética tiene un rol clave en el desafío de lograr que los sistemas de producción ganadera sean más sustentables: permite mejorar los niveles de eficiencia de conversión.⁵⁷ Esto disminuye la demanda de recursos alimentarios del animal y se reducen las emisiones netas de metano, a lo que se le adicionan las múltiples ventajas de un menor uso de antimicrobianos, como se desarrolló en el [apartado sobre bioinsumos aplicados en nutrición y sanidad animal](#).

Al igual que en el caso de los bioinsumos aplicados en la ganadería, el mejoramiento genético, la trazabilidad y la reproducción animal podrían permitirle a Argentina jugar un rol en esta cadena, garantizando una mejora de los rendimientos⁵⁸ de la cadena agroalimentaria local con capacidades tecnológicas nacionales, tanto para lograr una producción sostenible de alimentos de origen animal, como para desarrollar soluciones biotecnológicas que vuelvan a esos productos más saludables y ecológicamente sustentables.

Evolución de la producción global

El mercado de la genética animal ronda los USD 5.000 millones y se espera que crezca significativamente en los próximos años. En 2022, el tamaño del mercado de genética animal alcanzaría los USD 5.100 millones y se pronostica que registre una tasa anual de crecimiento de 7,3% entre 2022 y 2027 (Mordor Intelligence, 2022c). Entre los factores que afectan el crecimiento del mercado se encuentra la creciente demanda de proteína de origen animal por parte de los consumidores asiáticos, y una mayor adopción de tecnologías genéticas avanzadas para la producción a gran escala y razas de calidad. Se registran cada vez mejores estrategias de cría para producir animales sanos y vigorosos, capaces de utilizar los nutrientes para un crecimiento y una reproducción eficientes.

Las regiones occidentales tienen cada vez mayores iniciativas gubernamentales y gran adopción de tecnologías genéticas avanzadas, junto con un alto consumo de proteínas de origen animal. El crecimiento de este último factor es el que explica la cada vez mayor participación en el mercado de la región de Asia, que, a diferencia de Occidente, se consolida como un mercado pujante y creciente, aunque a un nivel aún bajo.

Sobre el comercio global del mercado de genética y reproducción animal, se registran bajos flujos de intercambio comercial. Estados Unidos y Canadá se consolidaron como los principales exportadores de semen de bovino en un flujo comercial total de USD 513 millones en 2020. Argentina representó 0,7% de las exportaciones de este mercado. En la región constituye el principal exportador (USD 3,4 millones) seguido de Brasil (USD 2,6 millones), según datos del Observatorio de Complejidad Económica (OEC).

⁵⁷ La eficiencia de conversión se refiere a qué tan bien los animales transforman el alimento ingerido en masa corporal; lo cual tiene un importante componente genético.

⁵⁸ Se utiliza rendimiento como medida de la cantidad producida de carne, leche y/o subproductos, por unidad de superficie de tierra.

Con relación al flujo importador, China, Reino Unido, Brasil y Estados Unidos fueron los principales importadores de productos vinculados a la genética y reproducción animal durante 2020. Argentina tuvo una participación del 2,7% en el total importado. En la región, Brasil es el principal importador (USD 35,2 millones), seguido de Argentina (USD 13,7 millones) y Chile (USD 5 millones).

De manera similar a lo observado en el mercado de antimicrobianos y vacunas de uso veterinario, los flujos exportadores de la genética animal están concentrados en los países con mayor desarrollo tecnológico, mientras que las compras externas registran mayor diversificación en su distribución. Esta dinámica, junto al pequeño tamaño de este mercado a nivel global, puede deberse a los altos niveles de integración territorial de esta cadena de valor. Los principales países ganaderos no parecen depender de la importación de estos productos, sino que integran verticalmente el total de la cadena. Para Argentina lo expuesto previamente podría implicar bajas oportunidades de exportación y un potencial riesgo de sustitución de producción local por importada (a desarrollar en el siguiente apartado).

Al analizar a los principales jugadores, el mercado de la genética animal es moderadamente competitivo. Entre los principales actores globales en el mercado de la genética animal se encuentran Animal Genetics Inc.; CRV Holding; Genus PLC; Hendrix Genetics BV; Neogen Corporation; Topigs Norsvin Holding BV; URUS; Vetgen; y Zoetis Services LLC. Estas empresas están evolucionando a través de diversas estrategias, como adquisiciones, colaboraciones, lanzamientos de productos e inversiones en actividades de investigación y desarrollo para asegurar sus posiciones en el panorama competitivo (Mordor Intelligence, 2021). En particular, se están centrando en estrategias de negocio vinculadas al desarrollo de nuevos métodos de detección, aislamiento, amplificación y etiquetado de material genético⁵⁹. Además, se pueden enlistar otros mecanismos para mejorar su posición en el mercado, tales como:

- Ampliación de métodos de diagnóstico, incluyendo secuenciación nanopor, PCR anidada, qPCR, PCR multiplex, análisis de fragmentos, electroforesis capilar, secuenciación de ADN, ELISA recombinante, electroforesis de proteínas, entre otros.
- Diversificación de portafolio de productos incluyendo asesoramiento en cría, productos de gestión y servicios para los clientes.
- Creación de nuevas plataformas tecnológicas que facilitan la detección y el procesamiento de semen en busca de rasgos deseables.

En particular, un ejemplo de la aplicación de estas estrategias lo da la empresa NeoGen, la cual en 2017 adquirió los activos del Laboratorio de Genética Animal (AGL) de la Universidad de Queensland, el laboratorio de genómica animal líder en Australia, un país con grandes mercados

⁵⁹ Las grandes firmas han aprovechado avances de proyectos de secuenciación de ADN como el [Proyecto del Genoma Equino](#) han proporcionado información y conocimientos importantes que permiten el aumento extraordinario de nuevas pruebas para detectar una serie de condiciones hereditarias.

de ganado vacuno y ovino. El laboratorio era el principal proveedor de pruebas genéticas para las 27 principales asociaciones de ganado vacuno de Australia, y sus servicios también se habían extendido al ganado lechero, ovejas, cabras, alpacas y otras especies. La adquisición de AGL intentó acelerar el crecimiento del negocio de genómica animal de Neogen en Australia, Nueva Zelanda y el resto de la región. AGL pasó a llamarse *GeneSeek Australasia* y se convirtió en el cuarto laboratorio de genética animal de Neogen, sumándose a las sedes de Estados Unidos, Escocia y Brasil. Entre los principales objetivos de esta adquisición se encuentra el aprovechamiento de las instalaciones de AGL y la reputación con sus clientes, que incluyen instituciones de investigación, sociedades de criadores y grandes empresas de pastoreo. El personal administrativo y científico de AGL permaneció en la empresa. En definitiva, la idea fue aprovechar la experiencia complementaria, el apoyo local y la base de clientes del laboratorio de genética adquirido en vistas de fortalecer las capacidades de desarrollo de tecnologías de frontera en genómica animal.

Tamaño del mercado local y empresas de la cadena de genética animal

Argentina cuenta con firmas con capacidades de extracción, selección y/o sexado de semen y de clonación de ganado. A la calidad genética de los rodeos locales se le adiciona esta ventaja competitiva en relación con otros países de la región. Estas empresas ofrecen tecnologías para inseminación artificial al productor agropecuario y en los últimos años profundizaron el uso de la biotecnología moderna en materia genética. La brecha tecnológica de estas firmas es acotada en relación con las mejores prácticas internacionales y han incursionado en el sexado de semen, la reproducción in vitro y el trasplante de embriones (Anlló *et al.*, 2011).

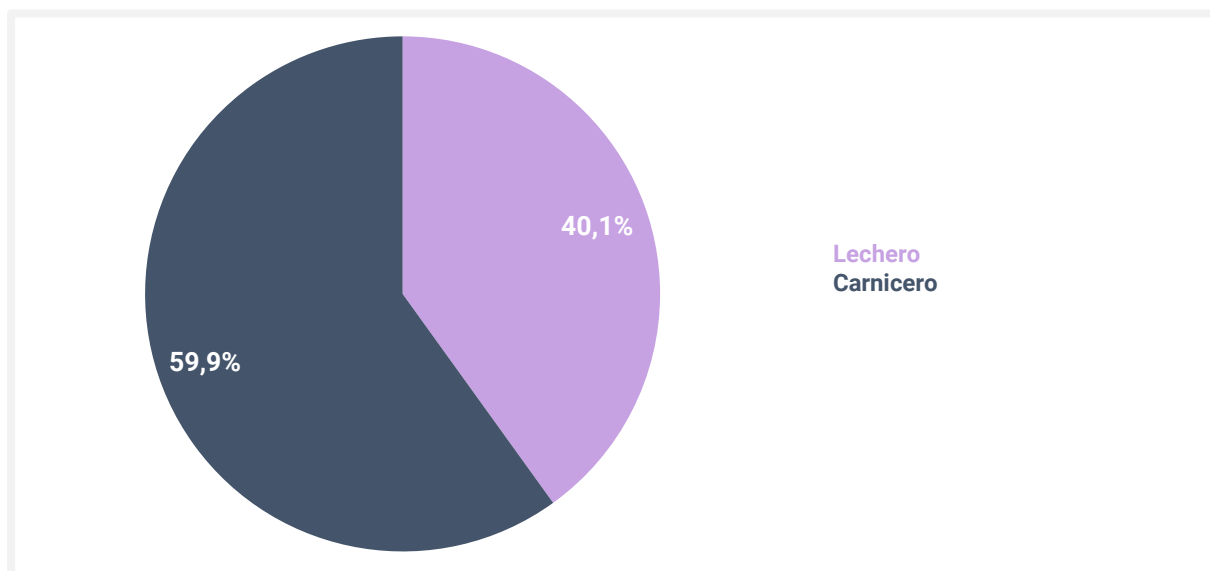
En particular, según datos de la Cámara Argentina de Biotecnología de la Reproducción e Inseminación Artificial (CABIA), en 2021 en el mercado de inseminación artificial en ganado bovino se comercializaron cerca de 8,7 millones de dosis de semen. En Argentina, el principal biotipo⁶⁰ es el vinculado a la industria cárnica, al representar el 60% de esas dosis (gráfico 30).

En cuanto al origen de las dosis comercializadas en Argentina, en 2021 casi la totalidad de los productos de inseminación artificial destinados a mejorar la genética de la industria de carne bovina fueron nacionales, mientras que en las del biotipo lechero el 83% de las dosis se importaron desde el exterior. Esto se explica por el origen de las razas de cada biotipo. En el primer caso predominan razas producidas en su mayoría localmente como Angus Negro (33%), Angus colorado (18%), Braford (14%), Brangus negro (14%), Brangus colorado (12%), y otros (9%). En el caso de la industria láctea hay menor variedad de razas de ganado vacuno. La más comercializada en 2021 fue la Holando-Argentina, derivada de la genética pastoril Holstein de Países Bajos, pero modificada a partir de masivas inseminaciones artificiales con genética de Canadá y los Estados Unidos para adaptarlas a la estabulación, donde se les brinda una nutrición balanceada en vez de pastoril. Con 2,5 millones de dosis importadas alcanza el 92%

⁶⁰ El concepto de biotipo en ganadería permite agrupar a un conjunto de animales cuya composición genética determina que posean características comunes que los distinguen de otro conjunto dentro de la misma especie. En este caso, según los caracteres productivos en biotipos lechero y cárnico.

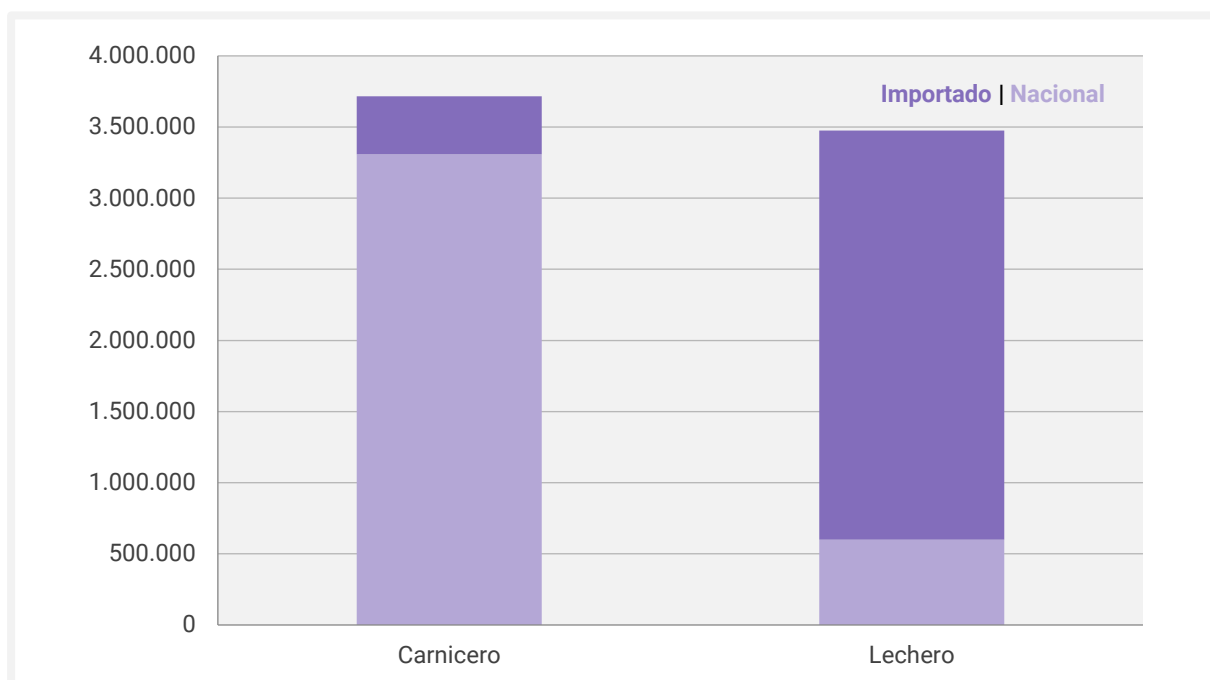
del mercado del biotipo lechero, seguida por Jersey de origen británico (5%) y otras genéticas (3%) más eficientes en la conversión de pasto a leche (gráfico 31).

GRÁFICO 30. COMPOSICIÓN DE LAS DOSIS DE SEMEN DE BOVINO COMERCIALIZADAS, POR BIOTIPO. EN PORCENTAJE, AÑO 2021



Fuente: elaboración propia con base en CABIA.

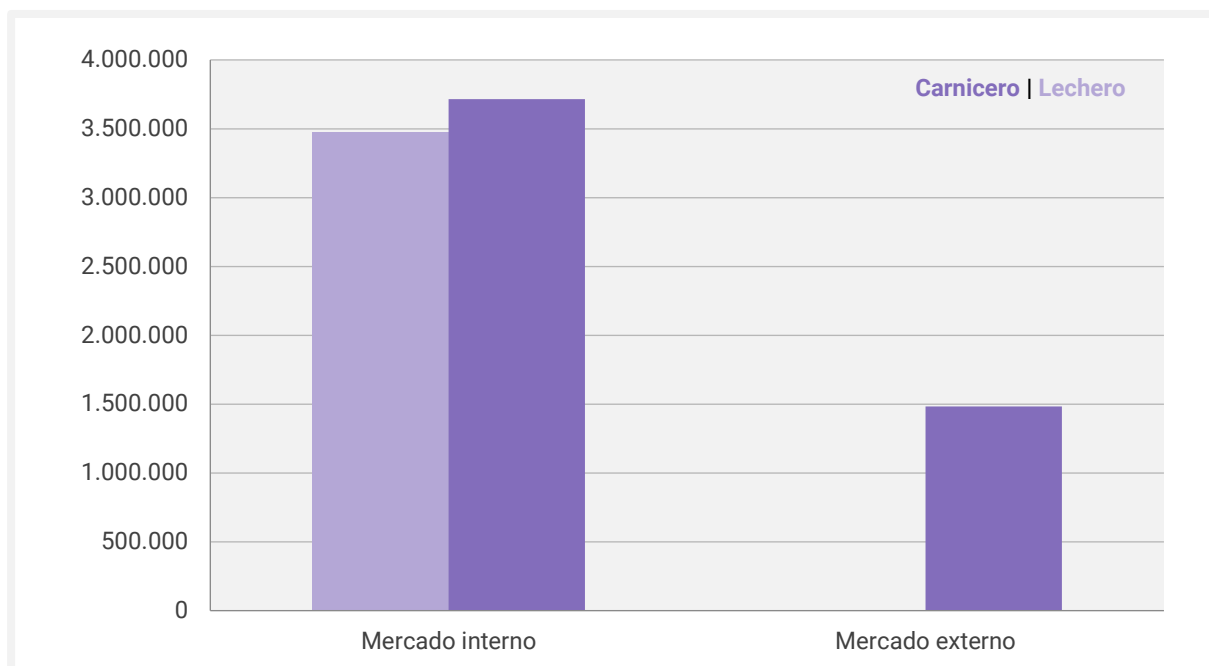
GRÁFICO 31. ORIGEN DEL SEMEN DE BOVINO, POR BIOTIPO. EN MILLONES DE DOSIS, AÑO 2021



Fuente: elaboración propia con base en CABIA.

Sobre los destinos, la totalidad de las dosis destinadas a la industria láctea se volcaron al mercado interno durante el 2021. En este rubro en particular, ante eventualidades vinculadas a la bioseguridad, como sucedió con el cierre de los mercados de exportación entre 2001 y 2002 producto del brote global de encefalopatía espongiforme bovina (también conocida como la enfermedad de la vaca loca⁶¹), el dinamismo del mercado interno ha garantizado la continuidad de la operatividad de las firmas. En ese marco, de no haber contado con el mercado local como destino, la situación operativa de la genética animal argentina hubiese sido aún más crítica. Además, algunos años más tarde, serían también las capacidades biotecnológicas locales las que pondrían fin al gen de esa enfermedad. Por su parte, el potencial de exportación de este rubro pareciera residir en el biotipo carnívor, con cerca de 1,5 millones de dosis vendidas al exterior (USD 4 millones) durante 2021 (gráfico 32).

GRÁFICO 32. MERCADOS DE DESTINO DEL SEMEN DE BOVINO, POR BIOTIPO. EN MILLONES DE DOSIS, AÑO 2021



Fuente: elaboración propia con base en CABIA.

En los últimos años, con el objetivo de aumentar la producción de vacas y posibilitar el crecimiento con genética probada superior (semen) y propia (con sus vacas) del productor ganadero, e intentando disminuir los riesgos sanitarios asociados a la introducción de animales provenientes de otros tambos, es que se ha incrementado la implementación de la técnica de semen sexado. El semen sexado contiene 90% de espermatozoides con cromosomas X, por lo

⁶¹ La enfermedad de la vaca loca es causada por priones, partículas infecciosas formadas por una proteína capaz de producir enfermedades neurológicas degenerativas. Se originó en Gran Bretaña durante los años 80 por el uso masivo de harinas cárnicas para alimentación animal (piensos compuestos contaminados).

que originarán hembras, seleccionados a través de la citometría de flujo⁶². En 2021 se comercializaron localmente 479.858 dosis de semen sexado, lo que representa cerca del 7% del total del mercado interno. Más del 90% de las dosis de semen sexado provienen del exterior y son destinadas a la industria lechera en igual proporción.

Identificación de actores e instituciones relevantes

Entre las principales instituciones vinculadas a esta cadena, se encuentran:

- Las Asociaciones de Criadores, como las de Brangus, Blonde D'Aquitaine, Bonsmara, Ganado Bovino Criollo, Ganado Sanga, Hereford, Limousin, Santa Gertrudis, Murray Grey, Braford, Brahman, Simmental, Shorthorn, Limangus, entre otras razas de ganado.
- La Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA), que evalúa la bioseguridad para el agroecosistema de todos los productos de uso agropecuario o potencialmente agropecuario que aspiran a tener una autorización comercial.
- La Cámara Argentina de Biotecnología de la Reproducción e Inseminación Artificial (CABIA) conformada en 1987⁶³ con el objetivo de difundir el uso de las biotecnologías aplicadas a la reproducción animal (inseminación artificial, transferencia de embriones, sexado de semen y embriones, fertilización in vitro, etc.); promover el desarrollo del sector empresarial y profesional en el área de reproducción animal; colaborar en la elaboración de legislación y reglamentación nacional e internacional; participar en la redacción de convenios para el comercio internacional de material genético; confeccionar normas de calidad para el procesamiento de semen y embriones, generar estadísticas de comercialización de semen bovino; entre otros.
- La Sociedad Argentina de Tecnologías Embrionarias (SATE), que busca promover, fomentar, mejorar y desarrollar todo lo relacionado con la investigación, estudio y aplicación práctica de las biotecnologías en reproducción animal, para lo cual, según su estatuto puede realizar actividades de orden científico y extensión universitaria; crear un código de prácticas en transferencias embrionarias; crear un programa de certificación de veterinarios habilitados para la congelación de embriones con destino a exportación; establecer relaciones e intercambio cultural y científico con otras entidades afines nacionales y extranjeras;

⁶² Se trata de un método analítico que permite la medición rápida de ciertas características físicas y químicas de células o partículas suspendidas en líquido que producen una señal de forma individual al interferir con una fuente de luz (Barrera Ramírez, 2004). En Argentina existe el Sistema Nacional de Citometría de Flujo (SNCF), una iniciativa del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCYT) conjuntamente con el Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (CICyT), enmarcada dentro del Programa de Grandes Instrumentos, Facilidades y Bases de Datos.

⁶³ En 1972 nace la Cámara de Inseminación Artificial (CADIA) que luego modificaría los estatutos en 1987 para convertirse en CABIA.

mantener relaciones con las autoridades sanitarias, científicas y técnicas, nacionales, provinciales, municipales y universitarias.

Los centros de investigación y desarrollo de este subsistema fueron mapeados y descriptos en conjunto con aquellos que realizan investigación y desarrollo en el campo de la Biotecnología aplicada a salud y nutrición animal, en la sección "Capacidades locales de desarrollo en nutrición, sanidad animal, genética y reproducción animal".

Las principales empresas del sector se han enfocado históricamente en brindar servicios de inseminación artificial⁶⁴. Además, se registra la existencia de empresas especializadas en materia genética vinculadas al sexado de semen, la reproducción *in vitro* y el trasplante de embriones. Por último, también destaca la presencia en Argentina de empresas con capacidad de clonar animales (bovinos, caprinos, ovinos y equinos), lo cual es poco común a nivel global (Anlló *et al.*, 2011).

En cuanto a los principales actores, Ciale Alta Genetics, Laboratorio CIAVT, Las Lilas, SEMEX Argentina y Juan Debernardi SRL son algunas de las empresas más relevantes que en conjunto representan la mayor parte del mercado argentino de genética animal. Entre las estrategias empresariales diferenciales utilizadas por estas firmas y las asociaciones empresariales donde se agrupan, se encuentran:

- Vinculación constante con organismos de Ciencia y Tecnología para ofrecer soluciones de índole genética a sus clientes. Algunas empresas ofrecen inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)⁶⁵ gracias al trabajo coordinado con laboratorios productores de medicamentos y hormonas, como por ejemplo el caso de la empresa Biogénesis Bagó.
- Creación de programas para personalizar el plan genético del productor ganadero, al otorgarle acceso prioritario a los mejores toros probados genómicos que se adapten a sus metas previamente establecidas.
- Programas de identificación precisa de toros con mejores tasas de concepción a partir del análisis detallado de informaciones de preñez a campo con análisis bioestadísticos caracterizados, por ejemplo, por excluir otros factores que influyen en la fertilidad.
- Capacidad para determinar el consumo individual de materia seca (CMS) para, posteriormente, calcular el consumo residual (RFI) y obtener sus correspondientes diferencias esperadas de progenie (DEP) por medio de una muestra de pelo, con la cual se puede genotipar a un animal joven. En particular, Argentina cuenta con la primera asociación de criadores (Asociación Argentina de Angus), luego de Estados Unidos y Australia, en poder realizar este análisis.

⁶⁴ Suele primar una fuerte orientación hacia la lechería.

⁶⁵ La inseminación artificial a tiempo fijo es una técnica que permite, mediante tratamientos hormonales, sincronizar la ovulación y dar servicio a varios animales en un momento determinado sin la necesidad de detección de celos.

Sobre este último punto, y pensando al año 2030, las capacidades locales de innovación permitirían entonces aumentar la rentabilidad y sustentabilidad de la producción agropecuaria a través de ese consumo residual, es decir, la diferencia entre el consumo registrado de alimentos por parte del ganado, y el estimado. Básicamente, al identificar, a través de pruebas de *performance* de la genómica, a los animales más eficientes (con menor consumo residual) se puede impactar a las siguientes generaciones de ganado y reducir progresivamente el impacto ambiental de los rodeos comerciales gracias a su menor consumo relativo de recursos.

En síntesis, tanto el mejoramiento genético y la identificación (trazabilidad y control), como la eficiencia reproductiva tienen el potencial de generar importantes impactos económicos en la producción de carne, leche y otros derivados. Argentina cuenta con las capacidades biotecnológicas necesarias para mejorar los índices de producción y ganar nuevos mercados de exportación a través de la genética animal al reducir, por ejemplo, el uso de antimicrobianos en el ganado o el consumo residual de los animales en el largo plazo.

Proyecto 4. Promover la alimentación saludable a partir de la innovación y nuevas tecnologías en alimentos

Introducción

Esta sección contiene algunas de las ideas expresadas en el trabajo de Brizuela, Cova, Monzón y Varona (2022), el cual es parte de la serie de documentos del Plan Argentina Productiva 2030. En ese trabajo se proponen lineamientos para el diseño de políticas de promoción a la reformulación de productos que complementen a la Ley 27.642 de Promoción de la Alimentación Saludable y contribuyan a que las empresas se adecúen a ella.

El término *foodtech* hace referencia a las tecnologías que transforman a la industria agroalimentaria en un sector más moderno, sostenible y eficiente en todas sus etapas, desde la elaboración de los alimentos hasta la distribución y el consumo. De este modo, las *foodtech* abarcan:

- Tecnologías empleadas aguas arriba a la industria alimentaria (desarrollo de ingredientes con funciones tecnológicas, aditivos biológicos y biotecnológicos, etc.);
- Tecnologías para el desarrollo de productos alimenticios y procesos productivos innovadores en la industria alimentaria (alimentos funcionales, proteínas alternativas, micro o nano encapsulación de ingredientes, manufactura aditiva de alimentos, aplicación de inteligencia artificial en los procesos productivos, etc.);
- Tecnologías utilizadas en la cadena de suministro de los alimentos (envases biodegradables, automatización y digitalización de supermercados y restaurantes, etiquetas inteligentes, *big data* sobre patrones de consumo, *blockchain* para el seguimiento de los alimentos en toda la cadena, *e-commerce*, etc.).

En la figura 8 se pueden observar las distintas tecnologías del paquete *foodtech* y su impacto según la etapa o segmento de la cadena tecno-productiva de los alimentos. Cabe destacar que este trabajo se focaliza en las dos primeras etapas de la cadena. Es decir, no se incluirá el análisis de las *foodtech* utilizadas en la cadena de suministros de los productos alimenticios.

A principios de siglo, la creciente concentración e internacionalización de las firmas junto a factores como el bajo dinamismo del consumo de alimentos en los países industrializados, el aumento del poder de las empresas de distribución minorista y las nuevas oportunidades abiertas por la biotecnología moderna conformaron una nueva división de roles entre las empresas del sector alimentario: i) empresas diversificadas orientadas a la gestión de un portafolio de marcas con activos productivos desverticalizados; ii) otras que centran sus estrategias en la producción de alimentos y sus principales activos se encuentran en la producción y iii) firmas especializadas en ingredientes alimentarios, las que comienzan a tener una importancia creciente y estratégica como vectores del cambio tecnológico y la innovación. El rol central que en décadas anteriores cumplió la industria de bienes de capital en la difusión intersectorial de nuevos paradigmas

tecnológicos lo pasó a cumplir la industria de ingredientes alimentarios, a pesar de representar una pequeña proporción de las ventas de alimentos procesados (Gutman *et al.*, 2006, como se citó en Brizuela *et al.*, 2022). Las innovaciones en ingredientes alimentarios buscan reemplazar la venta de productos simples con la oferta de sistemas tecnológicos destinados a cumplir una función particular, incluyendo una modificación del proceso de transformación y/o envasado (o uno nuevo), y nuevas maquinarias. Esto explica que las empresas de aditivos e ingredientes alimentarios innoven junto con las industrias de maquinarias, las de envases y las industrias usuarias, conformando alianzas estratégicas. Los proveedores de ingredientes operan cada vez más de forma proactiva, ofreciendo nuevos insumos y diseños que anticipen (y/o impulsen) los cambios en los patrones de consumo.

FIGURA 8. TECNOLOGÍAS QUE CONFORMAN EL PAQUETE FOODTECH Y SU IMPACTO EN LA CADENA TECNO-PRODUCTIVA DE LOS ALIMENTOS

Insumos alimentarios	Industria alimentaria	Cadenas de suministro
Foodtech		
<p>Aditivos biológicos: Colorantes, saborizantes, conservantes, emulsionantes, etc.</p> <p>Auxiliares de procesos: Enzimas.</p> <p>Ingredientes funcionales: Sustitutos de grasas, azúcares o sal; pro y prebióticos, etc.</p>	<p>Alimentos funcionales: Alimentos fortificados, enriquecidos, alterados o mejorados.</p> <p>Biotecnología: Proteínas, alternativas, carne cultivada, proteínas sintéticas, etc.</p> <p>Nanotecnología: Micro/nano encapsulación de ingredientes o aditivos.</p> <p>Tecnologías 4.0: Impresión de alimentos inteligencia artificial en producción, etc.</p>	<p>Ciencia de los materiales: Envases biodegradables, etc.</p> <p>Tecnologías 4.0: Automatización o digitalización de supermercados y restaurantes, etiquetas inteligentes, <i>big data</i> sobre patrones de consumo, <i>blockchain</i> para el seguimiento de los alimentos en toda la cadena, <i>e-commerce</i>.</p>

El desafío de alimentar a la creciente población mundial con un uso eficiente de los recursos y alcanzando mayores estándares de calidad y salubridad ha reavivado el interés por el uso y desarrollo de aditivos e ingredientes alimentarios. El sabor, la apariencia, la textura y la seguridad microbiológica deben conservarse dentro de un producto alimenticio durante el mayor período de tiempo posible. A pesar de que se han logrado avances considerables en el desarrollo de aditivos alimentarios, aún existen ciertas controversias. La falta de uniformidad en las legislaciones locales con respecto a los aditivos alimentarios, junto con los resultados contradictorios de muchos estudios, ayudan a fomentarlas.

En esa línea, en nuestro país, se ha sancionado la Ley de Etiquetado Frontal, que obliga a la industria alimentaria a incluir en el frente de sus envases, sellos de advertencia en aquellos productos que contienen exceso de azúcares, sodio, grasas saturadas, grasas totales, y/o calorías. La Ley opera como un incentivo a la industria para la reformulación de sus productos, reemplazando los nutrientes críticos de los alimentos (sodio, azúcar y grasas) por ingredientes o aditivos más saludables. La reducción de un sello de advertencia puede posicionar a un producto como más saludable respecto de sus sustitutos, mientras que lograr la reducción de todos los sellos en un producto permite a su vez evitar las prohibiciones de envases y las regulaciones a la promoción, publicidad y patrocinio de productos, establecidos en la Ley.

Es en este marco donde las industrias de aditivos e ingredientes alimentarios adquieren un rol clave en la generación y difusión del cambio tecnológico. Estas industrias elaboran un conjunto amplio y heterogéneo de bienes que incluyen aditivos alimentarios (colorantes, saborizantes, emulsionantes, conservantes, texturizantes, etc.); enzimas (auxiliares de procesos), ingredientes sustitutos de grasas, sodio y azúcares, e ingredientes funcionales (como probióticos y prebióticos); sus funciones abarcan desde aumentar o modificar sabores, impartir los colores deseados a los alimentos, asegurar su consistencia y mantener sus características organolépticas, hasta aumentar su período de vida útil.

En este contexto, los aditivos biológicos están ganando interés, debido a la creciente evidencia que sugiere que su consumo conlleva menores impactos en la salud al compararse con las moléculas de síntesis química. Las tecnologías existentes durante las últimas décadas en el campo de los aditivos, como los revestimientos comestibles, han ayudado a superar algunos inconvenientes, pero aún presentan algunas desventajas. Las nuevas tendencias emergentes incluyen tecnologías como la nanoencapsulación y el desarrollo de aditivos y envases “inteligentes”, las vacunas específicas contra la intolerancia a los aditivos, el uso de hongos para producir aditivos biológicos y las tecnologías de ADN recombinante (Carocho *et al.*, 2014).

Definiciones relevantes

Los aditivos alimentarios⁶⁶ son sustancias que se añaden a los alimentos para mantener o mejorar su inocuidad, frescura, sabor, textura o aspecto. En la elaboración de productos alimenticios solo pueden agregarse los aditivos aprobados en el Código Alimentario Argentino (CAA), para los fines y en las cantidades máximas (en ciertos casos) allí establecidos.⁶⁷ Los

⁶⁶ El Código Alimentario Argentino define a los aditivos como cualquier ingrediente agregado a los alimentos intencionalmente, sin el propósito de nutrir, con el objeto de modificar las características físicas, químicas, biológicas o sensoriales, durante la manufactura, procesado, preparación, tratamiento, envasado, acondicionado, almacenado, transporte o manipulación de un alimento; podrá resultar que el propio aditivo o sus derivados se conviertan en un componente de dicho alimento. Esta definición no incluye a los contaminantes o a las sustancias nutritivas que se incorporan a un alimento para mantener o mejorar sus propiedades nutricionales.

⁶⁷ El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) es el órgano internacional encargado de la evaluación de la inocuidad de los aditivos alimentarios. En los alimentos comercializados internacionalmente solo se pueden utilizar aditivos que, tras ser evaluados, hayan sido considerados inocuos por el JECFA. Esta evaluación se basa en las dosis máximas de uso establecidas por la Comisión del Codex Alimentarius.

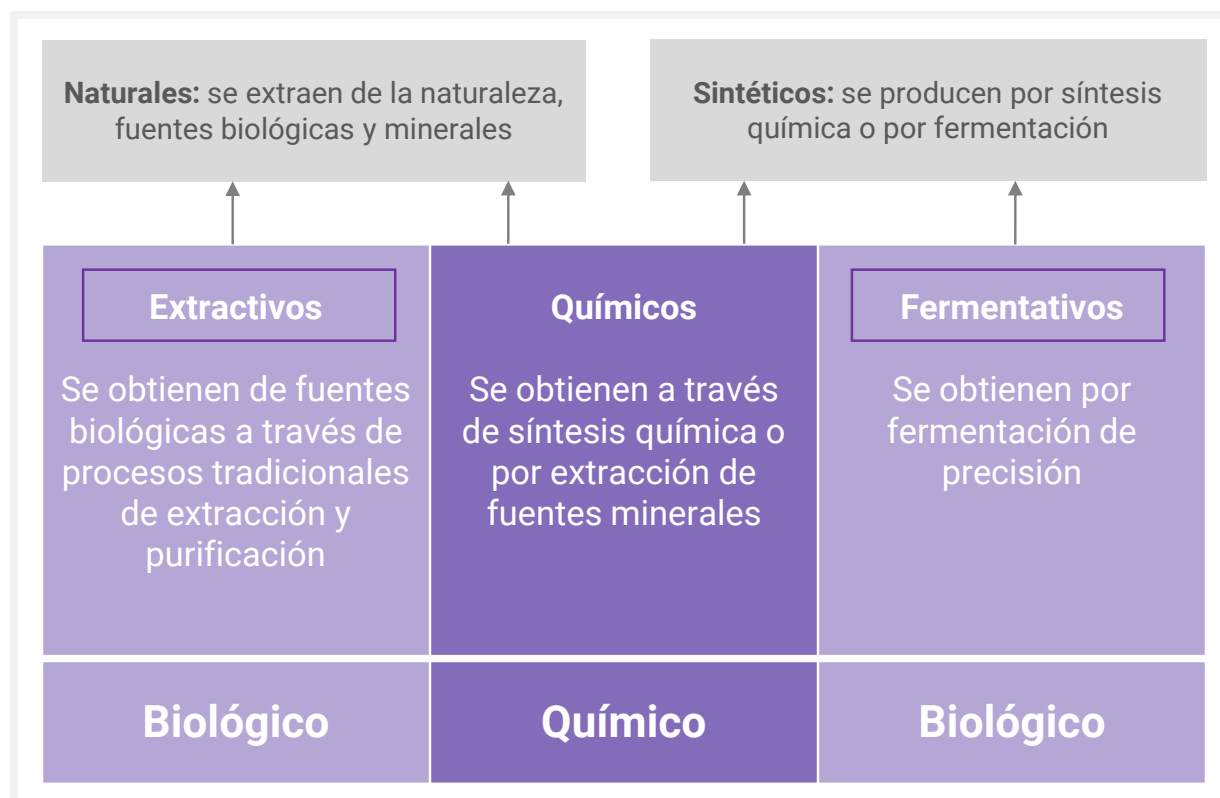
aditivos alimentarios no generan un beneficio para la salud de los consumidores, sino que modifican las características de los alimentos, como aroma, sabor, textura o color, vida útil e incluso pueden ayudar a reducir los costos de elaboración. Existen unas 30 clases funcionales diferentes de aditivos y una misma molécula puede cumplir distintas funciones.

Por su parte, los ingredientes están definidos en el CAA como toda sustancia, incluidos los aditivos alimentarios, que se emplee en la fabricación o preparación de un alimento y esté presente en el producto final en su forma original o modificada. Tal como define Talamoni y Queipo (2022), los ingredientes con funciones tecnológicas abarcan nutrientes (vitaminas y minerales), cultivos de microorganismos, concentrados proteicos y enzimas no incluidas en la categoría de aditivos en la normativa argentina.

Según su origen y/o proceso de fabricación, los aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas se pueden dividir en 4 grupos fundamentales (Carocho *et al.*, 2014):

- Naturales (obtenidos directamente de fuentes biológicas: animales o plantas);
- Similares a los naturales (producidos sintéticamente imitando a los naturales, por ejemplo, mediante fermentación microbiana);
- Naturales modificados (aditivos naturales que luego se modifican químicamente);
- Aditivos artificiales (compuestos sintéticos).

FIGURA 9. PRODUCCIÓN DE ADITIVOS E INGREDIENTES CON FUNCIONES TECNOLÓGICAS



Cabe destacar que cuando hablamos de aditivos y/o ingredientes biológicos, se incluyen tanto a aquellos que son extraídos de fuentes biológicas naturales (aditivos naturales) como aquellos producidos por fermentación microbiana (aditivos similares a los naturales). En tanto, cuando hablamos de aditivos y/o ingredientes químicos, se incluyen tanto aquellas moléculas químicas extraídas de fuentes minerales, como aquellos obtenidos por síntesis química (aditivos artificiales y aditivos naturales modificados) (ver figura 9).

En línea con los objetivos del Eje 1, cuyo fin último es la producción de alimentos más saludables, esta sección se enfoca en los aditivos e ingredientes tecnológicos pertenecientes a las dos primeras categorías: aditivos naturales y aditivos similares a los naturales.

Aditivos químicos y salud⁶⁸

Tal como resumen Trasande *et al.* (2018), existe evidencia científica creciente que sugiere posibles efectos adversos en la salud de los niños a partir de productos químicos sintéticos utilizados como aditivos alimentarios, tanto los agregados deliberadamente a los alimentos durante el procesamiento (directo), como los utilizados en materiales que pueden contaminar los alimentos como parte del empaque o fabricación (indirecta).

En las últimas dos décadas, ha aumentado la preocupación por los aditivos alimentarios en parte debido a estudios que documentan cada vez más trastornos endocrinos y otros efectos adversos para la salud. En algunos casos, la exposición a estos productos químicos es desproporcionada entre las poblaciones de bajos ingresos.

Para algunos aditivos químicos existe evidencia científica relevante sobre su impacto negativo en la salud. El trabajo de Trasande *et al.* (2018) concluye que sería deseable y necesario conducir investigaciones más profundas para estudiar los efectos de la exposición de estos químicos en distintos puntos del curso de la vida y su toxicidad, para poder identificar mejor los problemas de salud antes de la exposición generalizada de la población.

Tipos de aditivos alimentarios⁶⁹

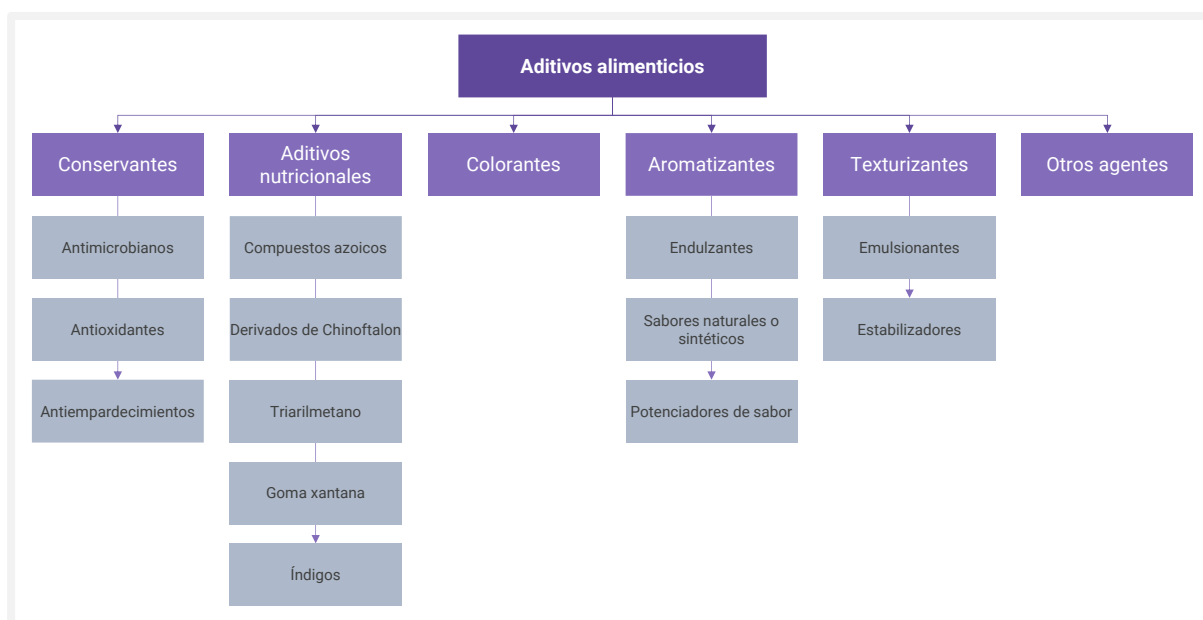
Dentro de la Unión Europea, los aditivos alimentarios se dividen en 26 clases según su función en los alimentos: edulcorantes, colorantes, conservantes, antioxidantes, portadores, ácidos, reguladores de acidez, antiaglomerantes, antiespumantes, agentes de carga, emulsionantes, sales emulsionantes, agentes reafirmantes, potenciadores del sabor, agentes espumantes, agentes gelificantes, agentes de glaseado, humectantes, almidones modificados, gases de envasado, propulsores, gasificantes, secuestrantes, estabilizadores, espesantes y agentes de tratamiento de la harina.

⁶⁸ Basado en Trasande *et al.* (2018), trabajo que revisa los efectos nocivos en la salud de aquellos aditivos que presentan evidencia científica relevante.

⁶⁹ Este apartado se elaboró con base en Carochó *et al.* (2014).

Según la FDA, existen más de 3.000 aditivos alimentarios permitidos en los Estados Unidos, que se distribuyen en seis grupos: conservantes, aditivos nutricionales, colorantes, aromatizantes, texturizantes, y agentes varios. El grupo de los conservantes se divide en tres subgrupos (aunque algunos aditivos pueden tener más de una función en los alimentos): antimicrobianos, antioxidantes y agentes antiemparedimiento. Dentro del grupo de los aromatizantes, existen tres subgrupos: los edulcorantes, los saborizantes naturales o sintéticos, y los potenciadores del sabor. Los agentes texturizantes comprenden emulsionantes y estabilizadores. Finalmente, los agentes misceláneos están compuestos por muchas clases: agentes quelantes, enzimas, agentes antiespumantes, agentes de acabado de superficie, catalizadores, solventes, lubricantes y propulsores (ver figura 10).

FIGURA 10. TIPOS DE ADITIVOS ALIMENTARIOS



Fuente: Carocho *et al.* (2014, traducción propia).

Vale la pena destacar que existen aditivos e ingredientes funcionales que se utilizan como sustitutos de los ingredientes críticos que se intentan reducir con la Ley de Etiquetado de Frontal, es decir, grasas, sodio y azúcar. A continuación, se enumeran algunos ejemplos de estos sustitutos. Cabe aclarar que no todos los sustitutos posibles para dichos nutrientes críticos son de origen biológico y que en algunos casos no existe evidencia científica sólida comparativa de los efectos sobre la salud entre el nutriente crítico correspondiente y el sustituto.

Uso de aditivos e ingredientes como sustitutos de grasas, sodio y azúcar

En relación con la reducción de grasas totales y grasas saturadas, existen diferentes alternativas, como se describe a continuación.

- Sustitutos de naturaleza lipídica: triacilglicéridos sintéticos y componentes grasos no calóricos (azúcares y polialcoholes esterificados con ácidos grasos).
- Aceites vegetales: la sustitución total o parcial de la grasa de origen animal por aceites vegetales permite reducir el contenido de grasas saturadas. Por ejemplo, aceite de girasol alto oleico.
- Ingredientes basados en proteínas: para la sustitución de la materia grasa, las proteínas tienen buenas propiedades ligantes, por ejemplo, proteínas de soja (por sus propiedades emulsionantes y gelificantes), gelatina, etc.
- Emuladores de materia grasa basados en hidratos de carbono y fibras: almidones modificados, maltodextrinas, hidrolizados de arroz, inulina, fibra dietética de distintos orígenes, etc.
- Emuladores de la materia grasa a base de estabilizantes y gomas: existe una gran variedad, gomas (xantana, guar, tragacanto, arábigo, garrofín), carragenatos, alginatos, pectinas.

Con respecto a la reducción de sodio, el efecto de la sal para ligar agua y proteínas se debe a la fuerza del ion Cl, por lo tanto, es posible la sustitución por cloruro de potasio (KCl). Sin embargo, existe un límite para el reemplazo de la sal, alrededor de 35-50% de sal puede sustituirse con KCl en ciertos productos, tales como los cárnicos, sin pérdida de funcionalidad, pero los niveles sobre un 50% puede producir sabores amargos o metálicos.

Para la sustitución total o parcial de azúcares por edulcorantes no calóricos pueden utilizarse distintas estrategias, tales como:

- Selección y combinación de diferentes edulcorantes no calóricos sintéticos o naturales. Entre los edulcorantes permitidos en el CAA se encuentran Aspartamo, Acesulfame K, Sacarina, Ciclamato, Sucralosa, Neohesperidina dihidrochalcona, Glucósidos de esteviol.
- Sustitución total o parcial del azúcar por otros ingredientes, como las fibras prebióticas o carbohidratos de bajo índice glucémico.

Uso de hidrocoloides

Los hidrocoloides son biopolímeros de origen natural, obtenidos a partir de distintos procesos como fermentación y extracción ácida o alcalina. Estos polímeros especiales permiten obtener un rango amplio de texturas, estabilizar proteínas, realzar el sabor en sistemas con reducción de azúcar, sodio y grasa. El rango de perfiles reológicos de los hidrocoloides permite alternativas de solución e innovación en formulaciones, procesos, vida del producto en el mercado y perfil sensorial del producto.

Uso de resaltadores de sabor

Hoy en día han cobrado protagonismo los resaltadores de sabor de origen natural. Estos se obtienen a partir de la autólisis enzimática de levaduras cultivadas en melaza de caña de azúcar y son diseñados especialmente para funcionar como potenciadores de sabor.

Cada extracto de levadura proporciona su sabor específico a los productos alimenticios a los que se añade, tales como sopas, caldos, carnes procesadas, verduras, platos congelados, salsas, condimentos, adobos, sazónadores, aderezos para ensaladas, cereales de maíz extruidos, entre otros. En la preparación de especias, el uso de extractos de levadura proporciona mejoramiento del sabor y suaviza las notas amargas y desagradables, lo que permite un sabor rico y apetecible.

Debido a sus beneficios desde el punto de vista sensorial y nutricional, el extracto de levadura viene desplazando el uso del Glutamato Monosódico (GMS), otro resaltador de sabor.

Los alimentos innovadores

Como se mencionó previamente, las *foodtech* se aplican de diversas maneras en la industria alimentaria (ver figura 8). Enfocándonos en el desarrollo y producción de alimentos (parte central de la figura 8), se denominan en el presente trabajo “alimentos innovadores” a los siguientes:

1. Alimentos funcionales: alimentos fortificados (etiquetados como productos fortificados, tales como jugos de frutas fortificados con vitamina C, vitamina E, ácido fólico, zinc y calcio); alimentos con nuevos nutrientes adicionales o componentes que normalmente no se encuentran en un alimento en particular (etiquetados como productos enriquecidos, como probióticos o prebióticos); alimentos de los que se ha extraído, reducido o reemplazado un componente nocivo, por otro con efectos beneficiosos (productos etiquetados como alterados, por ejemplo fibras como liberadores de grasa en carnes o helados); alimentos en los que uno de los componentes ha sido naturalmente mejorado (productos etiquetados como mejorados, por ejemplo, huevos con mayor contenido de omega-3).
2. Alimentos reducidos en nutrientes críticos: alimentos reformulados con la finalidad de reducir la concentración de nutrientes críticos como sodio, azúcares, grasas saturadas, grasas trans y/o grasas totales.
3. Aplicaciones biotecnológicas: proteínas alternativas (provenientes de fuentes vegetales o insectos), carne cultivada en laboratorio, proteínas sintéticas, entre otros.
4. Aplicaciones nanotecnológicas: ingredientes micro o nano encapsulados.
5. Aplicaciones 4.0: manufactura aditiva para la impresión de alimentos (como carnes o dulces), inteligencia artificial en los distintos procesos productivos de los alimentos, etc.

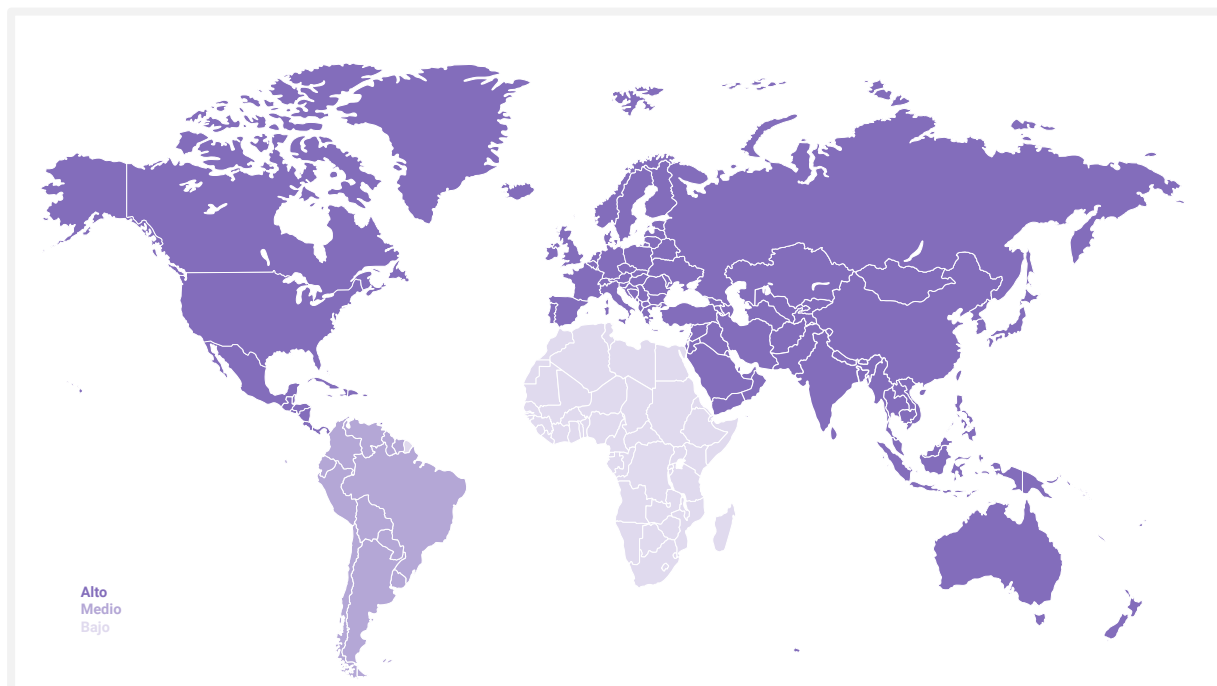
A excepción de las aplicaciones nanotecnológicas y 4.0, cada vez son más los alimentos innovadores que son desarrollados a partir de nuevas formulaciones que incorporan aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas de origen biológico.

Panorama global

El segmento de aditivos e ingredientes funcionales de origen biológico se inserta en el mercado general de aditivos alimentarios a nivel global. El tamaño de este mercado fue de USD 98.220 millones en el año 2020 (Grand View, 2020). Actualmente el segmento de los edulcorantes es el de mayor participación en las ventas, con un 55 %. Las proyecciones de crecimiento estiman una CAGR 5,5% anual en el período 2020-2027.

A nivel geográfico, los principales mercados de producción y consumo de aditivos son América del Norte y Asia-Pacífico. En los últimos años, la demanda de aditivos como sabores alimentarios ha aumentado entre los consumidores del continente asiático, sobre todo en países como China e India. Este último es el mayor productor de leche del mundo, y la demanda de leche saborizada, leche recombinada y muchas otras requieren aditivos alimentarios como colorantes. En China, la demanda de ingredientes de etiquetas limpias como “100% natural”, “sin OGM”, entre otros, está aumentando rápidamente (mapa 1).

MAPA 1. TAMAÑO DEL MERCADO DE ADITIVOS E INGREDIENTES ALIMENTARIOS, POR REGIÓN. AÑO 2021



Fuente: reproducido de Mordor Industry Report (2021).

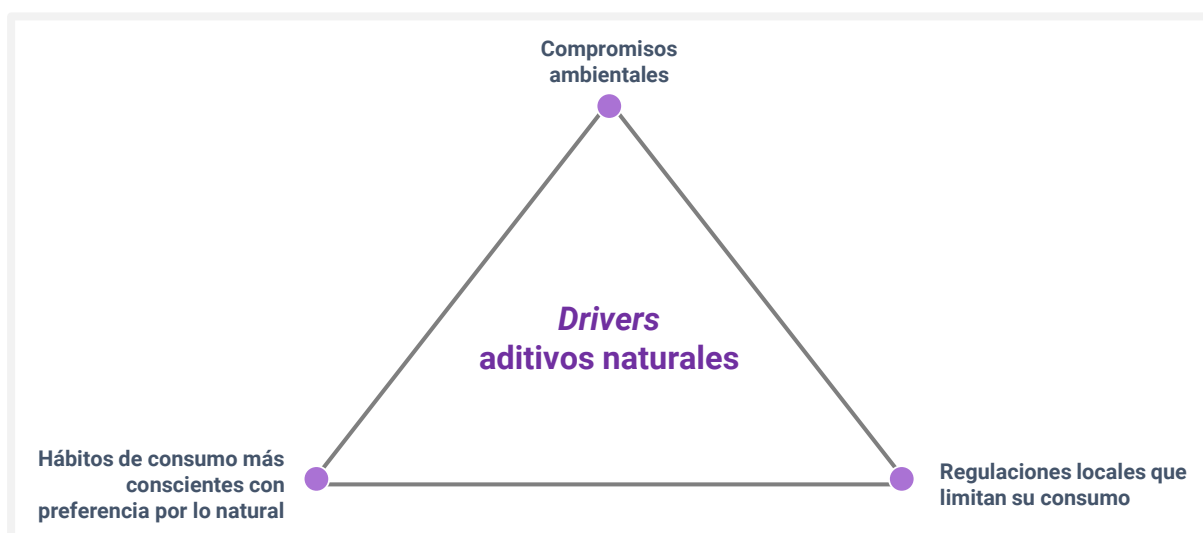
Entre los factores que impulsan el crecimiento del mercado se encuentran, en primer lugar, los nuevos modos de vida caracterizados por una mayor presencia de hogares unipersonales, y la incorporación masiva de las mujeres al mercado de trabajo. Estos factores introducen nuevos hábitos de consumo asociados a la menor preferencia por la elaboración de comida dentro del hogar, y una preponderancia creciente del uso de *delivery*, demanda de alimentos precocinados,

congelados, envasados y aperitivos del tipo *snacks* en los que se utiliza mayor cantidad de aditivos. Un segundo motivador está dado por la creciente preferencia de las personas por sustitutos *plant based* en lácteos y carnes, productos nutricionales de alto valor, o naturales con cualidades organolépticas menos atractivas que impulsan a los fabricantes a una mayor utilización de aditivos para mejorar la experiencia del consumidor. También, la mayor demanda de alimentos y bebidas asociada al crecimiento poblacional conlleva de forma al crecimiento de la demanda de alimentos y por ende, de aditivos e ingredientes.

En los últimos años, se observa un aumento de la demanda de alimentos procesados y listos para comer. Para preservar la frescura, la bioseguridad, el sabor, la apariencia y la textura de los alimentos procesados, los aditivos alimentarios se utilizan ampliamente en estos productos. Por ejemplo, los emulsionantes unen el agua y el aceite, por lo que juegan un papel importante en muchos alimentos procesados bajos en grasa. Con el aumento de la demanda, los fabricantes de aditivos alimentarios se están centrando en diferenciar sus productos de los de la competencia.

Como tendencia destacada, se observa una creciente preferencia de los consumidores por la “etiqueta limpia”⁷⁰ y por los ingredientes y aditivos naturales. Los consumidores son cada vez más conscientes de los efectos adversos para la salud asociados con el consumo de muchos aditivos alimentarios artificiales, como colorantes, saborizantes, texturizantes, sustitutos de grasas y edulcorantes, debido al avance de investigaciones que demuestran su impacto negativo en la salud, así como a las prohibiciones y límites introducidos por los gobiernos. Las amplias promociones realizadas por varias asociaciones en todo el mundo están impulsando aún más el consumo de aditivos naturales y de etiqueta limpia.

FIGURA 11. PRINCIPALES FACTORES QUE IMPULSAN EL CRECIMIENTO DEL MERCADO DE ADITIVOS BIOLÓGICOS E INGREDIENTES CON FUNCIONES TECNOLÓGICAS



⁷⁰ Los productos “etiqueta limpia” son aquellos que contienen aditivos e ingredientes cuya función y origen son conocidos por el consumidor.

Además de los impulsores del mercado de aditivos en general, que también impactan en este el segmento, se destacan como principales factores que impulsan el crecimiento del mercado de aditivos biológicos e ingredientes tecnológicos: los hábitos de consumo con una preferencia volcada hacia lo natural, reflejada en el surgimiento y expansión del grupo de consumidores vegetarianos y *flexitarianos* con preferencia por una alimentación natural; el mayor compromiso ambiental que desincentiva el consumo de productos cuyos procesos productivos no son amigables con el entorno –como los que implican síntesis química– y por último, operando sobre la oferta, las crecientes regulaciones que presionan sobre el uso de los aditivos químicos, a las que se van sumando los principales mercados (ver figura 9).

Actualmente, el mercado de aditivos alimentarios –mayormente dedicado a aditivos de origen químico– es un mercado competitivo, con algunos grandes jugadores, entre ellos las empresas Cargill, ADM, Kerry Group, Ingredion, Givaudan, DSM y DuPont. A continuación se presentan los principales jugadores del sector aditivos según su origen:

Alemania	Austria	Países Bajos	Irlanda	Japón	Suiza
BASF SE, Haarmann y Reimer	AGRANA	Koninklijke DSM NV, Corbion NV	Tate & Lyle PLC	Ajinomoto Co. Inc.	Firmenich SAICyF, Givaudan Roure
Dinamarca	CHR Hansen Holding A/S, Danisco				
Estados Unidos	Cargill, DuPont, FyF Ingredients SA, Archer Daniels Midland Company, Eastman Chemical Company				

Si bien se trata de grandes empresas dedicadas al sector químico, las mismas han realizado estrategias de fusión, expansión, adquisición y asociación con otras firmas, junto con el desarrollo de nuevos productos, enfoques para impulsar la presencia de su marca en diferentes regiones y abarcar los segmentos alimentarios emergentes. Por ejemplo, en 2021 International Flavors & Fragrances se fusionó con DuPont's Nutrition and Bioscience, lo que implica el liderazgo de la empresa en enzimas, sabores y aromas alimentarios.

Los actores destacados del mercado se han centrado también en el desarrollo de productos nuevos e innovadores aumentando sus inversiones en I+D. En el caso de Firmenich S.A. lanzó Firgood Ingredients para elaborar extractos 100% naturales, basados en la tecnología de extracción de agua sin el uso de químicos. Por su parte, Ingredion Incorporated lanzó Evanesse CB6194, el primer emulsionante de etiqueta limpia apto para veganos hecho a partir de garbanzos.

Adicionalmente, las grandes marcas de productos como golosinas y alimentos procesados han comenzado a transitar cambios en sus estrategias productivas a partir de las nuevas tendencias en los consumidores, anunciando transformaciones en sus recetas con una clara orientación hacia lo natural. En 2021, Kellogg's, la marca de cereales para el desayuno más conocida del mundo, anunció que el 75% de sus cereales en América del Norte ya se estaban elaborando sin colorantes artificiales y más de la mitad sin sabores artificiales y anunció metas

de eliminación total de estos aditivos en sus productos con el objetivo de revertir las caídas en las ventas asociadas a los cambios en las preferencias alimentarias. En el mismo sentido, otros gigantes del mundo de los alimentos y bebidas procesados como Burger King, Kraft, Pepsico o M&M, entre otros, han retirado de sus recetas colorantes y saborizantes de origen artificial.

Recuadro 6. El mercado de ingredientes y alimentos innovadores *plant based*

Un mercado de rápido crecimiento en los últimos años ha sido el de ingredientes y alimentos basados en plantas, actualmente liderado por Estados Unidos, la Unión Europea y países de Asia (este último es el mercado con mayor tasa de crecimiento). En relación con el tamaño global del mercado, estimaciones de consultoras como Bloomberg estiman que en 2021 el principal segmento es el de *carnes* de aproximadamente USD 8.000 millones, mientras que el de *lácteos* alcanza los USD 2.000 millones. De ese total, la región de América Latina representa entre el 5% y el 10%, encontrándose Argentina por detrás de Brasil, México y Chile.

Future Meat Technologies (Israel) se dedica al cultivo de carne de vaca, cerdo, pollo y cordero sin necesidad de criar o cosechar proteínas animales bajo la técnica denominada agricultura celular que consiste en la reproducción de células extraídas de alguna parte del animal. Esta firma es líder en la producción de carne cultivada a nivel global y cuenta con una planta capaz de producir 500 kg de carne cultivada por día. Entre las virtudes del cultivo *in vitro* se encuentra la reducción de gases efecto invernadero y el menor uso de agua, energía y suelo. En la actualidad, el mayor desafío que afronta esta práctica es lograr la escala requerida para agilizar el proceso productivo y convertir a la carne cultivada en un producto básico y de fácil alcance al mercado.

Por su parte, Moolec Science es una empresa de ingredientes científicos dedicada a la producción de proteínas animales en plantas a través de la agricultura molecular. El proyecto consiste en utilizar a las plantas como biofábricas a partir de la inclusión de códigos de ADN de genes de proteínas animales en el genoma de algunos de los vegetales más utilizados en la alimentación humana y animal, como la soja. Se trata de una alternativa *plant based* y que no requiere técnicas extractivas. Esta firma, con sede en Reino Unido, actualmente cotiza en Nasdaq a un valor de USD 504 millones.

Por otro lado, a nivel regional la chilena NotCo (The Not Company) con un valor de USD 1.500 millones es un unicornio dedicado a la producción de carne, lácteos, aderezos y helados *plant based*. Sigue sus pasos la brasileña Fazenda Futuro, que con un valor de USD 400 millones es una de las empresas emergentes de carne y lácteos de origen vegetal.

En paralelo, los emprendimientos tecnológicos dedicados al segmento de *foodtech* han crecido de forma exponencial en los últimos años y se calcula que este mercado abarca actualmente a más de 5.000 *startups* en todo el mundo (Vecdis, 2021). Estas empresas tienen como característica central haber nacido con la idea de generar productos alineados con las tendencias de la demanda orientadas hacia lo saludable y ambientalmente sustentables. Dentro de este conjunto de compañías algunas apuntan directamente a los mismos consumidores como clientes, bajo el modelo *BTC* (*del negocio al consumidor*, por sus siglas en inglés), otras buscan proveer a otras empresas productoras de alimentos a partir de aditivos e ingredientes,

bajo el modelo BTB (*del negocio al negocio*, por sus siglas en inglés). Ejemplo de esta tendencia es el surgimiento de los ingredientes y alimentos innovadores *basados en plantas*.

Panorama local

En Argentina existen entre 140 y 150 empresas elaboradoras, importadoras y/o distribuidoras de aditivos alimentarios, de las cuales entre el 50 y 60% son fabricantes locales. La balanza comercial de la actividad es deficitaria, ya que la importación de ingredientes alimentarios del año 2019 alcanzó los USD 255 millones a valor CIF y las exportaciones totalizaron los USD 141 millones a valor FOB (Talamoni y Queipo, 2022, como se citó en Brizuela *et al.*, 2022).

Tal como se citó en Brizuela *et al.* (2022), el estudio de Talamoni y Queipo (2022) identifica tres tipos de empresas con producción local de aditivos en base al tipo de producto y segmento del mercado al que apuntan:

1. Empresas orientadas a abastecer grandes volúmenes a las grandes alimenticias. Ofrecen productos estandarizados a gran escala, con una búsqueda de incorporación de tecnologías en sus procesos productivos, control de costos y calidad. La fermentación de precisión se encuentra entre las tecnologías más novedosas, cuyo costo cae de forma exponencial gracias a los avances de la biotecnología. Esto representa una importante barrera tecnológica y de inversión.
2. Pymes locales que se apoyan en la diferenciación, la especialización y/o diversificación de ciertos productos.
3. Laboratorios que ofrecen preparados o soluciones, que se obtienen combinando aditivos e ingredientes, alcanzando formulaciones a medida para la industria alimentaria.

Las empresas tradicionales dedicadas a la producción de aditivos e ingredientes, además de dedicarse a la elaboración brindan servicios de asistencia técnica para la reformulación de productos a las empresas de alimentos⁷¹. Cuentan con productos estandarizados y desarrollan fórmulas especiales según las necesidades de cada empresa productora de alimentos (adaptación y aplicación en diferentes matrices). Poseen capacidades para el desarrollo de fórmulas, pero en general no incursionan en el desarrollo de nuevos compuestos. Cuentan en general con laboratorios de desarrollo y en algunos casos con plantas piloto. En sus plantas productivas, elaboran formulaciones a partir de materias primas de origen importado en su mayoría.⁷²

⁷¹ Datos obtenidos a partir de entrevistas realizadas.

⁷² Una de las empresas más grandes de aditivos, importa el 95% de su materia prima y asegura que de existir oferta local, se volcaría por la compra local.

Una tendencia encontrada en algunas de las empresas de aditivos tradicionales a nivel local, es la de intentar mejorar los perfiles nutricionales de los alimentos, basándose en la naturalidad de los ingredientes y en la vehiculización de nutrientes favorables para la salud. Para ello, apuestan al desarrollo de formulaciones con ingredientes más naturales y a la innovación en medios para la vehiculización de nutrientes.

Un aspecto relevante es que los productos sustitutos de los nutrientes críticos suelen ser más costosos que los insumos tradicionales (grasas, azúcar y sodio). Por esto, sumado a otros factores tecnológicos asociados a su reemplazo –como pueden ser mayores tiempos de proceso o la utilización de tecnologías superiores–, se espera que deriven –al menos inicialmente– en un aumento del precio final de los alimentos reformulados.

Si bien existe producción local de algunos ingredientes y aditivos biológicos básicos como gluten, almidones, fibras y aceites cítricos, la mayoría de los aditivos e ingredientes con perfiles tecnológicamente más complejos es de origen importado. En relación con la potencialidad de desarrollo de esta industria en Argentina, los principales límites están vinculados a la escala de producción mínima necesaria, a las nuevas y costosas inversiones necesarias para dar el salto tecnológico y la dificultad adicional que conlleva la incorporación de nuevos aditivos al CAA (Talamoni y Queipo, 2022, como se citó en Brizuela *et al.*, 2022). Las empresas alimentarias grandes buscan precios bajos y compran aditivos en volúmenes importantes, mientras que las pymes se acomodan a los ingredientes que utilizan las grandes para lograr mejores precios.

Sin embargo, existe una serie de aditivos e ingredientes biológicos de gran potencial para ser producidos localmente, por la disponibilidad de recursos y por la existencia de capacidades, cuya producción conllevaría a sustituir importaciones.⁷³

- Antioxidantes de origen vegetal.
- Derivados de soja como tocoferol y fitosterol.
- Pectinas derivadas de la cáscara del limón.
- Harina fermentada, masa madre deshidratada.
- Extractos de levaduras, a partir de la fermentación del azúcar (sustituto del glutamato).
- Concentrados proteicos, fibras o almidón a partir de legumbres.
- Derivados del maíz, como sorbitol y maltodextrinas.
- Hidrocoloides y gelificantes a partir de algas.
- Starters para las industrias lácteas y vitivinícola.
- Proteínas y ácidos grasos.
- Aditivos que ya se producen, pero con mayor funcionalidad, como el almidón resistente.

⁷³ Información relevada de entrevistas con informantes clave.

Recuadro 7. Profesionalización en la industria alimenticia

La industria alimenticia argentina demanda una amplia variedad de perfiles profesionales. Aproximadamente la mitad de las carreras universitarias ligadas a la industria de fabricación de alimentos son ciencias aplicadas, destacándose tecnología de alimentos (11%), ingeniería industrial (8%), ingeniería agronómica (7%), ingeniería química (5%) y seguridad industrial (5%). Dentro de las ciencias sociales, las dos carreras más relevantes son contabilidad (16%) y administración de empresas (12%).

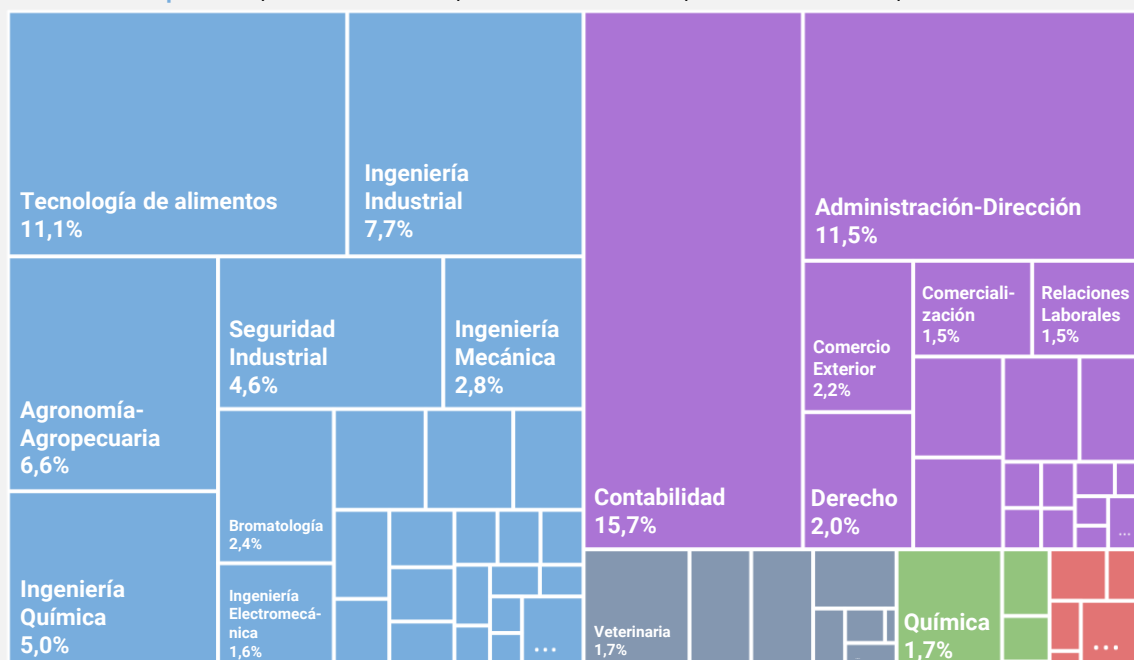
Las universidades que forman dichos profesionales también son variadas. Destacan en primer lugar la Universidad Tecnológica Nacional (12%), la Universidad Nacional de Rosario (10%), la Universidad Nacional del Litoral (7%) y la Universidad de Buenos Aires (7%).

Hay claros sesgos de género en los perfiles profesionales ligados a la industria alimenticia. La presencia femenina en las personas graduadas que trabajan en el sector es mayoritaria en carreras como bromatología (66%), tecnología de alimentos (65%), contabilidad (62%) o ingeniería química (57%), en tanto que la presencia masculina es mayor en los trabajadores que estudiaron ingeniería industrial (71% varones), ingeniería agronómica (78%), ingeniería mecánica (99%) y seguridad industrial (76%).

En mayo de 2022, el salario promedio en la industria alimenticia fue de \$156.755. En aquellas empresas que tuvieron al menos una persona graduada en tecnología de alimentos, los salarios fueron 40% mayores a la media.

GRÁFICO 33. CARRERAS UNIVERSITARIAS LIGADAS A LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Ciencias Aplicadas | Ciencias Básicas | Ciencias de la Salud | Ciencias Humanas | Ciencias Sociales



Fuente: elaboración propia con base en CEP-XXI, Secretaría de Políticas Universitarias y el SIPA. Nota: se muestran los graduados universitarios de 2016-2018 con empleo formal en empresas alimenticias en mayo de 2022.

Los alimentos innovadores en Argentina

Siguiendo la tendencia global, existe en el mercado local un emergente grupo de empresas y *startups* dedicadas al desarrollo de aditivos e ingredientes biológicos innovadores. En el cuadro 6 se lista una serie de *startups* del vertical *foodtech* invertidas por ARCAP en los últimos seis años.

CUADRO 6. STARTUPS AGRI-FOODTECH INVERTIDAS POR ARCAP EN EL PERÍODO 2016-2021

Sector	Nombre	Producto o servicio
Alimentos innovadores	Cell Farm	Producción de carne mediante células madre sin ganado
	Einsted	Procesamiento no térmico de alimentos mediante campos eléctricos pulsados
	Simpleat	Comida congelada
Aditivos biológicos	AlgaeBioMas	Sustitución biotecnológica de pigmentos artificiales para los alimentos
	Ergo Bioscience	Carne hecha a base de plantas
	Food4You	Bacterias lácticas para sustitutos lácteos
	Tomorrow Foods	Comida hecha a base de plantas
	Keclon	Desarrollo y venta de enzimas para aceites comestibles, alimentos, biodiesel, nutrición animal, entre otros
	Michroma	Producción de colorantes naturales
Comercio	Nilus	Rescate de productos en peligro de desperdicio y organización de compras comunitarias
Envases	Arqlite	Reciclado de envases

Fuente: elaboración propia con base en ARCAP (2021).

Los productos desarrollados por estas empresas, cuentan con una serie de ventajas y desventajas, entre las que podemos mencionar las siguientes.

Ventajas

- Moléculas más estables, más resistentes a la temperatura; con mayor poder de coloración y menor costo de producción (colorantes naturales obtenidos a partir de hongos versus colorantes naturales extraídos de plantas).
- Antioxidantes potentes con beneficios para la salud humana y animal con efectos beneficiosos para las articulaciones, los músculos, el corazón y la vista (metabolitos derivados de microalgas, utilizados en nutraceuticos y en reemplazo de colorantes en los alimentos para la acuicultura y la producción porcina).

- Recursos científicos y productivos nacionales para desarrollarse en el campo de las proteínas para alimentos *plant based* (premixes de proteínas de legumbres secas y proteínas animales producidas sin utilizar animales, basadas en el cultivo de células vegetales modificadas genéticamente).
- Proceso productivo más eficiente, más sustentable e independiente de las condiciones agroecológicas (colorantes naturales obtenidos a partir de hongos versus colorantes extraídos de plantas).
- Avances tecnológicos que tienden a imitar las características organolépticas de los productos derivados de animales (cárnicos y lácteos) y a la utilización de una menor concentración de aditivos químicos, en productos *plant based* (proteínas animales producidas sin utilizar animales, basadas en el cultivo de células vegetales modificadas genéticamente; y cultivos de microorganismos *starters* especialmente diseñados para fermentar productos *plant based*).

Desventajas

- Mayor costo de los colorantes naturales que las moléculas de síntesis química (colorantes naturales obtenidos a partir de hongos versus colorantes sintéticos).
- Mayor costo de las proteínas recombinantes (proteínas animales obtenidas de células vegetales modificadas genéticamente) que las proteínas extraídas de plantas. Los alimentos *plant based* que contienen proteínas recombinantes animales, tienen mejores características organolépticas y etiquetas más limpias pero mayor costo.
- Capacidad productiva local acotada para escalar la producción de aditivos o ingredientes derivados del cultivo de microorganismos o células vegetales. En el caso de los colorantes obtenidos a partir de hongos la *startup* terceriza la fermentación con una empresa europea. Montar una planta con las características necesarias cuesta entre USD 60 millones y USD 150 millones.
- El cultivo de microalgas para obtener productos para la industria alimentaria debe realizarse *indoor*, lo que conlleva un gran consumo de energía lumínica. El proceso puede volverse sustentable al utilizar paneles solares.
- Complejidad de los esquemas regulatorios para productos innovadores (colorantes obtenidos de hongos modificados genéticamente; cultivos de *starters* basados en cepas no incluidas en el CAA y proteínas animales obtenidas de células vegetales modificadas genéticamente).

Una de las características destacadas de las *startups* dedicadas a *foodtech* locales es que actualmente ninguna se posiciona bajo el modelo BTC con perspectivas de vender en góndola sus productos. Todas las empresas se ubican dentro de la cadena como proveedoras de empresas elaboradoras de alimentos, tanto locales como extranjeras, que busquen modificar sus

recetas o diseñar nuevos productos alineadas a las tendencias del mercado. Esto constituye una diferencia con algunos casos de éxito de la región como NotCo y Fazenda Future.

Paralelamente, se destaca que todas las empresas del segmento de aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas innovan y desarrollan sus actividades de I+D localmente y, en su mayoría, sus productos se escalan dentro del país, diferenciándose de las empresas de aditivos químicos las cuales mantienen sus centros de I+D en sus casas matrices dejando a nivel local únicamente la formulación de los aditivos e ingredientes a partir de insumos importados.

Las empresas de *foodtech* en Argentina

Food4You

Se trata de una *startup* radicada en la provincia de Salta especializada en el desarrollo de nuevos ingredientes para mejorar la calidad de los alimentos de origen vegetal y etiquetas limpias mediante procesos naturales.

Produce combinaciones de bacterias del ácido láctico (LAB) especialmente diseñadas para la fermentación de alimentos de origen vegetal. Estos microorganismos producen compuestos que mejoran la textura, resaltan el sabor y mejoran el perfil nutricional. De esta manera, se puede reducir la cantidad de ingredientes agregados, mejorando la calidad del producto final.

Las principales líneas de trabajo están destinadas a dos tipos de consumidores:

- Veganos/vegetarianos: no tienen problema con el sabor de los productos basados en plantas.
- Flexitarianos: más reacios a aceptar alimentos de origen vegetal (análogos de carne y de lácteos) en mayor medida debido a las diferencias organolépticas.

Su modelo de negocio es B2B al producir ingredientes innovadores con biotecnología para la industria de los alimentos *plant based*.

El interesante aporte de valor de esta *startup* se encuentra en el estudio microbiológico de las bacterias lácticas (LAB). Es justamente esta característica la que permite, a través de la fermentación, producir ingredientes para alimentos innovadores *plant based* con una menor cantidad de aditivos, a lo que se le suma el lograr características organolépticas más similares a los productos de origen animal.

Michroma

Ricky Cassini, Licenciado en Ciencias Empresariales y con experiencia en gestión de empresas vinculadas al agro, fundó la *startup* Michroma junto a Mauricio Braia, doctor en Ciencias Biológicas e investigador del CONICET. El primero aportó sus conocimientos en negocios y el segundo en biotecnología. A principios de 2019 aplicaron al proceso de [GridX Exponential](#), una aceleradora de empresas de base biotecnológica. Además, después de pasar varias etapas, fueron seleccionados para ir a Estados Unidos, donde conocieron [Indie Bio](#), la aceleradora de

biotecnología más grande del mundo. Una vez que ambas aceleradoras decidieron invertir en la idea de Michroma, el equipo se fue a San Francisco para comenzar el desarrollo de los productos. El proyecto recibió una inversión inicial de casi USD 500.000.

El principal producto desarrollado por esta *startup* es el colorante natural rojo carmín obtenido a partir de hongos, para las industrias alimenticia, farmacéutica y cosmética, como reemplazo del rojo sintético proveniente del petróleo. El colorante rojo es el que tiene los mayores efectos nocivos para la salud entre los colorantes sintéticos (desde alergias, hiperactividad, trastornos de déficit de atención e incluso cáncer) y el que más se utiliza en la industria alimenticia. Además, ya tienen en su cartera de desarrollos colorantes naturales naranja, amarillo y una prueba de concepto para azul. En la actualidad, mezclando estos productos abarcan todo el espectro de colores. Su objetivo es crear una plataforma de aditivos (sabores y fragancias) de origen natural. En promedio estiman tardar un año en producir cada nuevo producto. Este tiempo buscan acortarlo con la utilización de Inteligencia Artificial (IA).

En su modelo de negocio, la escala no se determina por la capacidad operativa sino por la demanda. Podrían alquilar plantas en distintas partes del mundo según aumente la demanda de estos productos innovadores para la alimentación saludable y sostenible.

Ergo Bioscience

Se trata de una *startup* biotecnológica argentina que desarrolla ingredientes innovadores destinados a la producción de alimentos sustentables de origen vegetal. Su objetivo es contribuir a la producción de alimentos organolépticamente idénticos a aquellos derivados de animales.

Lo innovador reside en el desarrollo de una plataforma de producción de proteínas recombinantes animales en cultivo celular vegetal. A partir del cultivo de células vegetales modificadas genéticamente, la *startup* produce mioglobina y caseína de origen animal, sin utilizar animales. Estos productos serán exportados a Estados Unidos y Europa, sus mercados más relevantes, luego de finalizada la etapa de puesta a punto del proceso a escala industrial (escalado) y obtenidas las aprobaciones correspondientes. Por ahora están planificando hacer la escala en esas regiones por encontrarse allí las principales empresas interesadas en lo que produce la *startup*. El equipo de I+D y de fermentación va a seguir radicado en Argentina.

La estrategia de negocio de [Ergo Bioscience](#) consiste en vender sus productos a empresas que requieran proteínas animales pero sin utilizar animales (como las que producen alimentos *plant based*). Con esta tecnología se ahorrarían costos en términos de aditivos que actualmente las empresas de *plant based* incorporan para asimilar el gusto y textura al de la carne y se lograrían alimentos más saludables, dado el menor contenido de aditivos químicos. Más adelante podrían avanzar hacia otras aplicaciones, como veterinaria, cosmética, o cualquier aplicación que necesite reproducir una proteína animal sin utilizar animales.

Algaebio+

Esta *startup* argentina desarrolla compuestos beneficiosos para la salud humana y animal mediante el empleo de microalgas como plataforma productiva. En particular, la firma desarrolló la producción de astaxantina natural, siendo esta la principal sustancia protectora de las microalgas contra la radiación solar. Los mercados de destino del producto son: acuicultura, nutraceuticos, alimentos funcionales y cosméticos.

En el primer sector, la astaxantina se utiliza para la coloración típica del salmón, la trucha y el camarón, aunque actualmente se usa un análogo artificial de la síntesis del petróleo. La empresa realizó pruebas biológicas con astaxantina natural en truchas con resultados exitosos, lo que permitió una alianza comercial con el sector de la acuicultura. Además, que el origen del producto sean las microalgas garantiza efectos beneficiosos en las articulaciones, músculos, la visión y el corazón, entre otros, debido a que captura radicales libres.

Por otra parte, la empresa pudo avanzar en la producción gracias a la aceleradora científica Grid Exponential. En adelante, la idea de la empresa es avanzar en el mercado *plant based* por su proyección de crecimiento, aportando en el contenido nutricional de las hamburguesas veganas, por ejemplo. También podrían iniciar su aporte en el mercado de alimentos alternativos al pescado.

Firmenich Argentina

Es una multinacional suiza que fabrica aromas, sabores e ingredientes. En la Argentina está presente con una planta en Tigre y vende en forma directa a grandes compañías, mientras que el mercado de clientes medianos y pequeños es atendido por un distribuidor oficial.

La empresa tiene seis centros de I+D alrededor del mundo. El de Latinoamérica se encuentra en San Pablo, Brasil. Los tres pilares de las estrategias de negocio de esta industria, y de Firmenich en particular, son:

1. Transformar hacia lo natural logrando que por lo menos el 80% de los ingredientes sean naturales para el año 2030, con el año 2020 como punto de partida. Cuentan con una cartera de aditivos diversificada (saborizantes naturales, artificiales y WONF) enfocada en producir alimentos sabrosos.
2. Mejorar la nutrición sustituyendo/reduciendo el contenido de azúcar y sal en la dieta, reemplazando con saborizantes y trabajando transversalmente con todas las categorías que conforman la “mesa” de las y los argentinos (desde una galletita hasta una gaseosa, agua saborizada, jugo, y todo aquello que contenga azúcar, por ejemplo).
3. *Plant-based Revolution* por el exponencial crecimiento esperado del consumo volcado a proteínas de origen vegetal, las cuales permitirían ahorrar 280 millones de litros de agua y de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel mundial.

En Argentina no tienen centros de I+D, pero sí contratan ingenieros y licenciados en alimentos que trabajan en las etapas finales de los proyectos que se desarrollan en los centros de innovación. Se encargan de la implementación de los productos innovadores, de la adaptación de estas tecnologías al mercado regional, por temas regulatorios y temas de preferencia de consumidores locales. Aplican las tecnologías que vienen de los centros de desarrollo de otros países a las bases de los alimentos de los clientes locales. Luego, el 80-90% de las materias primas (tanto de origen biológico como sintético) utilizadas en los procesos productivos de Firmenich son importadas. Esto se debe a la baja oferta en la región.

Desde la empresa consideran que el diferencial de Argentina en esta nueva tendencia global se encuentra en los *plant-based* por ser un país predominantemente agrícola. Se puede crecer por el lado de las proteínas alternativas. Está el desafío de llegar a la base de la pirámide (consumidor empobrecido), para lo cual trabajan en desarrollar soluciones más accesibles.

Tomorrow Foods

La empresa argentina se posiciona como el primer Centro de Innovación en Proteínas Vegetales a escala industrial de la región, donde se investigan, desarrollan y formulan ingredientes y Sistemas Proteicos Vegetales (SPV). A las proteínas vegetales extraídas de legumbres (arvejas, garbanzos, quinoa, amaranto, etc.) se les incorporan ingredientes funcionales para elaborar análogos cárnicos, lácteos o aderezos.

Los 4 fundadores de la empresa comenzaron a debatir sobre cómo agregar valor de origen a la biomasa con los siguientes objetivos:

- Cambiar el paradigma exportador por uno de agregado de valor en origen con legumbres y otras proteínas vegetales para incrementar su producción sustentable.
- Reposicionar a la Argentina y a la región como un hub de innovación en legumbres y cultivos especiales. Argentina tiene mucho margen para crecer (a diferencia de Canadá, por ejemplo, que ya utiliza el 10% de su superficie cultivable para ese tipo de producciones).

El primer producto desarrollado fue la SPV Burger (análogo de carne y pollo), al que le siguieron SPV aderezo y SPV análogo lácteo. Estos son comercializados en formato de premezcla a empresas de la industria B2B de alimentos y bebidas. Solo agregando agua y aceite, sus clientes pueden “formar” la hamburguesa, por ejemplo.

Con relación al financiamiento, pudieron acceder al programa de la aceleradora Grid Exponential y a un crédito del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC).

Recuadro 8. Enzimas

Definiciones

Las enzimas son catalizadores biomoleculares altamente específicos que aceleran la velocidad de conversión de sustrato/s en producto/s. Las enzimas pueden ser macromoléculas proteicas o de ARN catalítico (ribozimas) (Okparaorcid, 2022). La principal función de una enzima en la naturaleza es la de catalizar o, dicho de otra manera, la de acelerar las reacciones químicas entre moléculas, de modo que estas puedan ocurrir en los tiempos adecuados para los seres vivos.

Las enzimas se encuentran compuestas por aminoácidos y tienen tamaños que van entre los 10 y los 2.000 KDa. La estructura de las enzimas cobra importancia en sus niveles terciario y cuaternario, ya que de estos depende la conformación de los "sitios activos", lugar en donde se produce "el encastre" con el sustrato (molécula a unir o romper), siendo dicha interacción extremadamente específica (del tipo llave-cerradura). Al encastrarse el sustrato con la enzima se conforma un complejo "enzima-sustrato" en el cual se produce la interacción y debilitamiento de ciertos enlaces químicos del sustrato, lo que resulta en la transformación a otro tipo de molécula denominada "producto". Una vez finalizada la reacción enzimática el producto se libera y la enzima retoma su forma original quedando disponible para realizar un nuevo proceso de transformación.

Uso industrial de enzimas

Las enzimas disponen de ciertas características que las vuelven atractivas y útiles para implementar en diversos usos industriales. Entre dichas características, vale la pena destacar que son específicas en la reacción que median, son eficientes energéticamente, se requieren en bajas cantidades, no las afecta la reacción, pueden repetir su acción y son biodegradables. Otras ventajas en el uso de las enzimas a nivel industrial es que en ciertos casos pueden disminuir o sustituir a los productos químicos tradicionales, reduciendo el consumo de energía, agua y desperdicio final.

Tradicionalmente, las enzimas han sido extraídas de microorganismos como hongos, levaduras y bacterias; de componentes vegetales y de órganos de animales. En la actualidad, la biotecnología moderna, por medio de la ingeniería genética, permite producir enzimas en otras plataformas logrando obtener mayores rendimientos, menor concentración de impurezas y/o contaminantes y un mayor control de las condiciones del proceso. Además, mediante la biotecnología moderna, se pueden producir enzimas procedentes de animales sin la utilización de animales, en sintonía con la búsqueda del bienestar animal.

En la actualidad se han identificado y clasificado más de 3.000 enzimas (según la Comisión de Enzimas de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular), de las cuales se estima que cerca del 5% son aprovechadas industrialmente (Okparaorcid, 2022). A las enzimas se las clasifica según el tipo de reacción que median y la sustancia (sustrato) sobre la que actúan. Para nombrarlas, se acostumbra utilizar la terminación "-asa" a continuación del nombre del sustrato principal de la enzima. Los principales tipos de enzimas son las oxidorreductasas; transferasas; hidrolasas; liasas; isomerasas; ligasas y translocasas (Bairoch, 2000).

Continúa.

Continuación.

A continuación, se listan los tipos de enzimas utilizados en los distintos subsectores de las industrias de alimentos y bebidas (para humanos) y nutrición animal (Okparaorcid, 2022): Lácteos (proteasa, lactasa, fosfolipasa, lipasa, transglutaminasa, lacasa y catalasa).

- Confitería (glucoamilasa y a-amilasa).
- Bebidas (proteasa, celulasa, pectinasa, xilanas, a-amilasa, glucoamilasa, lipasa, glucosa oxidasa, esterasa, lacasa y catalasa).
- Jugos de frutas y verduras (celulasa, pectinasa, xilanas, a-amilasa, lacasa y naringinasa).
- Panadería (proteasa, xilanas, a-amilasa, fosfolipasa, lipasa, lacasa, transglutaminasa y glucosa oxidasa).
- Alimentación animal (proteasa, celulasa, pectinasa, xilanas, a-amilasa, fosfolipasa y fitasa).
- Procesamiento y envasado de alimentos (proteasa, celulasa, transglutaminasa y catalasa).
- Aceites comestibles (fosfolipasa, lipasa y pectinasa).

Panorama global

Las enzimas industriales en 2021 alcanzaron una valoración global de USD 6.000 millones y se espera una t.a.a del 6% entre el año 2022 y 2027 (datos de Mordor Intelligence).

Las principales empresas líderes de enzimas industriales globales son: Novozymes, Dupont, Enzimas AB, BASF y DSM, las cuales de forma combinada poseen un 75% del mercado internacional, conformando un mercado consolidado a nivel global. Otras empresas de interés para las enzimas industriales globales son: Tecnologías enzimáticas avanzadas; Amano Enzyme; Biocatalizadores; BioResource Internacional; Cr. Hansen Holding; Corporación de Desarrollo de Enzimas y Lesaffre. El mercado de Asia-Pacífico es el mercado con el mayor crecimiento esperado para 2027 (datos de Mordor Intelligence).

En 2021, la participación de las enzimas destinadas para alimentos y bebidas (para humanos) fue del 37,7%; para alimentación animal un 22,5%; para detergentes y limpieza un 22% y para biocombustibles un 6,5%. Como puede observarse, en combinación, las enzimas para alimentación humana y animal, representan el 60% del mercado global de enzimas industriales. Se espera que el mercado de enzimas para alimentación humana crezca globalmente a una t.a.a. del 4,8% entre los años 2022-2027, mientras que el de enzimas para alimentación animal alcance una t.a.a. cercana al 7,8% para el mismo intervalo de tiempo, mostrando está última una tasa de crecimiento superior a la media esperada para el sector global de las enzimas industriales (datos de Mordor Intelligence).

El mercado de enzimas para la alimentación humana se encuentra atomizado. Las empresas líderes son: Kerry; Cr. Hansen Holding; Jiangsu Boli Bioproducts; DuPont y Real DSM. Otras empresas participantes son: Koninklijke; ENMEX; Novozymes; British Foods; Biocatalizador y Grupo Puratos. América del Norte tuvo en 2021 la participación más alta del mercado global, pero las proyecciones prevén que la región de Asia-Pacífico sea la que experimente un mayor crecimiento de cara a 2027.

Continúa.

Continuación.

El mercado de enzimas para alimentación animal se encuentra consolidado. En 2021, Asia-Pacífico resultó ser la región con la mayor participación del mercado global y además se proyecta que para los próximos años también sea la que disponga de la mayor tasa de crecimiento. Las empresas líderes en este segmento son: Adisseo; BASF; Dupont; Koninklijke y Alltech. Otras empresas participantes son BASF; Novus International; Industrias Kemin; Sociedad Anónima Biovet y Bio-Cat (datos de Mordor Intelligence).

A nivel regional, más precisamente, en América del Sur, el sector de enzimas en alimentación humana se espera tenga un crecimiento cercano a una t.a.a del 7,2% entre los años 2022-2025, mientras que en el sector de nutrición animal se espera alcance una t.a.a. del 4,2 % en el mismo intervalo de tiempo.

En el sector de los alimentos para humanos las enzimas predominantes son las carbohidrasa, proteasa y lipasa que se utilizan en distintos sectores tales como panadería, confitería, productos cárnicos, avícola y marino, bebidas, etc., mientras que en nutrición animal las enzimas más utilizadas son las carbohidrasa y fitasas para grupos de animales tales como rumiantes, porcinos, aviario y piscícola.

En la región, las principales empresas del sector de enzimas para alimentos para humanos son: Cargill; Grupo Kerry; Danisco; ADM; Novozymes; DSM; Cr. Hansen y Enzimas AB. En tanto, las principales empresas del sector de enzimas para alimentación animal son: Cargill; BASF; Enzimas AB; DSM Nutrición Animal; Novozymes; Nutreco; Novus International; Pancosma; Dupont y Dansico (datos de Mordor Intelligence).

Panorama local: el mercado de las enzimas utilizadas en las industrias de alimentación humana y animal en Argentina

Para Argentina, se estima que el mercado de las enzimas de uso en alimentación humana experimente un crecimiento a una t.a.a. del 5,6% para el periodo 2022-2025. Este mercado se encuentra consolidado, y las empresas de mayor participación son las siguientes: Grupo Kerry; DuPont; MDS; Cr. Hansen Holding; Novozymes; Ingredientes ABF; y Grupo Souffiet (datos de Mordor Intelligence).

De acuerdo con Talamoni y Queipo (2022), las importaciones de enzimas para alimentación humana en 2019 alcanzaron los USD 37,1 millones CIF, mientras que las exportaciones fueron de USD 56,6 millones CIF. De este modo, la balanza comercial para el año 2019 resultó positiva. Una observación derivada de dicho trabajo que resulta destacable es que las enzimas ocuparon el primer lugar, tanto de importaciones como de exportaciones, dentro del conjunto general de aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas, con un 40,2% de la participación sobre las exportaciones y un 14,5% de participación en las importaciones para el año 2019.

A continuación, se lista un resumen de familias de enzimas permitidas como coadyuvantes de tecnología para uso en la industria alimentaria y de bebidas del artículo 1263 del Código Alimentario Argentino (para ver la lista completa remitirse al [Boletín Oficial](#)).

Continúa.

Continuación.

- Carbohidrasas: se emplean en productos de panadería u otros a base de cereales; en cervecera; en la elaboración de azúcar invertida.
- Pectinasas: se emplean en la industria de los jugos cítricos, del vino y de los zumos vegetales.
- Proteasas: se emplean en la industria panadera, cervecera, quesera, de la carne y derivados.
- Enzimas óxido-reductasas: se emplean en la industria del queso, de zumos vegetales.
- Lipasas: se emplean en la industria quesera.
- Fosfolipasa C: se emplean en la industria aceitera.
- Fosfolipasa A2: se emplean en yema de huevo, huevo entero o sus mezclas, pan (con excepción del pan francés), productos de panadería y pastelería.
- Fosfolipasa A1: se emplean en la industria quesera.
- Asparraginasas: se emplean en la industria panadera, de productos a base de cereales, para el procesamiento de batatas y café.
- Lactasas: se emplean en la industria láctea.

Cabe destacar que en Argentina en el ámbito de la Comisión Nacional de Alimentos conformó un grupo de trabajo ad hoc de enzimas, coordinado por el Instituto Nacional de Alimentos, el cual trata solicitudes de incorporación de nuevas enzimas para uso en la industria alimentaria y de bebidas del artículo 1263 del Código Alimentario Argentino.

En el segmento de control biológico, recientemente se produjeron avances mediante la asociación entre Novozymes y FMC para desarrollar soluciones basadas en enzimas con foco inicial en la enfermedad fúngica de la roya asiática de la soja, una enfermedad presente en los cultivos de nuestro país (Novozyme, 2021).

Se puede mencionar como caso de éxito en el país a la empresa santafesina Keclon, la cual dedica esfuerzos en el diseño, producción y comercialización de enzimas. La empresa dispone de una plataforma tecnológica que permite generar nuevas enzimas por distintas tecnologías tales como ingeniería genética, biología molecular y técnicas de evolución dirigida. Dispone de productos para consumo humano como la quimosina recombinante, un coagulante de leche utilizada en la elaboración de queso y la fitasa, una enzima utilizada en nutrición animal.

Capacidades locales de desarrollo para las tecnologías 4.0 para el agro, los bioinsumos agrícolas y la tecnología de los alimentos

Tecnologías 4.0 para el agro

En el marco de la presente Misión se realizó una encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, la cual fue enviada a todos los centros mapeados que realizan actividades de desarrollo y transferencia en el campo del Agro 4.0 a nivel nacional. Dicha encuesta fue respondida por un total de 18 grupos de trabajo, pertenecientes a 17 centros. En el cuadro 7 se listan los grupos de trabajo respondientes.⁷⁴

CUADRO 7. CENTROS RESPONDIENTES DE LA ENCUESTA DE RELEVAMIENTO DE CAPACIDADES DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS 4.0 PARA EL AGRO

Nombre de la institución	# de grupos de trabajo respondientes
Centro Atómico Bariloche	1
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera	1
Centro LIFIA, Facultad de Informática, UNLP	1
Centro UTN CODAPLI	1
CIFASIS	2
Comisión Nacional de Energía Atómica	1
Facultad de Ciencias Agrarias, UNR	1
Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación	1
UTN FRSF	1
Instituto de Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional	1
Instituto PLADEMA	1
INTA	1
ISISTAN, UNICEN-CONICET	1
ITBA	1

Continúa.

⁷⁴ Para optimizar los resultados de la encuesta, se solicitó completar un formulario por cada grupo de trabajo presente en la institución que realice actividades afines al desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro. Entendiendo por "grupo de trabajo" a los laboratorios, departamentos, cátedras, centros y todo tipo de agrupación donde sus integrantes trabajan en torno a una misma temática.

Continuación.

Nombre de la institución	# de grupos de trabajo respondientes
Laboratorio de Ciencias de las Imágenes	1
UNICEN	1
UTN FRC	1
TOTAL	18

Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Las actividades de los grupos de trabajo encuestados se centran en el desarrollo de aplicaciones, software y componentes finales, mientras que no se relevaron grupos que desarrollen componentes elementales. A su vez, un alto porcentaje de los grupos (66,7%) realiza actividades de transferencia. En cuanto a las tecnologías empleadas, se destacan la Inteligencia Artificial, los sistemas embebidos, los sensores y la Big Data. Por el contrario, no utilizan la manufactura aditiva.

Al analizar la cantidad de empresas a las cuales los centros han provisto de servicios tecnológicos, asistencia técnica o I+D+T, encontramos que la mayoría se vinculó con al menos una empresa; solo dos grupos no se vincularon con ninguna empresa y seis grupos se vincularon con 10 o más empresas. En total los 18 grupos se han vinculado con 87 empresas, aproximadamente. Las principales empresas con las que se vincularon incluyen empresas de maquinaria agrícola (como Borora S.A., Delaval, Agrometal, Plantium y Verion), empresas del sector TIC (como Aitenea Biotech, Uniagro, Holy Data S.A.S, Blue Aqua S.A, Soteica Latinoamerica (KBC Advanced Technologies), Redimec, Satellogic, Uniagro, Pragma S.A. y Stream S.A.), empresas de biotecnología agropecuaria (como Bioceres), empresas de energía (como YPF), productores agropecuarios (como Serviverde), empresas automotrices (como Fiat, Renault, Denso y ZF). Otras organizaciones con las que dichos centros se han vinculado, incluyen la Armada Argentina, la Fundación Profesional Para el Transporte (FPT), Subterráneos de Buenos Aires (SBASA), la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca y la Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca.

La mayoría de los grupos encuestados (67%) superan la escala de trabajo en laboratorio, es decir, alcanzan una escala piloto y/o productiva. Solo seis de los grupos encuestados expresan que su escala máxima es la de laboratorio. Dentro de estos últimos, cuatro expresan que la imposibilidad de trabajar a escala piloto no representa una limitante y que, en general, tanto los desarrollos como las transferencias pueden culminarse sin inconvenientes; mientras que los otros dos expresan que, si bien los desarrollos pueden culminarse, en ocasiones se imposibilitan las transferencias de tecnología.

Los centros encuestados, en conjunto, se encuentran trabajando en aproximadamente 48 desarrollos (2,66 desarrollos en promedio por grupo). Esta cartera de desarrollos se centra en

el desarrollo de sistemas de monitoreo y/o control con ejecución de acciones automáticas, basadas en IA como agrobots, drones, etc., y en sistemas de monitoreo y/o control para la toma de decisiones (no automáticas), seguidos del desarrollo de software 4.0 y aplicaciones 4.0 para maquinaria agrícola. Solo dos de los grupos encuestados trabajan en el desarrollo de dispositivos de realidad virtual o aumentada; dos grupos en el desarrollo de plataformas para gestión de activos y un grupo en el desarrollo de servicios de digitalización y/o tokenización de activos.

Al solicitarles información sobre sus principales desarrollos (tanto en curso como finalizados), los grupos encuestados referenciaron un total de 31 desarrollos. Como puede observarse en la figura 12, más de la mitad de los desarrollos (58,1%) se encuentran en estadios tempranos (en desarrollo a escala laboratorio o piloto/prototipo); 7 desarrollos se encuentran en etapa de validación a campo; 1 desarrollo se encuentra en proceso de transferencia, 2 transferidos o derivados en *spin off* y 3 culminaron con productos en el mercado.

FIGURA 12. ESTADO DE AVANCE DE LOS PRINCIPALES DESARROLLOS RELEVADOS

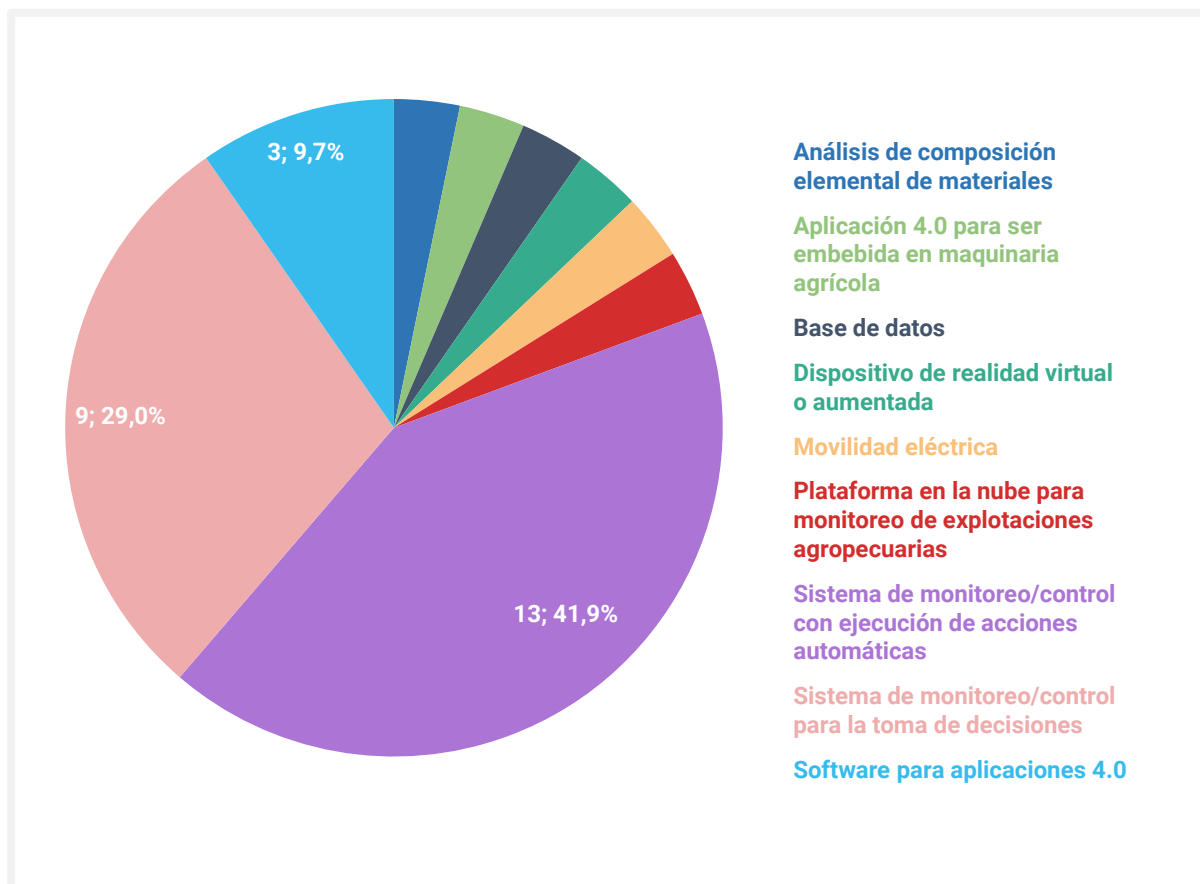


Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Dentro de los principales desarrollos, se destacan con un 42%, los sistemas de monitoreo y/o control de procesos agropecuarios con ejecución automática de acciones basadas en inteligencia artificial como por ejemplo, un robot desmalezador, un sistema de monitoreo de alimentación de rumiantes y un sistema para la determinación automática del grado de terminación y condición corporal de bovinos, entre otros. En segundo lugar, con un 29% se encuentran los sistemas de monitoreo y/o control de procesos agropecuarios que permiten la toma de decisiones por el ser humano, es decir, sin ejecución de acciones basadas en IA, como por ejemplo, un sistema de monitoreo de agroquímicos en los granos y un sistema portable de análisis parasitario en bovinos. En tercer lugar, con el 10%, encontramos el desarrollo de software para diversas aplicaciones 4.0 (ver gráfico 34).

Los tipos de desarrollo predominantes coinciden en líneas generales con los segmentos identificados por los centros como aquellos donde Argentina tendría mayores posibilidades de insertarse, lo que indicaría que existe una concordancia entre la planificación de las actividades de I+D y los segmentos de mercado que éstos consideran como relevantes.

GRÁFICO 34. TIPOS DE DESARROLLOS PARA EL AGRO 4.0 EN LOS CENTROS ENCUESTADOS



Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Al analizar la aplicación de los desarrollos relevados, se encuentra un leve predominio de aquellos destinados a la agricultura sobre los destinados a la ganadería. Dentro de los desarrollos para la agricultura predominan cultivos extensivos sobre intensivos; y dentro de los desarrollos para la ganadería predominan los desarrollos para bovinos.

Los principales desarrollos relevados poseen, en general, un alto grado de potencialidad de globalización. Cuando se consultó por el potencial mercado de los desarrollos, teniendo en cuenta aquellos mercados donde estos tuvieran potencialmente posibilidades de competir, los centros expresaron que el 52% de los desarrollos tendría la potencialidad de aplicarse a nivel global, seguidos de aquellos de aplicación regional con el 23% y nacional con el 13%.

Por último, una característica relevante de los principales desarrollos es que un 42% de los mismos (13 desarrollos) tiene la potencialidad de disminuir la utilización de insumos químicos, como pesticidas, fertilizantes y productos veterinarios, una vez en el mercado. En el cuadro 8 se listan los insumos químicos cuyo consumo podría reducirse y la cantidad de desarrollos en cada caso.

CUADRO 8. INSUMOS QUÍMICOS CUYO CONSUMO PODRÍA REDUCIRSE A PARTIR DE LA LLEGADA AL MERCADO DE LOS DESARROLLOS RELEVADOS

Insumo químico cuyo consumo podría reducirse	Cantidad de desarrollos
Agroquímicos en general (fertilizantes y fitosanitarios)	4
Fertilizantes	3
Herbicidas	2
Pesticidas	2
Productos veterinarios	2
TOTAL DE DESARROLLOS	13

Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Según el relevamiento aquí realizado, sumando al trabajo realizado por Lachman *et al.* (2022b), se puede concluir que los centros en su conjunto:

- Poseen capacidades para desarrollar y transferir nuevos algoritmos, software y hardware, realizar simulaciones y pruebas de concepto como parte del proceso de desarrollo y validación de tecnologías.
- Dominan la gran mayoría de las tecnologías 4.0 existentes para el agro, cuentan con capacidad de cómputo de alto desempeño y desarrollos innovadores protegidos por patentes nacionales e internacionales. Entre las tecnologías más utilizadas, se destacan el uso de IA, sistemas embebidos, sensores y *big data*. No se relevaron grupos de trabajo que utilicen manufactura aditiva para el Agro 4.0.
- Acompañan a las empresas en los procesos de ideación y validación de tecnologías, contando con *expertise* para el desarrollo y la implementación de protocolos de validación de tecnologías. Se cuenta con un centro que ofrece a las *startups* y pymes del sector TIC la posibilidad de realizar las etapas de sintonía fina en el desarrollo de aplicaciones basadas en *machine learning* (las empresas lo utilizan antes de adquirir espacio en la nube a empresas como Amazon); y con un centro especializado en desarrollar protocolos de validación de prototipos de maquinaria y conducir pruebas a campo.
- Brindan servicios tecnológicos a las empresas, como incubación, formulación y gestión de proyectos, capacitación, apoyo al comercio exterior y asesoramiento técnico para la estandarización de las comunicaciones (norma ISOBUS)⁷⁵

⁷⁵ La ISO 11783, conocida comúnmente como ISOBUS, es una norma internacional que especifica la comunicación entre los dispositivos electrónicos utilizados en la maquinaria agrícola. Esta norma apunta a compatibilizar todo lo que tiene que ver con electrónica dentro de la maquinaria agrícola.

- Generan datos abiertos a la comunidad y realizan simulaciones y pronósticos sobre variables meteorológicas que impactan en el agro, por ejemplo, predicciones estacionales a largo plazo, simulación de granizo, tormentas y lluvia extrema, entre otros.
- Entre las actividades de I+D que realizan, se destacan el desarrollo de aplicaciones, software y componentes finales, pero no se relevaron grupos que se dediquen al desarrollo de componentes elementales.
- Tienen un gran nivel de vinculación con el sector privado. La mayoría de los centros encuestados realiza actividades de transferencia y gran parte de los centros entrevistados ha logrado transferir al menos uno de sus desarrollos hacia el sector productivo. Asimismo, la mayor parte de estos grupos se vinculó con al menos una empresa para proveer servicios tecnológicos, asistencia técnica o para llevar a cabo actividades de I+D+T.
- En líneas generales, la escala de trabajo no representa una limitante en este subsistema. La mayoría de los centros relevados supera la escala laboratorio y, aún aquellos que trabajan a escala laboratorio manifiestan que, en general, pueden concluir tanto los procesos de desarrollo como los de transferencia, a excepción de algunos casos puntuales donde las transferencias pueden verse limitadas.

Sin embargo, como describe Lachman *et al.* (2022b), este subsistema científico-tecnológico cuenta con algunas debilidades.

El principal rol que hoy cumplen las instituciones de ciencia y tecnología, en particular las universidades, es la formación de recursos humanos de alta calificación, que luego, de forma individual, desarrollan tecnologías 4.0 en el sector productivo. Si bien en varias de ellas hay programas de avanzada en el desarrollo propio de tecnologías 4.0 para el vertical del agro, las iniciativas tienden a estar escasamente articuladas con el resto de los actores.

Las instituciones de ciencia y tecnología podrían desempeñar un papel más significativo en el marco de una estrategia nacional para el desarrollo del agro 4.0, mejorando la oferta de bienes públicos y contribuyendo a acelerar el proceso de ideación, desarrollo, testeo y validación de nuevas tecnologías. Sin embargo, el subsistema enfrenta hoy una serie de obstáculos que limitan dicha posibilidad. La primera de ellas atañe a la capacidad de atracción y retención de talento. En segundo lugar, las condiciones normativas que regulan la interacción con el sector privado no parecen del todo funcionales para tal fin, en especial en los centros académicos. Ello atañe tanto a los tiempos de los procedimientos y la estabilidad financiera de los proyectos, como a los términos contractuales y la gestión de la propiedad intelectual. En comparación con lo que ocurre en otros campos del conocimiento, como por ejemplo los desarrollos biotecnológicos, la contribución de los centros de ciencia y tecnología al desarrollo de soluciones puede resultar más “parcial”, restringiéndose la protección por medio de la propiedad intelectual, o bien dificultándose la estipulación de una participación en los potenciales beneficios derivados de su explotación; a la vez que se observa críticamente su catalogación como servicio.

Por último, cabe mencionar las debilidades en materia de infraestructura, tanto para la generación de datos como en lo referido a la capacidad de cómputo de alto desempeño – requerido para los desarrollos de mayor complejidad–. Por un lado, la red de medición de datos meteorológicos actualmente disponible cuenta con muy pocas estaciones de observación y son operadas de forma manual, práctica ya abandonada en la década de los '80 en los países desarrollados. Por otro lado, el Centro de Cómputo de Alto Desempeño (CCAD) de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) es el único centro que tiene infraestructura para proveer al sistema científico-tecnológico nacional de servicios de cómputo de alto desempeño. Existe una gran demanda de estos servicios a nivel académico, y en menor medida a nivel de empresas y gobiernos provinciales. Aunque el CCAD no es exclusivo para el sector agro 4.0, cuenta con capacidad para el diseño simulado de maquinaria agrícola. Este equipamiento de cómputo también podría ser utilizado para la calibración de modelos de inteligencia artificial u otros algoritmos que requieran de estas capacidades.

Bioinsumos agrícolas

Esta sección contiene una síntesis del relevamiento de capacidades de desarrollo en bioinsumos agrícolas realizado por Starobinsky, Monzón, Di Marzo Broggi y Braude (2021) publicado en la serie de Documentos del Plan Argentina Productiva 2030. A nivel nacional, un conjunto de organizaciones del sistema científico-tecnológico y de los subsistemas provinciales llevan adelante una gama de líneas de investigación, sobre la base de diversos agentes biológicos y principios activos, para el desarrollo de insumos para la agricultura. Trece de los centros, institutos, laboratorios y grupos de investigación más relevantes del país se encuentran distribuidos en gran parte del territorio nacional, y varios importantes se encuentran en el interior, especialmente en las regiones NOA y Cuyo. En el cuadro 9 se presentan las características principales de dichos centros.

En términos generales, se puede destacar que el ecosistema científico-tecnológico vinculado al sector presenta importantes capacidades en investigación y desarrollo en las primeras etapas de la cadena, así como importantes ceparios e insectarios para nutrir nuevas investigaciones, pero por lo general no cuentan con capacidades de escalado o producción. Así, pueden identificar, seleccionar y producir agentes efectoros (micro- o macroorganismos y moléculas efectoras) solo a escala de laboratorio, a excepción de ISCAMEN, Biofábrica Misiones, CEMUBIO y CeTBIO (cuadro 9).

En general, los centros no cuentan con capacidades para desarrollar la formulación final de los productos, es decir, la introducción del agente efector en una mezcla de otros materiales que faciliten su viabilidad, eficiencia y aplicación del producto comercial. En algunos casos, alcanzan por sus propios medios hasta la prueba de concepto en laboratorio, invernadero o pequeño ensayo a campo, con formulados experimentales, y en otros solo hasta la prueba de concepto con el agente efector sin avanzar sobre la formulación.

CUADRO 9. CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DE CENTROS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Dependencia	Centro	RRHH dedicados a bioinsumos	Escala	Ensayo a campo	Transferencia concretada
Nacional	INTA Castelar - Instituto de Investigación Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) - 1956	6 grupos de investigación	Experimental	Sí	Sí
	INTA Alto Valle - Centro de Multiplicación de Biocontroladores (CEMUBIO) - 2018	8 personas	Piloto/productiva	Sí	Sí
	Universidad Nacional de San Juan - Instituto de Biotecnología (IBT) - 1992	10 personas (dos grupos)	Escala experimental	Sí	No
	Universidad Nacional de Córdoba - Centro de Transferencia de Bioinsumos (CeTBIO) - 2019	6 personas	Escala piloto/productiva	Sí	Sí
	Universidad Nacional de Quilmes - Centro de Bioquímica y Microbiología del Suelo (CBMS) - 1996	15 personas	Experimental	Sí	No
Doble dependencia CONICET - Universidades	Universidad Nacional de La Plata - Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE) - 1979	30 personas	Experimental	Sí	No
	Universidad Nacional de Tucumán - Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO) - 1980	8 personas	Experimental	Sí	No
	Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja - 1998	6 personas	Experimental	Sí	No

Continúa.

Continuación.

Dependencia	Centro	RRHH dedicados a bioinsumos	Escala	Ensayo a campo	Transferencia concretada
Doble dependencia CONICET - Universidades	Universidad Nacional de Buenos Aires - Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales (INBA) - 1995	6 personas	Experimental	Sí	No
	Universidad Nacional de San Martín - Instituto Tecnológico de Chascomús (INTECH) - 1989	6 personas	Experimental	Sí	No
CONICET - Provincia	Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA) - EEA Obispo Colombes - 2012	6 personas	Experimental	Sí	Sí
Provincial	Biofábrica Misiones S.A. - 2003	10 personas	Piloto/ productiva	No	No
	Instituto de Sanidad y Calidad Agropecuaria Mendoza (ISCAMEN)- 1995	40 profesionales y mandos medios 170 operarios	Productiva (Técnica del Insecto Estéril - TIE)	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia sobre la base de información relevada en las entrevistas.

Debido a las menores capacidades relativas de escalado y formulación, gran parte de los centros presentan dificultades para poder realizar ensayos a campo y deben asociarse a empresas para poder avanzar. En este sentido, se observan algunas experiencias de transferencia exitosas derivadas de estas asociaciones centro-empresa para conducir las etapas finales de desarrollo. Tres centros (ITANOA, IMYZA y CeTBIO), dos de los cuales (ITANOA e IMYZA) no poseen capacidades propias de escalado, lograron realizar transferencias tecnológicas de sus desarrollos a empresas.

En el trabajo realizado por Starobinsky *et al.* (2021) se relevaron 55 líneas de investigación y desarrollo en distintos estados de avance, sobre diversas plataformas y para variados tipos de aplicaciones. Los estadios de avance se definen de la siguiente manera:

- Inicial: se encuentran en etapa de prueba de concepto en laboratorio o invernáculo.
- Intermedio: se ha efectuado al menos una prueba o estudio a campo.
- Desarrollado: se encuentran lo suficientemente probados como para ser transferidos a empresas o realizar en conjunto las etapas finales del desarrollo.
- Transferido: desarrollos transferidos a empresas, en el mercado o en proceso de registro.

Como se observa en la figura 13, la mayoría de los desarrollos relevados (38) se encuentran en estado inicial o intermedio, mientras que 10 están próximos a transferirse y 7 ya fueron transferidos al sector productivo o bajo producción propia en los centros. En relación con el tiempo de desarrollo de un producto, promedia entre uno y dos años a partir de organismos o agentes efectores conocidos y caracterizados, y en torno a los 10 años para nuevas investigaciones.

FIGURA 13. ESTADO DE AVANCE DE LOS 55 DESARROLLOS RELEVADOS



Fuente: Starobinsky *et al.* (2021).

Respecto de las principales plataformas o agentes efectores en los que se basan estos desarrollos, se encuentran en orden de importancia los siguientes: hongos, bacterias, artrópodos, biomoléculas efectoras, virus y por último nemátodos. Cabe destacar que en los centros entrevistados no se observaron desarrollos basados en extractos vegetales en curso.

Respecto de las aplicaciones, se encuentran desarrollos mayormente de biocontroladores (representan el 64% del total), y en menor medida de bioestimulantes (36%). En cuanto a biocontroladores, se destacan desarrollos que apuntan al biocontrol directo (bioplaguicidas) e indirecto (bioinductores de defensas vegetales), de plagas y enfermedades causadas por microorganismos, artrópodos y nemátodos. No se observaron desarrollos para el biocontrol de malezas (bioherbicidas), a diferencia de lo constatado en *startups* y en varias de las empresas entrevistadas. Dentro del segundo grupo se observan desarrollos tanto de biofertilizantes como de bioinductores de resistencia frente a estrés abiótico y otros promotores de crecimiento. Así, al contrario de lo que ocurre en el mercado, dominado por inoculantes (bioestimulantes), la mayor parte de los desarrollos en curso en el sistema científico-tecnológico apuntan a biocontroladores.

En relación con los cultivos objetivo de los desarrollos con mayor grado de avance se encuentran productos de biocontrol para los intensivos, como frutales y hortalizas, aunque también existen una serie de bioinsumos para cultivos extensivos como soja, maíz y trigo (principalmente de bioestimulantes).

A modo de síntesis del *pipeline* de investigaciones y desarrollos llevados adelante por parte de las instituciones pertenecientes al subsistema científico-tecnológico, pueden destacarse los siguientes aspectos.

Escasos desarrollos basados en extractos botánicos, algas, nemátodos y virus.

No se registraron experiencias de grupos en el segmento de bioherbicidas.

Menor orientación relativa hacia bioestimulantes y cultivos extensivos

Investigaciones básicas en proceso (tiempo promedio 10 años):

Compatibilización de bioinsumos y agroquímicos

Bioinductores (consorcio microbiano) y bioestimulantes

Hongos mitigadores de condiciones abióticas –estrés hídrico y salino–

Nanotecnología

Amplia diversidad de desarrollos en hongos, bacterias y artrópodos (con organismos conocidos, tiempo promedio de dos años).

Técnicas de producción, escalado e implementación a campo de insectos benéficos.

Ceparios de microorganismos e insectarios que nutren investigaciones actuales y futuras.

En relación con las principales debilidades o demandas relevadas por Starobinsky *et al.* (2021), se pueden identificar tres ejes:

- **Infraestructura y recursos:** capacidades de equipamiento, edilicias y de recursos humanos.
- **Transferencia de tecnología:** capacidades para completar el proceso de transferencia de los desarrollos hacia las empresas del sector.
- **Incentivos y orientación estratégica:** debilidades del sistema en general, direccionamiento y coordinación de los equipos de trabajo, y cuestiones estructurales del sistema científico nacional.

Infraestructura y recursos

Los centros en general no poseen capacidades para avanzar en las etapas de escalado y formulación final de productos. Por tal motivo, se asocian con empresas que cuentan con infraestructura para el escalado y/o el *know how* para el desarrollo de formulaciones y trabajan estas etapas en conjunto. Con respecto a este punto puede observarse dos escenarios: por un

lado, existen casos exitosos de transferencia mediante el modelo de asociación centro-empresa para llevar a cabo las etapas finales del desarrollo; pero, por otro lado, las empresas entrevistadas mencionaron que la limitación de los centros para poder completar las pruebas de concepto con algún avance a campo (lo cual es necesario para demostrar que el producto en desarrollo es realmente efectivo) resulta en un impedimento para poder tomar decisiones de inversión. En ese sentido, una mayor escala en los centros, con su consecuente avance sobre ensayos campo, podría elevar la probabilidad de lograr transferencia hacia el sector productivo.

Montar una planta piloto para escalar los desarrollos y así poder avanzar con los ensayos a campo no requiere grandes inversiones, en contraposición con lo que ocurre con otras plantas piloto, como las destinadas al desarrollo de medicamentos biotecnológicos. Para el caso de los bioinsumos basados en agentes que se multiplican en medio líquido (muchos de los microorganismos), la mayor inversión está comprendida por la adquisición de los biorreactores (cabe aclarar que se requiere contar con un biorreactor para cada producto). Asimismo, para este tipo de plantas piloto sería suficiente un espacio de aproximadamente 100 m². Por el contrario, para los bioinsumos basados en agentes que se multiplican en medio sólido (macroorganismos y algunos microorganismos), los requerimientos de espacio son mayores, y así también la inversión necesaria para montar una planta.

Además de la falta de escala, algunos centros presentan atrasos en incorporación de recursos humanos, mantenimiento del equipamiento y de las instalaciones. Estas cuestiones retrasan su tiempo de respuesta ante las demandas de las empresas, lo que dificulta, y muchas veces impide, los procesos de transferencia. Por último, las estaciones experimentales existentes tendrían su capacidad operativa saturada, por lo cual no pueden llevarse a cabo ensayos para terceros, es decir, para otros centros.

Transferencia de tecnología

En la mayoría de las experiencias relevadas, se destaca que existen diversas dificultades para transferir los desarrollos al sector productivo. A pesar del interés permanente manifestado por las empresas productoras de bioinsumos, son relativamente escasas las transferencias concretadas. Entre las principales limitaciones que enfrentan se puede mencionar que las oficinas de Vinculación Tecnológica de las Universidades o del CONICET centran sus funciones en temas administrativos y legales, pero no realizan acciones de vinculación activa. Además, presentan importantes demoras en sus actividades y el personal se muestra al máximo de su capacidad, lo que genera un desfase con las necesidades y tiempos que demandan las empresas.

Por otra parte, ni las oficinas de Vinculación Tecnológica ni ningún otro organismo de apoyo conducen estudios de mercado que orienten los esfuerzos de los grupos de investigación, por lo que los investigadores establecen sus líneas de trabajo sin contar con la información necesaria acerca de la potencialidad que tendrán sus desarrollos en el mercado. Esto genera el avance de líneas de investigación que no alcanzan inserción en el mercado por no ser viables

en términos económicos o de demanda. A su vez, esta situación es un obstáculo para los investigadores a la hora de presentar sus proyectos ante empresas, ya que afecta su capacidad de valorizar correctamente sus desarrollos.

Finalmente, para los desarrollos que cuentan con la potencialidad de derivar en un producto innovador con alcance comercial a nivel global, es relevante que los grupos de investigación puedan acceder a herramientas de protección de propiedad intelectual, mediante patentes nacionales e internacionales, tanto para proteger sus desarrollos como para incentivar la articulación con empresas. Para ello se ha destacado la necesidad de contar con financiamiento específico y asistencia especializada para su gestión.⁷⁶

Incentivos y orientación estratégica

Entre las principales debilidades para avanzar sobre las etapas de desarrollo de productos y su transferencia se destaca la dinámica y los incentivos del sistema científico-tecnológico que, a pesar de una serie de avances, aún se encuentra orientado hacia la investigación científica *vis à vis* el desarrollo de tecnologías y su transferencia. Por ejemplo, un número importante de los centros y grupos manifiestan que no cuentan con apoyo por parte del CONICET o de las universidades para llevar a cabo tareas de extensión y ensayos a campo.

Un trabajo a campo para el registro de un bioinsumo puede tomar unos tres años en promedio, y dichos esfuerzos no son valorados en el marco del sistema al mismo nivel que las publicaciones. Esto conlleva a la atomización del tiempo de los investigadores, que se encuentra dividido entre las tareas de extensión/transferencia y las actividades académicas para sostener el nivel de publicaciones exigido por el sistema, variable crítica para la obtención de financiamiento.

En cuanto a la gobernanza, se encuentra una falta de orientación estratégica para priorizar trayectorias de investigación, especialmente en los institutos que no pertenecen al INTA o que no dependen de estados provinciales. Si bien algunos centros tienden a ser más referenciados, se advierte en general falta de sinergias y no existen reuniones o actividades científico-tecnológicas de manera periódica que agrupen a todos los investigadores que trabajan en bioinsumos, ya que los congresos por lo general son organizados por áreas disciplinares.

Alternativas de protección de la propiedad intelectual para bioinsumos agrícolas

Como se describe en el trabajo de Starobinsky *et al.* (2021), en Argentina, los descubrimientos no son considerados invenciones y, por ende, no son patentables. Por lo tanto, no se puede

⁷⁶ Si bien en Argentina la Agencia de I+D+i contaba con un instrumento de Aporte No Reembolsable para la solicitud de patentes, este ha sido discontinuado y se encuentra actualmente en instancia de reformulación.

proteger a través de patentes el material biológico,⁷⁷ el genético,⁷⁸ la materia viva⁷⁹ y las sustancias⁸⁰ preexistentes en la naturaleza, ni la réplica de dichos materiales. No son patentables ni siquiera en caso que sean aislados y/o caracterizados y/o purificados. En todos los casos se considera que constituyen material existente en la naturaleza y, por ende, se trata de descubrimientos y no de invenciones. Por este motivo, la mayoría de los bioinsumos no pueden ser patentados, puesto que se basan en organismos (micro o macro) preexistentes en la naturaleza o compuestos puros o extractos derivados de ellos. Como excepción a esta regla, podemos mencionar las biomoléculas efectoras producidas por clonado y expresión exógena, cuyas secuencias de ADN complementario (ADNc)⁸¹, utilizadas en la técnica de clonado, podrían ser susceptibles de protección por patentes dado que no existen en la naturaleza.

Ahora bien, el material biológico, el material genético, la materia viva y las sustancias modificadas no preexistentes en la naturaleza pueden ser susceptibles de protección por patentes siempre y cuando no encuadren en alguna otra exclusión de patentabilidad (como es el caso de las plantas y animales superiores, que no son susceptibles de ser patentados aun modificados). En ese sentido, los microorganismos⁸² modificados genéticamente pueden ser protegidos a través de patentes; sin embargo, su uso a campo se encuentra aún limitado. Los bioinsumos que se basan en microorganismos en general lo hacen a través de microorganismos naturales o preexistentes en la naturaleza. Lo mismo ocurre con los virus, los cuales no son considerados organismos vivos, sino sustancias.

Por otro lado, las plantas y los animales⁸³ en Argentina tampoco son factibles de ser protegidos por patentes, ya sea que se trate de organismos preexistentes en la naturaleza u organismos modificados por el ser humano (esto incluye a los artrópodos y nemátodos utilizados para control biológico). Incluso no son patentables las partes de una planta, modificadas o no, que

⁷⁷ Cualquier parte viva o muerta proveniente de un organismo, y cualquier fluido que sea consecuencia de secreciones celulares de organismos.

⁷⁸ Todas las secuencias de ácidos nucleicos (ADN y ARN).

⁷⁹ Célula o conjunto de células libres u organizadas que tienen capacidad de metabolizar y de crecer (aumento de la masa, replicación, diferenciación, excitabilidad, etcétera).

⁸⁰ Conjuntos de moléculas que forman un sistema homogéneo y pueden ser simples o compuestas, inorgánicas u orgánicas.

⁸¹ El ADN complementario es una molécula de ADN de doble cadena, en la que una de sus hebras constituye una secuencia totalmente complementaria al ARN mensajero a partir del cual se ha sintetizado. Suele utilizarse para la clonación de genes propios de células eucariotas en células procariontas, debido a que, dada la naturaleza de su síntesis, carece de intrones. Los ADNc serán patentables únicamente cuando no sean iguales a las moléculas de ADN que sirvieron de molde para la síntesis del ARN que produjo el ADNc. Además, el simple secuenciamiento de ADNc sin indicación de su función no cumple con el requisito de aplicabilidad industrial.

⁸² Bacterias, arqueas, hongos y algas unicelulares no clasificadas en el reino de las plantas y protozoos.

⁸³ Los animales se engloban dentro del grupo taxonómico de los metazoos, que incluyen varios grupos de animales tales como los poríferos, cnidarios, platelmintos (gusanos planos), anélidos (gusanos segmentados), nemátodos (gusanos redondos), artrópodos (crustáceos, insectos, arácnidos), equinodermos y cordados (papas de mar, lancetas y vertebrados dentro de los cuales están los peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos).

puedan dar lugar a un individuo completo (como brotes, semillas, tallos, células, frutos, flores, etcétera)⁸⁴, ni las partes de un animal, modificadas o no, como órganos, tejidos, células, componentes celulares tales como las organelas, membranas o moléculas de ADN.

Cabe mencionar que, en todos los casos, existe la posibilidad de proteger mediante patentes las formulaciones y los procesos productivos de obtención de los bioinsumos, siempre que cumplan con los requisitos de novedad inventiva necesarios. Este tipo de protección no es muy común, ya que generalmente no se utilizan formulados ni procesos que cumplan con la altura inventiva exigida. Además, según la información relevada, se trata de protecciones “débiles”, es decir, que no resultarían eficientes para impedir la copia del producto.

En otras partes del mundo, las posibilidades de patentabilidad de los seres vivos y sus derivados son similares al caso argentino.

Tecnología de los alimentos

Los centros que realizan I+D en el campo de los ingredientes y aditivos alimentarios, en la gran mayoría de los casos, también realizan actividades de I+D en el campo de alimentos innovadores, como los funcionales y los formulados para disminuir su concentración de nutrientes críticos. Por este motivo, resultó conveniente unificar el mapeo de capacidades de I+D para los sectores de “aditivos e ingredientes funcionales biológicos” y “alimentos innovadores”. Este conjunto de capacidades, de aquí en adelante se engloba bajo el concepto de Tecnología de los Alimentos.

Revisando hacia el interior de las principales universidades e institutos nacionales, así como del CONICET, se encontraron 20 centros que desarrollan actividades de I+D en Tecnología de los Alimentos. Se diseñó y se envió una encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en Tecnología de los Alimentos a todos los centros mapeados, con el objetivo de conocer el *pipeline* de desarrollos con los que cuentan estos centros, con foco en los segmentos de interés (aditivos e ingredientes funcionales de origen biológico y alimentos innovadores). En el cuadro 10, se listan los grupos de trabajo respondientes.⁸⁵

En los grupos de trabajo encuestados, trabajan un total aproximado de 250 personas (10 personas en promedio por grupo); y sus actividades se focalizan en el desarrollo de alimentos innovadores, en la reformulación de alimentos, en el desarrollo de aditivos e ingredientes

⁸⁴ Respecto a las plantas, solo podrían ser patentables partes modificadas que no puedan dar lugar a un individuo completo (como, por ejemplo, un extracto proveniente de una planta modificada). Las variedades vegetales son protegibles por un sistema *sui generis* que es el sistema de derecho de obtentor.

⁸⁵ Para optimizar los resultados de la encuesta, se solicitó completar un formulario por cada grupo de trabajo presente en la institución que realice actividades de desarrollo en Tecnología de los Alimentos. Entendiendo por “grupo de trabajo” a los laboratorios, departamentos, cátedras, centros y todo tipo de agrupación donde sus integrantes trabajan en torno a una misma temática.

biológicos, así como en la conducción de ensayos y asistencia técnica para procesos de *scaling up*. Cabe destacar que, aproximadamente la mitad de los grupos respondientes, realiza actividades de transferencia hacia el sector productivo.

CUADRO 10. GRUPOS DE TRABAJO RESPONDIENTES DE LA ENCUESTA DE RELEVAMIENTO DE CAPACIDADES DE DESARROLLO EN TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Nombre de la institución	# de grupos de trabajo respondientes
Centro de Referencia para Lactobacilos (CERELA) - CONICET	1
Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria (CIATI)	1
Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA) - CONICET-UNLP-CIC	1
Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales (CINDEFI) - CONICET- UNLP	1
Escuela Superior Integral de Lechería	1
Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB) - CONICET	1
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos - CONICET-UNER	1
Instituto de Lactología Industrial (INLAIN) - CONICET-UNL	2
Instituto de Procesos Biotecnológicos y Químicos Rosario (IPROBYQ) - CONICET-UNR	2
Instituto de Tecnología de Alimentos - Facultad de Ingeniería Química - UNL	1
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)	1
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)	1
Instituto Superior de Investigación, Desarrollo y Servicios en Alimentos (ISIDSA) - UNC y ICYTAC (CONICET-UNC)	1
Laboratorio de Investigación en Productos Agroindustriales (LIPA) - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP	2
Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos (PROIMI) - CONICET	4
Universidad Nacional de Luján	3
Universidad Tecnológica Nacional	1
Total	25

Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Profundizando sobre los tipos de desarrollos en los que trabajan los grupos encuestados, se encontró que predominan la reformulación de alimentos (14 grupos), el desarrollo de aditivos y/o ingredientes derivados de frutos (10 grupos), el desarrollo de alimentos funcionales (9 grupos) y el desarrollo de otros alimentos innovadores (9 grupos). Acorde con la tendencia general del mercado, volcada hacia la naturalización de los aditivos e ingredientes, casi la totalidad de los centros que desarrollan aditivos o ingredientes funcionales se focalizan en aquellos de origen biológico, mientras que solo dos de los grupos incluyen entre sus actividades el desarrollo de aditivos de origen químico.

Al analizar las capacidades de desarrollo de aditivos e ingredientes funcionales de origen biológico encontramos los siguiente:

- En cuanto a su origen: la mayoría de los tipos de aditivos identificados por su potencial impacto en la sustitución de importaciones (referenciados por expertos y mencionados previamente es esta sección), se encuentran cubiertos por más de un grupo. Este es el caso de los derivados de soja y otras legumbres, los derivados de frutos, los cultivos de microorganismos, las proteínas alternativas y los desarrollos derivados de la nanotecnología. Los derivados de maíz y los del grupo de la harina fermentada o masa madre deshidratada se encuentran cubiertos por al menos un grupo. Solo aquellos productos basados en extractos de levaduras no se encuentran cubiertos por ningún grupo.
- En cuanto a su funcionalidad: casi la totalidad de los tipos de aditivos cuentan con grupos que trabajan en el desarrollo de sus versiones biológicas (antioxidantes, emulsionantes, gelificantes, espesantes biológicos, enzimas, antiaglomerantes, recubrimientos naturales biológicos, edulcorantes, conservantes y colorantes), a excepción de los saborizantes biológicos que no se encuentran en las carteras de desarrollo de los grupos encuestados.

Respecto a los segmentos de aplicación de los desarrollos, predominan los destinados a las industrias láctea y de galletitas, productos de panadería y pastas. Por el contrario, se observa una escasez de desarrollos para las industrias de la yerba mate, té y café; azúcar, productos de confitería y chocolate; conservas de pescados y snacks.

Para este subsistema, la escala no sería un factor determinante que estuviese impidiendo el avance de los desarrollos y su transferencia hacia el sector productivo, salvo en algunos casos puntuales.

Al analizar el grado de vinculación con el sector productivo, se encontró que, en conjunto, los 25 grupos de trabajo se han vinculado con 152 empresas. Sin embargo, una elevada proporción de los grupos no se ha vinculado con ninguna empresa (11 grupos). En el otro extremo, 7 grupos se vincularon con 10 o más empresas.

Dentro de las principales empresas con las que se vincularon estos grupos de trabajo, se encuentran las siguientes: Confitel SA; Adama SA; Diagramma SA; Cordis SA; Laboratorios Casasco; Laboratorio Litoral SA.; SEMINIS; Molinos Marimbo Saic; ARCOR; CONO SA; Alpha Emulsionantes; Molino Boero Romano; Molino José Minetti; ValorA (texturizados); Puratos

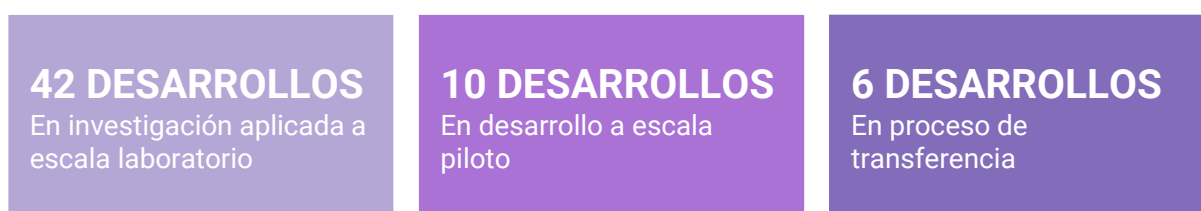
Argentina SA; Panificadora del Pilar SA; La Troja; Ledevit; Lipotech; Inteal; Danone Argentina; Molinos Agro; Milkaut; Tomorrow Foods; Saporiti; Harmony y Paramerica SA.

Como puede observarse del listado anterior, los centros se vinculan con grandes empresas y pymes de alimentos, *startups* de alimentos innovadores, empresas de aditivos e ingredientes funcionales, semilleras y una farmacéutica que está iniciando una sección de suplementos alimenticios de origen biológico.

Los 25 grupos de trabajo encuestados se encuentran trabajando en un total de 61 desarrollos (2,44 desarrollos en promedio por grupo). Cuando solicitamos información acerca de sus principales desarrollos (los más destacados y/o avanzados), se referenciaron un total de 58 desarrollos, es decir, casi la totalidad de sus desarrollos en cartera.

Como se observa en la figura 14, gran parte de estos desarrollos (42 desarrollos), se encuentran en etapas iniciales de investigación a escala laboratorio, mientras que 10 se encuentran en desarrollo a escala piloto y 6 en proceso de transferencia.

FIGURA 14. ESTADO DE AVANCE DE LOS DESARROLLOS RELEVADOS



Fuente: encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en Tecnología de los Alimentos, realizada en el marco de la presente Misión.

Cabe destacar que una fracción importante de estos desarrollos (36 desarrollos) tienen la potencialidad de disminuir la utilización y/o el consumo de uno o más aditivos químicos y/o ingredientes críticos (sodio, azúcar y/o grasas). En el cuadro 11 se listan los insumos o ingredientes críticos cuyo consumo podría disminuirse a partir de la implementación de los desarrollos relevados.

CUADRO 11. GRUPOS DE TRABAJO RESPONDIENTES DE LA ENCUESTA DE RELEVAMIENTO DE CAPACIDADES DE DESARROLLO EN TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Aditivos o ingredientes cuyo consumo podría reducirse	Cantidad de desarrollos que presentan este potencial impacto
Aditivos químicos	19
Azúcar	12
Grasas totales	7

Continúa.

Continuación.

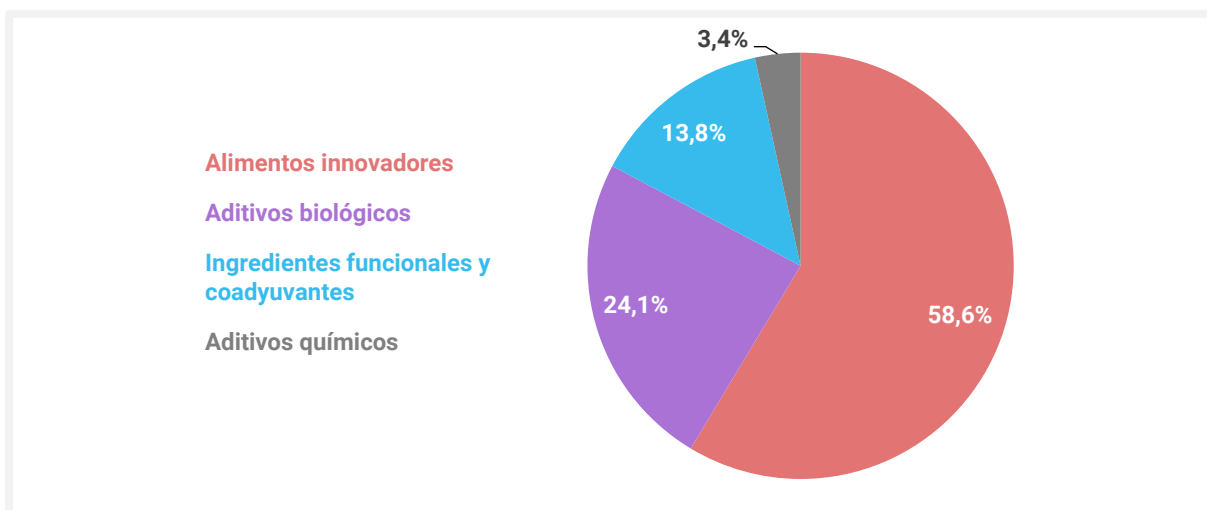
Aditivos o ingredientes cuyo consumo podría reducirse	Cantidad de desarrollos que presentan este potencial impacto
Grasas saturadas	6
Grasas trans	2
Sodio	6

Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Entre los principales insumos químicos cuyo consumo podría disminuirse a partir de la difusión en el mercado de estos desarrollos, encontramos: antioxidantes, aromatizantes lácteos, conservantes, complejos vitamínicos, ftalatos (plastificantes que pueden aparecer como contaminantes en el proceso de elaboración de vinos, sidras y leche), agroquímicos de síntesis, almidones modificados químicamente y emulsionantes.

En la cartera de desarrollos predominan los alimentos innovadores y reformulados (59%), seguidos de aditivos biológicos (24%), ingredientes funcionales y coadyuvantes (14%) y finalmente, aditivos químicos (3%) (ver gráfico 35).

GRÁFICO 35. TIPOS DE DESARROLLOS EN LA CARTERA DE LOS GRUPOS ENCUESTADOS



Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo de Tecnologías 4.0 para el Agro, realizada en el marco de esta Misión.

Al consultar por el mercado potencial de los desarrollos, teniendo en cuenta aquellos mercados donde el desarrollo tenga potencialmente posibilidades de competir, encontramos que la mayoría de los desarrollos tienen un alcance nacional (57%), seguidos por regional (22%) y global (19%).

A partir del relevamiento realizado podemos concluir que el país cuenta con las capacidades tecnológicas necesarias para acompañar a la industria alimentaria en la transición hacia una producción de alimentos procesados más saludables, a partir del desarrollo de innovaciones en el campo de los alimentos, aditivos e ingredientes funcionales de origen biológico, así como a través de la prestación de servicios tecnológicos, la conducción de ensayos y la asistencia técnica para el escalado de procesos y el rotulado nutricional.

Cabe destacar que, en concordancia con los objetivos del presente proyecto, los grupos encuestados se encuentran desarrollando alimentos, aditivos e ingredientes naturales, que apuntan a reducir el consumo de aditivos químicos e ingredientes críticos. Sin embargo, algunos de los segmentos referenciados por expertos en la materia por su gran potencial para la sustitución de importaciones, solo se encuentran cubiertos por uno o por ningún grupo de los encuestados. Estos segmentos, cuyo desarrollo se propone incentivar, son los aditivos y/o ingredientes del grupo de la harina fermentada o masa madre deshidratada; los aditivos y/o ingredientes derivados del maíz y los aditivos y/o ingredientes basados en extractos de levaduras. Del mismo modo, no se relevaron grupos que se encuentren trabajando en el desarrollo de saborizantes biológicos.

Una limitante que fue relevada en el trabajo de Brizuela *et al.* (2022) es la escasez de personal. Desde los centros que dependen del CONICET destacan especialmente la falta de personal técnico o CPA⁸⁶. Esto muchas veces conlleva a que los centros no puedan avanzar con algunas de las solicitudes de desarrollos que provienen desde el sector productivo.

A diferencia de los otros subsistemas incluidos en la Misión, en este se observa una predominancia de las investigaciones aplicadas y los desarrollos transferibles por sobre las investigaciones básicas. La baja tasa de solicitud de protección de la propiedad intelectual (solo 7 grupos de los 25 encuestados solicitaron algún tipo de protección de propiedad intelectual) en este caso no parecería estar ligada a falta de aplicabilidad de los desarrollos, sino quizás a la falta de altura inventiva y/o a los acuerdos de codesarrollo con las empresas, quienes pueden optar por el secreto industrial.

Por último, los distintos centros en general trabajan de forma aislada del resto. La gama de servicios y temáticas abarcadas por todos los centros de investigación y desarrollo en alimentos a lo largo del país es tan amplia y variada que a veces resulta difícil para las pymes encontrar las capacidades específicas que requieren para las distintas etapas de sus desarrollos. Algunas pymes no aprovechan las capacidades de los centros que se encuentran próximos a sus instalaciones por desconocimiento. En este marco, contar con una base de datos que centralice la oferta tecnológica de todos los centros que trabajan en alimentos, facilitaría el acceso a sus servicios por parte de las pymes (Brizuela *et al.*, 2022).

⁸⁶ Carrera del Personal de Apoyo a la Investigación y Desarrollo (CPA)

Biotecnología vegetal

Con la finalidad de mapear los actores relevantes en el campo de investigación y desarrollo en Biotecnología Vegetal, se realizó una búsqueda hacia el interior de las principales universidades nacionales, institutos tecnológicos y el CONICET. A partir de este mapeo se encontraron 13 centros, integrados por unos 50 grupos de trabajo.

A todos estos grupos se les envió una encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Vegetal y se obtuvieron un total de 29 respuestas, correspondientes a 29 grupos de trabajo pertenecientes a los 13 centros relevados. En el cuadro 12 se listan los centros respondientes.

CUADRO 12. RESPONDIENTES DE LA ENCUESTA DE RELEVAMIENTO DE CAPACIDADES DE DESARROLLO EN EL CAMPO DE LA BIOTECNOLOGÍA VEGETAL, REALIZADA EN EL MARCO DE LA PRESENTE MISIÓN

Nombre de la institución	# de grupos de trabajo respondientes
Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos (CEFOBI) - CONICET-UNR	6
Chacra Experimental Agrícola Santa Rosa	1
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC)	1
Instituto de Agrobiotecnología del Litoral (IAL) - CONICET-UNL	6
Instituto de Agrobiotecnología y Biología Molecular (IABIMO) - UE INTA-CONICET	2
Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR) - CONICET-UNR	2
Instituto de Biotecnología y Biología Molecular (IBBM) - CONICET-UNLP	1
Instituto de Ciencias Agropecuarias - CONICET-UNL	1
Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICIAGRO Litoral) - CONICET-UNL	2
Instituto de Inv. en Ingeniería Genética y Biología Molecular "Dr. Héctor N. Torres" (INGEBI) - CONICET	2
Instituto De Investigación Biotecnología - INTA	3
Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario (IICAR) - CONICET-UNR	1
Laboratorio de Agrobiotecnología-DFBMC-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales- UBA-/ IBBEA-CONICET-UBA	1
TOTAL	29

Fuente: encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Vegetal, realizada en el marco de la presente Misión.

Casi todos los grupos encuestados realizan actividades de investigación a escala laboratorio. Aproximadamente la mitad de los grupos alcanzan etapas de desarrollo a escala piloto (invernáculo o sala de plantas), y poco menos de la mitad (12 grupos) realizan pruebas o ensayos a campo y actividades de transferencia y/o extensión.

Los grupos entrevistados dominan todos los tipos principales de tecnologías de la Biotecnología Vegetal. Entre las tecnologías más utilizadas, se encuentran la transgénesis; la modificación de la expresión génica; la bioinformática y la genómica, seguidos por micropropagación in vitro; silenciamiento génico postranscripcional, edición génica; marcadores moleculares y proteómica.

Al analizar los tipos de desarrollos en los que trabajan los grupos encuestados, encontramos que predominan los grupos que desarrollan plantas resistentes a enfermedades y/o plagas; plantas tolerantes a condiciones ambientales adversas (como salinidad, heladas, sequía, etc.); plantas con características morfológicas mejoradas (como tamaño del grano, altura de la planta, etc.) y plantas mejoradas para la generación de alimentos más saludables y seguros para humanos.

Al analizar la vinculación con empresas, ya sea para la prestación de servicios, asistencia técnica o por actividades de I+D+T, encontramos un menor grado de interacción en relación con los otros sectores de la misión. En total, los 29 grupos de trabajo se vincularon con unas 48 empresas. Entre las principales empresas con las que se vincularon estos grupos se destaca una fuerte presencia de la industria azucarera (con empresas como Ledesma, Ingenio Río Grande, Los Balcanes y Seaboard), empresas de energía (como Y-Tec), empresas biotecnológicas (como Bioceres, INDEAR, APOLO Biotech, Biosidus, Stämm e INBIOAR), empresas de insumos y servicios agropecuarios (como NOVA, Total Biotecnología de Brasil, Agrosericios Humboldt, Tecnoplant SA, BASF, PBL Productos Biológicos, Oscar PEMAN semillas, Advanta Semillas, Nidera/Syngenta) y otras como Lessaffre y la Asociación de Cooperativas Argentinas.

Los 29 grupos de trabajo encuestados se encuentran trabajando en un total de 83 desarrollos (2.9 desarrollos por grupo en promedio). Cuando se solicitó información acerca de sus desarrollos principales (más relevantes y/o avanzados), los grupos referenciaron información sobre 54 desarrollos.

Como se puede observar en la figura 15, los desarrollos principales de los grupos respondientes, se encuentran en su mayoría en estadio de investigación a escala laboratorio. Sin embargo, una gran proporción (13 desarrollos) se encuentran en desarrollo a campo, 3 en proceso de transferencia y 4 lograron ser transferidos, uno de los cuales se encuentra en el mercado.

Dentro de estos 54 desarrollos principales, predominan los desarrollos de plantas resistentes a enfermedades y/o plagas; plantas resistentes a condiciones ambientales adversas; plantas mejoradas para la generación de alimentos más saludables y seguros para los humanos y las plantas con características morfológicas mejoradas. En el cuadro 13 se listan todos los tipos de desarrollos encontrados dentro de los 54 desarrollos más relevantes.

FIGURA 15. ESTADO DE AVANCE DE LOS PRINCIPALES DESARROLLOS DE LOS GRUPOS ENCUESTADOS



Fuente: encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la biotecnología vegetal, realizada en el marco de la presente Misión.

CUADRO 13. DESARROLLOS PRINCIPALES DE LOS GRUPOS RESPONDIENTES

Nombre de la institución	# de grupos de trabajo respondientes
Planta resistente a enfermedades y/o plagas	17
Planta resistente a condiciones ambientales adversas (salinidad, heladas, sequía, etc.)	13
Planta mejorada para la generación de alimentos más saludables y seguros para humanos	6
Planta con características morfológicas mejoradas (tamaño del grano, altura de la planta, etc.)	4
Planta mejorada para aplicaciones industriales (granos con más aceite o con diferente composición de ácidos grasos, etc.)	3
Planta resistente a insumos agropecuarios (herbicidas, insecticidas, etc.)	3
Micropropagación de especies de interés	2
Planta para la producción de compuestos de interés industrial (anticuerpos, vacunas, enzimas, etc.)	2
Planta con ciclo de vida más largo	1
Planta para la generación de alimentos mejorados para animales	1
Planta saneada obtenida mediante cultivo de tejido in vitro	1
Otro	1
TOTAL	54

Fuente: encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Vegetal, realizada en el marco de la presente Misión.

Al mirar el alcance potencial de estos desarrollos, es decir, los mercados donde los desarrollos tendrían potencialmente posibilidades de competir, se encuentra un alto nivel de posibilidades de globalización. La mayoría de los desarrollos apuntan a un mercado global, seguidos de aquellos con potencialidad a nivel nacional y en la región, con una menor participación de desarrollos con aplicación subnacional.

Cabe destacar que la mitad de estos desarrollos (27 desarrollos) presentan la posibilidad de disminuir la utilización de insumos químicos para el agro, como pesticidas y fertilizantes. En el cuadro 14 se listan los insumos químicos cuyo consumo podría disminuirse mediante la difusión en el mercado de los desarrollos relevados.

CUADRO 14. INSUMOS QUÍMICOS CUYO CONSUMO PODRÍA DISMINUIRSE MEDIANTE LA DIFUSIÓN DE LOS PRINCIPALES DESARROLLOS RELEVADOS

Insumo químico que se podría reducir	Cantidad de desarrollos
Fungicidas	8
Insecticidas	7
Herbicidas	7
Pesticidas en general	6
Fertilizantes químicos	4
Combustible	1
Productos químicos empleados en la producción de semillas como desecantes, aglutinantes y otros	1

Fuente: encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Vegetal, realizada en el marco de la presente Misión.

Según el relevamiento realizado, se puede concluir que existen en el país amplias capacidades para la investigación y el desarrollo en el campo de la Biotecnología Vegetal. Diversos centros conformados por múltiples equipos de trabajo, emplean para sus desarrollos todos los tipos principales de tecnologías disponibles en sus campos de acción y trabajan en el desarrollo de soluciones que apuntan hacia una producción agroalimentaria más sostenible y saludable, específicamente mediante la mejora de las características agronómicas de los cultivos, así como sus propiedades nutricionales y su resistencia ante plagas, enfermedades y estreses abióticos, en concordancia con el objetivo de reducir la utilización de agroquímicos. Sin embargo, se observa un bajo nivel de vinculación con el sector productivo, y una baja tasa de transferencia de tecnología o *spin off*, lo cual podría estar asociado a las complejidades del marco regulatorio para este tipo de productos y/o al esquema de incentivos actual del sistema científico-tecnológico.

Semejante a lo que ocurre en los sectores previamente descritos, la mitad de los grupos de trabajo encuestados no ha intentado registrar derechos de propiedad intelectual, lo que indicaría

que existe una elevada proporción de investigaciones que no alcanzan el grado de desarrollo necesario para valorizarse mediante la protección de la propiedad intelectual. Como se describió en la sección de Bioinsumos Agrícolas, en nuestro país, las plantas y animales superiores, no son susceptibles de ser patentados aún cuando se encuentran modificados genéticamente, limitándose así el número de desarrollos factibles de ser protegidos. Además, este subsistema no queda exento de la limitante transversal del sistema científico-tecnológico previamente mencionada: la evaluación del desempeño científico basada en parámetros bibliométricos tradicionales. Al respecto, los expertos entrevistados coinciden en que sería conveniente que existieran incentivos a nivel de post doctorado para generar una mayor motivación hacia la investigación aplicada.

Por su parte, más de la mitad de los encuestados que sí han transitado el proceso de solicitud de protección de la propiedad intelectual, expresan que se han enfrentado con diversos tipos de obstáculos, asociados tanto a vacíos legales, como a falta de claridad del organismo incumbente y a otros factores.

Tal como lo que acontece en los sectores previamente analizados, solo una pequeña fracción de los grupos encuestados declara haber transitado el circuito administrativo necesario para obtener el registro comercial de un producto (8 grupos). Casi todos ellos expresaron que se enfrentaron con diversas dificultades en el proceso.

Nutrición, sanidad y genética animal

Dado que los centros que realizan actividades de investigación y desarrollo en los campos de sanidad y nutrición animal, en muchos casos también realizan actividades de investigación en el campo de genética y reproducción animal, el relevamiento de todos estos campos se llevó a cabo de manera unificada. Para ello, se realizó una búsqueda de los centros que realizan investigación aplicada para el desarrollo de productos o servicios de nutrición, sanidad, genética y/o reproducción animal, dentro de las principales universidades e institutos nacionales.

Dicha búsqueda permitió mapear un total de 27 centros, concentrados principalmente en la provincia de Buenos Aires (16 centros), seguido por Ciudad Autónoma de Buenos Aires (5 centros), Santa Fe (4 centros) y Tucumán (2 centros). Según el mapeo realizado, predominan los grupos dedicados principalmente a la investigación y desarrollo en el campo de salud animal, seguidos por genética y reproducción. El campo de la nutrición animal tiene la menor participación, con solo 5 de los 27 grupos relevados.

Con el objetivo de indagar acerca de las capacidades de desarrollo, así como de los principales desarrollos en curso, se diseñó y se envió una encuesta a todos los centros mapeados que trabajan en Biotecnología aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal. Las capacidades de desarrollos en el campo de insumos biológicos para la Nutrición Animal no se relevaron mediante dicha encuesta, dado que este campo se encuentra cubierto por la encuesta de Bioinsumos Agropecuarios realizada por CABUA a mediados de 2022.

La encuesta Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal, fue respondida por un total de 21 grupos de trabajo, pertenecientes a 14 centros (cuadro 15).⁸⁷

CUADRO 15. GRUPOS DE TRABAJO RESPONDIENTES DE LA ENCUESTA DE RELEVAMIENTO DE CAPACIDADES DE DESARROLLO EN EL CAMPO DE LA BIOTECNOLOGÍA APLICADA A SALUD, GENÉTICA Y REPRODUCCIÓN ANIMAL

Nombre de la Institución o centro	# de grupos de trabajo respondientes
Biotecnofe SA	1
Cátedra de Inmunología - Facultades de Ciencias Veterinarias - UBA	1
Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN) - Facultad de Ciencias Veterinarias - UNCPBA	2
Facultad de Agronomía - UBA	1
Facultad de Ciencias Veterinarias - UNLP	1
Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (IIBio) - UNSAM-CONICET	1
Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO) - UNT-CONICET	1
Instituto de Agrobiotecnología y Biología Molecular (IABIMO) - INTA-CONICET	1
Instituto de Ciencias Veterinarias del Litoral (ICIVET-Litoral) - UNL-CONICET	1
Instituto de Investigación Biotecnología - INTA	4
Instituto de Investigación Genética - INTA	1
Instituto de Investigación Virología - INTA	1
Instituto de Investigación y Tecnología en Reproducción Animal - UBA	1
Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA) - UBA-CONICET	4
TOTAL	21

Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal, realizada en el marco de la presente Misión.

⁸⁷ Para optimizar los resultados de la encuesta, se solicitó completar un formulario por cada grupo de trabajo presente en la institución que realice actividades afines a la investigación y desarrollo en el campo de la Biotecnología Aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal. Entendiendo por "grupo de trabajo" a los laboratorios, departamentos, cátedras, centros y todo tipo de agrupación donde sus integrantes trabajan en torno a una misma temática.

Los tipos de tecnologías más empleados por estos grupos abarcan las Técnicas moleculares para el diagnóstico y/o identificación de genes de resistencia o genes asociados a enfermedades y la Producción de proteínas recombinantes; seguidos por la Secuenciación génica y/o el uso de marcadores moleculares y la Bioinformática. Por el contrario, no se relevaron grupos que desarrollen técnicas de control de vectores de enfermedades (como la técnica del insecto estéril, o TIE) ni especies vegetales modificadas genéticamente para nutrición animal.

Los centros respondientes demuestran un buen nivel de vinculación con el sector productivo. En su conjunto, los grupos relevados, se han vinculado con 127 empresas, ya sea para la prestación de servicios tecnológicos, asistencia técnica o transferencia de tecnología. Entre las principales empresas con las que se vincularon los centros, encontramos empresas de base tecnológica (como Neokit SAS); empresas biotecnológicas (como Invitrogen Thermofisher y Cellargen Biotech SRL); empresas de reproducción y genética animal (como CrestView GENETICS ARGENTINA S.R.L., ABS, Cabaña El Rocío y Las Lilas SA); empresas de productos veterinarios (como Zoovet - Productos Veterinarios SA, Laboratorios Inmuner SA, BIOTANDIL SRL, Biogénesis-Bagó, CDV, Bedson y OVER); empresas farmacéuticas y biofarmacéuticas (como Laboratorios Cassara, Sinergium Biotech, INMUNOVA y Biosidus); productores agropecuarios y asociaciones (como La Dolfina SA, Asociación de Criadores de Brangus, Asoc. Braford Argentina, Asociación de Brahman de Argentina y Limousin en Argentina, Agoindustria Montechiari); y otras instituciones como El Alpino y la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA).

La mayoría de los centros respondientes (71%) trabajan solo a escala laboratorio, ya que carecen de plantas piloto y/o productivas. Cuando se consultó a los 15 centros cuya máxima escala es la de laboratorio si la imposibilidad de trabajar a escala piloto en su institución, representa una limitante para sus actividades de desarrollo y transferencia, casi por unanimidad respondieron positivamente. Ocho de estos centros expresaron que en muchos casos los desarrollos no se pueden culminar por la falta de una planta piloto y cinco de estos respondieron que, si bien los desarrollos se pueden culminar, muchas veces se imposibilitan las transferencias. Según estos resultados, se puede concluir que, en este subsistema de investigación y desarrollo, la escala es un factor determinante para la difusión de las tecnologías hacia el sector productivo. Cabe destacar que los centros que poseen plantas piloto y/o productivas, manifiestan que las capacidades de las mismas resultan insuficientes, en algunos casos, y acordes en otros, con las actividades de desarrollo internas, no encontrándose capacidad ociosa disponible.

Respecto a la aplicación de los desarrollos, predominan los grupos orientados a I+D para bovinos, porcinos, ovinos y aves. En menor medida, algunos grupos se dedican a líneas de I+D para caprinos, camélidos, equinos y pequeños animales.

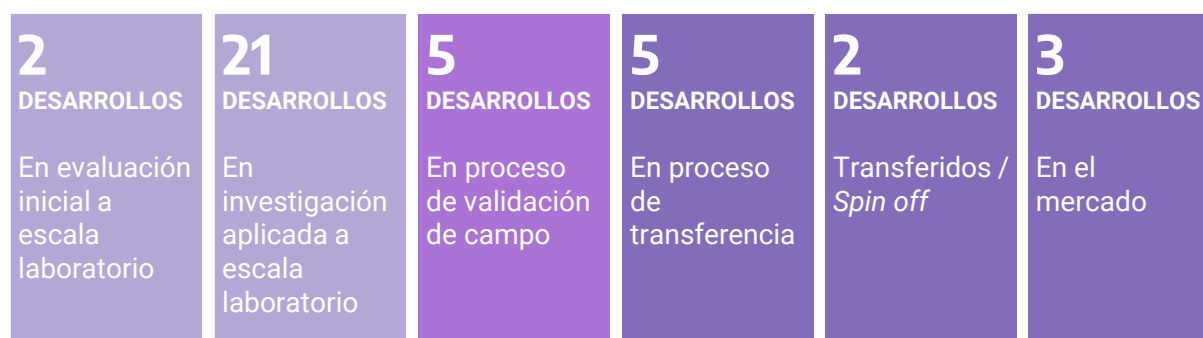
Los centros respondientes se encuentran trabajando en aproximadamente 69 desarrollos (3,3 desarrollos en promedio por grupo). En esta cartera de desarrollos encontramos principalmente, servicios (serológicos o genéticos) para el diagnóstico de enfermedades; servicios genéticos para la identificación, mejora o trazabilidad de individuos o poblaciones;

servicios de reproducción asistida; productos y/o kits para el diagnóstico de enfermedades y vacunas recombinantes. En menor medida, medicamentos de base biotecnológica para animales (recombinantes), vacunas tradicionales y medicamentos de base biológica (extractivos o fermentativos tradicionales). Ninguno de los grupos respondientes se dedica al desarrollo de medicamentos de base química para animales ni al desarrollo de soluciones para el control de vectores de enfermedades infecciosas.

Al solicitarles información sobre sus principales desarrollos (tanto en curso como finalizados), los grupos encuestados referenciaron un total de 38 desarrollos. Como puede observarse en la figura 16, la mayoría de estos desarrollos (23 desarrollos) se encuentran en los estadios más iniciales de investigación, a escala de laboratorio. Una fracción importante (10 desarrollos) ha superado la instancia de laboratorio y se encuentran en proceso de validación a campo o en proceso de transferencia, mientras que 5 desarrollos han logrado ser transferidos o materializados mediante *spin off*, 3 de los cuales ya se encuentran en el mercado.

Dentro de los desarrollos principales, predominan los Servicios genéticos para la identificación, mejora o trazabilidad de individuos o poblaciones (27%), seguidos por Medicamentos de base biotecnológica (recombinantes), Servicios de reproducción asistida, y Vacunas recombinantes, cada uno con el 16%. Finalmente, encontramos los productos y servicios para el diagnóstico de enfermedades, con el 11% cada uno (ver gráfico 36).

FIGURA 16. ESTADO DE AVANCE DE LOS PRINCIPALES DESARROLLOS RELEVADOS

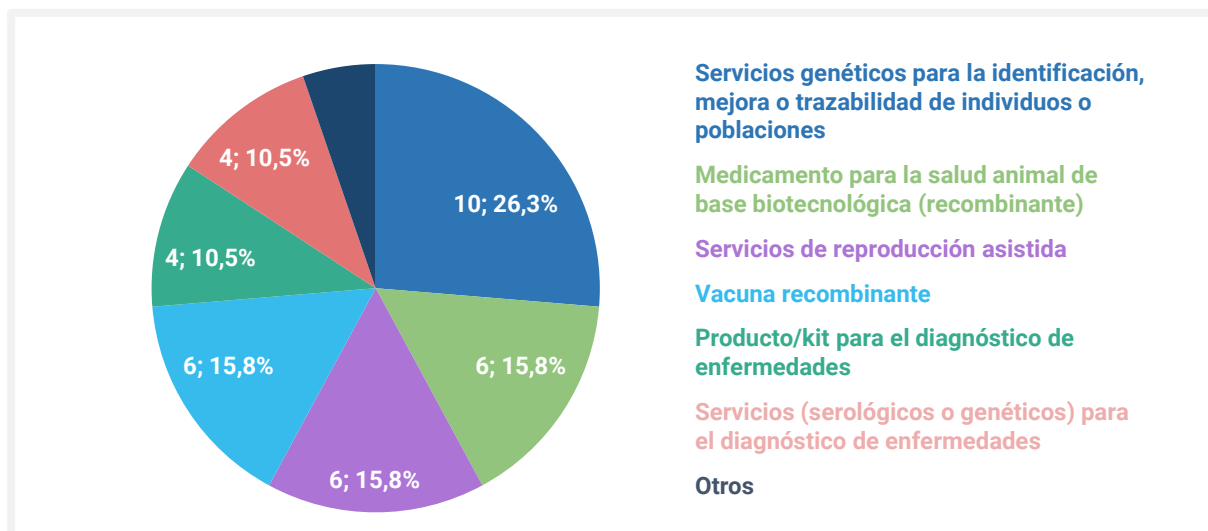


Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal, realizada en el marco de la presente Misión.

Estos desarrollos poseen un amplio potencial de globalización. Ante la consulta acerca del potencial mercado donde los desarrollos tienen potencialmente posibilidades de competir, para la mayoría de los mismos se indicó un alcance global o regional.

En cuanto a la posibilidad de reducir el consumo de insumos químicos, se encontró que 13 de los desarrollos principales (un 34%) poseen la potencialidad de reducir la utilización de antibióticos (5 desarrollos); drogas antiparasitarias (4 desarrollos); estrógenos (2 desarrollos); insumos utilizados para aumentar las tasas de fertilidad en animales (1 desarrollo) o reactivos e insumos para intradermorreacción (1 desarrollo).

GRÁFICO 36. TIPOS DE DESARROLLOS PRINCIPALES EN LA CARTERA DE LOS CENTROS ENCUESTADOS



Fuente: Encuesta de Relevamiento de Capacidades de Desarrollo en el campo de la Biotecnología Aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal, realizada en el marco de la presente Misión.

Cuando los grupos fueron consultados acerca de los segmentos de mercado donde Argentina tendría mayores posibilidades de insertarse, los más elegidos fueron los productos y/o kits para el diagnóstico de enfermedades, los servicios de reproducción asistida, los medicamentos de base biotecnológica y las vacunas recombinantes. En líneas generales, estos segmentos coinciden con las líneas de trabajo de los grupos encuestados.

Más de la mitad de los grupos encuestados (13 grupos) no ha intentado registrar derechos de propiedad intelectual, lo que indicaría que existe una elevada proporción de investigaciones que no alcanzan el grado de desarrollo necesario para valorizarse mediante la protección de la propiedad intelectual como paso previo para transferirse hacia el sector productivo. Esto puede deberse a los incentivos del actual sistema científico-tecnológico nacional. La evaluación del desempeño científico aún hoy en día se sigue basando en parámetros bibliométricos tradicionales. Asimismo, diversos entrevistados coinciden en que sería conveniente que existieran incentivos a nivel de post doctorado para generar una mayor motivación hacia la investigación aplicada. Esta limitante es un problema transversal del sistema nacional de ciencia y tecnología, como se verá más adelante en el análisis de los otros sectores de la Misión.

Por su parte, algunos de los grupos que sí han transitado el proceso de solicitud de protección de la propiedad intelectual (8 grupos), expresan que se han enfrentado con diversos tipos de obstáculos, asociados tanto a vacíos legales, como a la falta de claridad del organismo incumbente y a otros factores.

En cuanto al registro comercial de productos, solo una pequeña fracción de los grupos encuestados declara haber transitado el circuito administrativo necesario para obtener el

registro comercial de un producto (5 grupos). En general, para el registro de este tipo de productos, se encuentran demoras debido a la falta de recursos humanos en el organismo incumbente, pero en líneas generales se valora positivamente la respuesta por parte de los técnicos y los procedimientos suelen ser claros.

A partir del relevamiento realizado, se puede concluir que existen en el país amplias capacidades de investigación y desarrollo en el campo de la Biotecnología Aplicada a Salud, Genética y Reproducción Animal. Existen diversos centros, conformados por múltiples equipos de trabajo que cubren prácticamente todo el abanico de tecnologías y tipos de productos del paradigma actual de la biotecnología animal. Estos centros trabajan en el desarrollo de soluciones cuya finalidad última es la de alcanzar una producción animal más sustentable y con mayor impacto positivo en la salud de los consumidores. En este sentido, la cartera de I+D cuenta con desarrollos que apuntan a disminuir la utilización de antibióticos, antiparasitarios y hormonas en la producción animal. Asimismo, el subsistema cuenta con un nivel considerable de vinculación con el sector productivo y con una serie de desarrollos en el mercado. Es importante destacar que una limitante para la expansión de la transferencia tecnológica es la falta de escala. Muchos de los centros no cuentan con plantas piloto y dentro de los que sí las tienen, se encuentran plantas con capacidades insuficientes. La aplicación de estas capacidades de desarrollo a escala piloto resultaría fundamental para ampliar la difusión de los desarrollos y su llegada al mercado.

Recuadro 9. Ejemplo de las capacidades argentinas en edición genética animal

En el año 2016, a partir de la evaluación del uso de herramientas de edición genética para remover genes de un embrión y reemplazarlos por otros de interés, científicos y científicas argentinos del Laboratorio de Biotecnología Animal de la Facultad de Agronomía de la UBA (FAUBA) eliminaron el gen de la “vaca loca” en embriones. Si bien esta enfermedad afecta a los bovinos, también se puede transmitir a humanos.

La nueva técnica de edición genética, denominada “tijera genética”, generó nuevos conocimientos en las áreas de la medicina humana y de producción animal. Esta tecnología Crispr-Cas9 permite introducir, de manera más simple y con un costo menor a otras técnicas como la clonación, modificaciones genéticas en embriones para generar animales modificados en todas sus células. Con esta innovación, la modificación puede inyectarse directamente en los cigotos, que pueden producirse por vías naturales, como inseminación artificial, de modo que el nivel de intervención en el laboratorio es mucho menor.

Además de ponerle fin a la transmisión de esta enfermedad de la encefalopatía bovina a humanos, la tijera genética podría ayudar a suprimir proteínas de la leche que causan alergias en algunas personas, al producir vacas con leche hipoalérgica, por ejemplo. También, en un contexto en el cual, según datos del Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI), la lista de espera para donaciones y trasplantes de órganos, tejidos y células es muy alta, las líneas de investigación que analizan la posibilidad del uso de genética animal para producir cerdos cuyos órganos podrían trasplantarse a seres humanos sin generar rechazo, ya tienen importantes avances en el sistema científico local.

Marco regulatorio e incentivos para el desarrollo de las cadenas

Agro 4.0

Este apartado sintetiza el análisis del marco regulatorio e infraestructura, proporcionado por la investigación de Lachman *et al.* (2022b) publicado en la serie de documentos de trabajo de Argentina Productiva 2030. Existen dos aspectos centrales que deberían ser considerados para el despliegue de una estrategia nacional de agro 4.0: i) la conectividad a servicios de telecomunicaciones en zonas rurales, y ii) la regulación y el cumplimiento normativo en materia de la propiedad de los datos.

La conectividad en áreas rurales emerge como un eslabón relevante el cual podrá acelerar o limitar el despliegue de las múltiples herramientas desarrolladas bajo el paraguas de las tecnologías 4.0. En 2020 IICA, BID y Microsoft (2020) publicaron uno de los trabajos comparativos más exhaustivos en la materia focalizado en América Latina y el Caribe. Tal como señala Lachman *et al.* (2022b), dicho trabajo señala el relativo atraso que tiene la región no solo en el despliegue de infraestructura para la conectividad en áreas rurales, sino también la falta de estudios y fuentes de información que permitan medir con precisión el porcentaje de acceso a redes de telecomunicaciones, distinguiendo entre zonas urbanas y no urbanas. A la cabeza con mayores niveles de cobertura en la conectividad rural se ubican Brasil y Costa Rica, mientras que al final de la tabla están Honduras y Perú. Esta diferencia en el acceso promedio a la conectividad en áreas urbanas *vis à vis* áreas rurales es resaltada en el mencionado informe como una situación alarmante para la región, cuya diferencia sería ampliamente mayor a lo que ocurre, por ejemplo, en países de la OCDE.

El trabajo recién mencionado enfatiza a la conectividad rural a redes de telecomunicaciones como un aspecto central para que los países de la región puedan ser actores activos en el despliegue del agro 4.0 de cara al futuro. Sin embargo, diversos especialistas sugieren que si bien esto es un elemento crucial que va a afectar a las posibilidades de adopción de tecnologías 4.0 en las cadenas del agro, hoy en día existen soluciones privadas disponibles en el mercado para enfrentar estas limitaciones. Se trata de equipos que habilitan a productores a poder disponer de una red interna de conectividad, por lo general de baja frecuencia, la cual permite la interoperabilidad de cierta maquinaria o equipos que haya en un radio determinado. A su vez, dado el acceso limitado a internet que hay en zonas muy poco pobladas, diversos servicios que emplean plataformas digitales que requieren internet, suelen tener funciones habilitadas en modo *offline*, transmitiendo los datos relevantes una vez hallada la señal (por ejemplo, cuando el productor se encuentre en una zona urbana).

A nivel nacional, el Plan Nacional de Conectividad (llamado Conectar) fue lanzado desde el Poder Ejecutivo en septiembre de 2020. El mismo contó con un presupuesto de \$37.000 millones para financiar infraestructura en telecomunicaciones hasta 2023. Dentro de los elementos vinculados a la conectividad en áreas rurales se destaca el financiamiento para el

desarrollo y lanzamiento del satélite ARSAT-SG1, el cual tendría la capacidad de llevar conexión de Internet de alta calidad a estas zonas del país (alcanzando a 200.000 hogares). Este satélite estaba previsto de ser lanzado en 2019, pero su nueva fecha estimada es 2025 y dispone de fondos por \$19.950 millones hasta dicha fecha. En paralelo se destaca un renovado financiamiento para la Red Federal de Fibra Óptica (REFEFO), la cual también ampliará la cobertura nacional de conexión a Internet. Para este propósito se anunció una inversión de \$13.200 millones, a partir de lo cual se lograría incluir a 490.000 personas a la red troncal de conectividad.

El segundo eje destacado está vinculado con la gobernanza de uno de los activos críticos de este nuevo paradigma tecno-productivo: los datos. La transformación digital a escala global derivó en una masiva generación de datos a partir de las tareas que hoy en día son realizadas mediante dispositivos conectados a redes de telecomunicaciones (Wang *et al.*, 2021; Kamleitner y Mitchell, 2019; y Symeonidis *et al.*, 2015, como se citó en Lachman *et al.*, 2022b). El registro de todas estas actividades en muchos casos suele ser desconocido por los actores privados que los generan, o bien, resulta habitual el desconocimiento sobre el uso que será dado a dichos registros digitales (Kamleitner y Mitchell, 2019, como se citó en Lachman *et al.*, 2022b).

A nivel internacional, todos los países fueron implementando diversas legislaciones vinculadas a la propiedad, almacenamiento, confidencialidad y protección que terceras partes deben ejercer sobre datos privados.⁸⁸ Por ejemplo, la amplia mayoría de los países disponen de regulaciones en las cuales se les exige a las empresas que pidan consentimiento escrito para recolectar datos personales –por lo general a partir de la aceptación de los términos y condiciones para ingresar a un sitio web–. A su vez, la legislación internacional imperante suele exigir que las empresas deban informar previamente en lenguaje claro, tanto la finalidad, como las consecuencias del uso de los datos de terceros.

Estos aspectos, por ejemplo, también forman parte de la legislación en el ámbito local. Argentina se rige por la Ley 25.326 de Protección de los Datos Personales, en la cual se reconoce el derecho a solicitar acceso, rectificación, actualización o supresión de los datos personales a empresas u organismos públicos. El órgano rector sobre esta materia es la Dirección Nacional de Protección de Datos Personales, dependiente de la Jefatura de Gabinete de la Nación. A su vez, dentro del Plan Conectar de 2020 antes mencionado, se anunció financiamiento hasta 2023 por \$4.300 millones para ampliar los servicios *cloud* –servidores en la nube para almacenar datos–, se anticipa la incorporación de nuevo equipamiento –en particular, para actualizar los sistemas de *backup* y la incorporación de nuevos grupos electrógenos para asegurar su funcionamiento–, así como el gasto en la implementación de nuevas políticas de ciberseguridad compatibles con los estándares internacionales.

⁸⁸ Para mayores referencias internacionales se sugiere el [sitio web de UNCTAD](#). Otro sitio con valiosa información en la materia es [DLA PIPER](#).

Las especificidades técnicas en materia de la propiedad y la seguridad de los datos generados a partir de la transformación digital por la cual se ven atravesadas prácticamente la totalidad de las actividades económicas reviste complejidades que requieren ser abordados por especialistas. El despliegue de todas las capacidades locales para el desarrollo y adopción de tecnologías 4.0 –ya sea de las ligadas a las actividades del agro, pero también al resto de los sectores económicos– demanda de un marco regulatorio acorde a estos desafíos.

Bioinsumos agrícolas

Este apartado sintetiza el análisis del marco regulatorio proporcionado por Starobinsky, Monzón, Di Marzo Broggi y Braude (2021), publicado en la serie de documentos de trabajo del *Plan Argentina Productiva 2030*. En Argentina los bioinsumos agrícolas se regulan, junto con los insumos de síntesis química, bajo dos Resoluciones del SENASA: la N° 350 del año 1999, la cual aprueba el Manual de procedimientos, criterios y alcances para el registro de productos fitosanitarios en la República Argentina; y la N° 264 del año 2011, la cual contiene el Manual para el registro de fertilizantes, enmiendas, sustratos, acondicionadores, protectores y materias primas en la República Argentina. El mismo SENASA es el organismo de aplicación. De este modo, se observa que existen dos grandes ramas en las cuales se pueden enmarcar los insumos para la agricultura: una para sanidad o productos fitosanitarios (Resolución N° 350 /1999) y otra para fertilidad (Resolución N° 264/2011).

Consecuentemente, dada la antigüedad de cada resolución, el registro de bioinsumos para sanidad (biocontroladores) conlleva mayores dificultades que el de productos para fertilidad (bioestimulantes). La mayor diferencia entre estos dos grandes grupos es que para determinar la seguridad de los productos de sanidad se exigen más estudios, como ser ensayos de toxicología (los cuales son más acotados para biológicos que para químicos) junto con una evaluación de información confidencial que para los productos de fertilidad, caso en el que estos estudios no son requeridos.

Esta situación se deriva de una lógica antigua aplicable más a los productos químicos que a los biológicos, ya que los químicos para sanidad “atacan” a otros organismos, mientras que los químicos para fertilidad son “inocuos” en ese sentido. Sin embargo, esta lógica no se ajusta exactamente a biológicos, ya que un mismo agente biológico puede ejercer a la vez, efectos de bioestimulación y control biológico de plagas con total inocuidad.

Cabe destacar que la evaluación del área de confidencialidad (en la que se evalúa la formulación secreta de los productos sanitarios) es el principal cuello de botella actual del proceso de registro, debido a su complejidad y a la falta de un plantel adecuado de técnicos en el área. De esto se desprende que registrar un bioinsumo para fertilidad es más rápido que registrarlo para sanidad. Por este motivo, los bioinsumos que cumplen ambas funciones suelen registrarse como productos para fertilidad (por su rol bioestimulante) y no como productos fitosanitarios (por su rol biocontrolador). A continuación, se presenta qué bioinsumos se incluyen y cuáles quedan afuera de las dos resoluciones vigentes.

Bajo la regulación que abarca el registro de fertilizantes (Resolución N° 264/2011), se incluyen todos los tipos de bioestimulantes, es decir, biofertilizantes, promotores del crecimiento e inductores de tolerancia frente a estrés abiótico.

Los biofertilizantes logran encasillarse correctamente como fertilizantes biológicos, ya que en líneas generales su definición técnica coincide con la de la norma. Sin embargo, otros promotores del crecimiento vegetal y aquellos que estimulan la tolerancia frente a estrés abiótico no se encuadran en ninguna de las categorías existentes en la norma. En la práctica, estos productos se registran como acondicionadores biológicos⁸⁹, a pesar de que técnicamente no es lo más adecuado. Más aún: solo pueden registrarse como acondicionadores biológicos aquellos que se basan en microorganismos, mientras que los que provienen de otras fuentes (como por ejemplo extractos botánicos), deben registrarse como acondicionadores químicos, a pesar de su origen biológico.

Como puede observarse, no existe una categoría denominada bioestimulantes. Incluso, los inductores de defensa vegetal frente a estrés biótico (que son un tipo de biocontroladores indirectos) también se registran como acondicionadores biológicos si derivan de microorganismos. Si bien en la etiqueta de los productos registrados como acondicionadores biológicos debe constar la leyenda "acondicionador biológico", en el marbete se pueden agregar las funciones reales que cumple el producto, como por ejemplo estimulación de defensas o promoción del crecimiento.

A pesar de que estas clasificaciones no son las más apropiadas tanto en un sentido técnico como de marketing, todos los productos bioestimulantes se pueden encuadrar y registrarse para su comercialización dentro de la normativa. Cabe señalar que, actualmente el SENASA está trabajando en una nueva normativa para incluir las categorías faltantes de bioestimulantes.

Por otro lado, se esperaría que bajo la regulación en la que se encuadran los productos fitosanitarios (Resolución N° 350/1999) se incluyeran todos los biocontroladores, es decir, bioplaguicidas (bioinsecticidas, biofungicidas, bionematicidas, bioherbicidas, etcétera, tanto microbianos como botánicos), enemigos naturales (artrópodos y nemátodos que actúan como depredadores y parasitarios), inductores de defensa vegetal frente a estrés biótico, moléculas bioquímicas e insectos estériles. Sin embargo, esta normativa, del año 1999, no contempla el concepto de productos sanitarios biológicos.

Una primera problemática consiste en que los biocontroladores de plagas directos, ya sean basados en microorganismos o en fuentes vegetales, se registran como plaguicidas (fungicidas, insecticidas, etcétera) sin diferenciación de los plaguicidas químicos, en lugar de registrarse como bioplaguicidas (biofungicidas, bioinsecticidas, etcétera), ya que esta terminología no existe en la norma vigente. En la entrevista realizada al equipo de evaluación para el registro de agroquímicos y biológicos del SENASA, se hizo mención a que se está revisando la norma con el fin de incluir los plaguicidas biológicos o bioplaguicidas.

⁸⁹ Un acondicionador biológico se define en la norma como aquella sustancia que contiene microorganismos para la producción de compost y que favorece la descomposición en el suelo de la materia orgánica.

El mayor problema asociado a esta falta de distinción entre lo químico y lo biológico es que un fitosanitario biológico entra de manera conjunta con los plaguicidas químicos en la cartera de productos para evaluar, y estos últimos los superan ampliamente en cantidad, lo que genera importantes demoras en la evaluación de los primeros. En las entrevistas se destacó que actualmente el SENASA está trabajando para definir una codificación diferencial para los biológicos, a fin de que puedan evaluarse por un canal diferente de los químicos y se les otorgue prioridad.

Por otro lado, los macroorganismos vivos (artrópodos y nemátodos utilizados para control biológico e insectos estériles a partir de la TIE) no son competencia del SENASA, sino del Comité de Sanidad Vegetal (COSAVE). Actualmente, el país no cuenta con normativa para producir, registrar y comercializar estos agentes biológicos y no se registran iniciativas para abordar esta falencia. Solo existe un marco regulatorio para importar y exportar macroorganismos vivos. La falta de iniciativas para regular este sector podría deberse al número acotado de empresas que lo requieren.

Por último, los inductores de defensa vegetal, como se mencionó previamente, se registran como acondicionadores biológicos bajo la norma de fertilidad, a pesar de que apuntan al control biológico de plagas.

En resumen, los plaguicidas biológicos (o bioplaguicidas) se registran como plaguicidas químicos, los macroorganismos carecen de norma y los inductores de defensa vegetal se registran como acondicionadores, bajo productos de fertilidad.

En cuanto al proceso de registro, según las normativas vigentes, para productos tanto de sanidad como de fertilidad, se solicita presentar ensayos a campo y ensayos en laboratorios certificados para GLP (del inglés Good Laboratory Practice), que demuestren la efectividad y las principales características físico-químicas y/o biológicas del producto.

En función de la normativa, un producto biológico deberá ser sometido a tres campañas de ensayos de eficacia en tres zonas agroecológicas diferentes, con evaluación estadística, siempre y cuando sea factible para el cultivo (por ejemplo, para yerba mate no se piden tres zonas distintas; para trigo, soja y maíz, sí). Además, se deberá garantizar la inocuidad del microorganismo, presentar un recuento de microorganismos y un certificado de provisión de la cepa, entre otros requisitos según el tipo de agente efector.

Para productos experimentales (que no cuentan con antecedentes en el país respecto de su composición, tecnología de fabricación y/o usos propuestos), si se obtienen resultados favorables en la primera campaña se dará una aprobación de carácter experimental. Luego de tres campañas de resultados satisfactorios se otorgará la inscripción definitiva. Para una ampliación de uso (para autorizar el uso en otros cultivos de un producto previamente registrado para un dado cultivo) se solicitan dos campañas de ensayos a campo. Cabe aclarar que, cuando hablamos de campañas, no necesariamente equivalen a años calendario.

Según el equipo técnico del SENASA, los ensayos de laboratorio GLP comprenden el mayor costo para las empresas a la hora de registrar un producto, superando el costo de los ensayos a campo. Sin embargo, los ensayos de laboratorio GLP que se realizan en un país sirven para presentarlos en el resto de los países donde se quiera registrar el producto; mientras que los ensayos a campo deberán realizarse siempre en cada país donde se desee registrar el producto. Así, se destacó que el costo de los ensayos GLP es muchas veces inaccesible para las empresas pequeñas del país y que no existen laboratorios públicos que puedan realizarlos; mientras que para los ensayos a campo se pueden contratar instituciones públicas, ya que cualquier ingeniero agrónomo matriculado puede realizarlos, según la norma.

Según las entrevistas realizadas, el costo de los ensayos a campo ronda entre USD 1.500 y USD 2.000 por ensayo; por lo cual, para realizar los nueve ensayos que se requieren para un registro como mínimo (tres por cada una de las tres zonas), el costo total para el registro de un producto puede alcanzar aproximadamente los USD 20.000. Sumando los ensayos de laboratorio GLP, el costo total para el registro de un producto para un cultivo puede superar los USD 50.000, tanto en Argentina como en Brasil. Por su parte, los aranceles para el registro no son significativos en relación con el costo de los ensayos. Además, el arancel para el registro de biológicos se ha reducido en un 35% en comparación con el de químicos.

Tanto en Argentina como en otros países de la región, el registro se realiza para un producto en un cultivo determinado (por ejemplo, no se puede registrar un fitosanitario para frutales, pero sí para algunas familias de cultivos menores como frutales de pepita). Si un producto se encuentra registrado para un cultivo y se quiere registrar para uno nuevo, deben presentarse nuevamente ensayos de eficacia a campo. Cabe aclarar que, si una empresa amplía el uso de un producto para otros cultivos, otras empresas que tengan el mismo producto registrado pueden solicitar el mismo alcance sin presentar nuevos ensayos.

Permisos provinciales para el uso de los recursos genéticos

Mediante la Ley N° 27.246, de noviembre de 2015, se aprobó en el territorio nacional el Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Devienen de su Utilización, en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, celebrado en Nagoya, Japón, en octubre de 2010. De esta manera, cada provincia tiene soberanía sobre el material biológico aislado de su jurisdicción, ya sea para fines comerciales o para investigación.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAYDS), mediante la Resolución 410/19 establece pautas mínimas y uniformes para el cumplimiento del Protocolo de Nagoya en las jurisdicciones. Asimismo, mediante dicha resolución se establece a la Secretaría de Política Ambiental y Recursos Naturales del citado Ministerio como autoridad de aplicación de la norma y como punto de verificación para recibir información pertinente relacionada con las autorizaciones de acceso.

En concordancia con el Protocolo de Nagoya, para tomar una muestra del ambiente o incluso para utilizar cepas microbianas integradas en colecciones, se debe solicitar permiso en la jurisdicción de la cual es originaria la cepa y los beneficios que de la investigación y/o de la comercialización se generasen, se deben distribuir con la jurisdicción, de acuerdo a los términos pactados entre el usuario y la jurisdicción. Si el microorganismo no será utilizado con fines comerciales, se emite una autorización de acceso. Mientras que, si el mismo será usado con fines comerciales, se debe firmar un contrato donde conste el esquema de distribución de los beneficios. Los beneficios económicos pueden distribuirse con las jurisdicciones mediante regalías u otras erogaciones como por ejemplo el pago de una capacitación. No existe una generalidad en este aspecto, es decir, las negociaciones entre el usuario y la jurisdicción son distintas en cada caso. En Argentina estos contratos pueden incluir cláusulas de exclusividad (para que, mientras dure el contrato, ninguna otra empresa pueda utilizar la cepa), siempre que la empresa lo solicite y la provincia esté de acuerdo. En el caso de Brasil, no se permite otorgar exclusividad, con la finalidad de no restringir la expansión de los desarrollos basados en recursos genéticos.

Una vez que la jurisdicción otorga el permiso de acceso, el interesado presenta una solicitud al MAyDS, a través de un Trámite a Distancia (TAD), y este otorga un certificado de cumplimiento con validez internacional. Con este certificado, el interesado puede exportar los productos que contengan o se basen en la cepa en cuestión a los países que adhieren al protocolo de Nagoya, como la Unión Europea.

Todos los países adheridos al Protocolo de Nagoya deben exigir y fiscalizar el cumplimiento del mismo. Para ello, existen distintos puntos de verificación, como la oficina de patentes y la ANMAT, en el caso de Argentina.

Dentro de los distintos tipos de bioinsumos agrícolas, así como de los aditivos o ingredientes funcionales, se encuentran diversos productos que se basan en cepas autóctonas, por lo cual necesitan dicho certificado de cumplimiento internacional para poder ser exportados.

La principal limitante en este aspecto es que el desarrollo de las normas y de los circuitos de aplicación del protocolo de Nagoya en las jurisdicciones es heterogéneo. Mientras que provincias como Buenos Aires, Chubut, Misiones y La Rioja ya tienen contratos comerciales en curso, otras se encuentran negociando sus primeros contratos y otras provincias están más rezagadas (aún no avanzaron en la implementación). En este sentido, desde el MAyDS se está trabajando con cada jurisdicción. Mediante el proyecto ARG 16/G54 "Promoviendo la aplicación del Protocolo de Nagoya sobre ABS en Argentina", que terminó en mayo de 2022, se capacitaron a más de 1.000 personas de las distintas jurisdicciones para la implementación del Protocolo de Nagoya. A partir de estas acciones, se maduró el tema y se lograron avances en algunas de las provincias. Al menos 16 provincias ya tienen certificados de cumplimiento emitidos y todas regulan la colecta para fines científicos. En el mejor de los casos, la otorgación de un certificado de cumplimiento por la jurisdicción que mejor implementa el Protocolo, puede demorar 10 días.

A pesar de estos esfuerzos, y el buen desempeño de las citadas provincias, en otras, todavía no se cuenta con los mecanismos establecidos para distribución de los beneficios, por lo cual las empresas o *startups* que quieren avanzar con desarrollos basados en microorganismos autóctonos de dichas jurisdicciones se ven limitadas. En otros casos, a pesar de contar con los mecanismos, se encuentran demoras de más de un año para obtener el certificado, lo cual retrasa la llegada al mercado de muchos productos y pone en riesgo la continuidad de las *startups*. El principal cuello de botella que genera estas demoras es la escasez de personal en las jurisdicciones abocado a esta temática. Idealmente, para poder negociar y firmar un contrato de este tipo, las jurisdicciones deberían contar con equipos profesionales interdisciplinarios, integrados por biólogos moleculares o biotecnólogos y abogados con formación en materia de acceso y distribución de beneficios.

Principales limitaciones del marco regulatorio en torno a los bioinsumos agrícolas

Plazos de las evaluaciones. Se destacan los tiempos y la complejidad de los trámites dada la falta de expertise con productos biológicos, la antigüedad de las normas vigentes, el encuadre junto con los productos de síntesis química y la escasez de personal en el SENASA (sobre todo para el caso de biocontroladores). La falta de recursos humanos se acentúa en el área de evaluación de información confidencial, la cual cuenta con unas 10 personas para atender a 400 empresas. Para estas tareas de evaluación se requieren perfiles especializados, encontrándose dificultades para formarlos y retenerlos. Si bien existen plazos máximos estipulados de evaluación en la norma, en la práctica, un registro para un producto fitosanitario puede demorar dos o más años.

Permisos provinciales para el uso de los recursos genéticos. La demora en la gestión de los permisos de acceso a los recursos genéticos por parte de algunas de las jurisdicciones, limita el avance de los desarrollos que se basan en microorganismos autóctonos.

Ensayos y análisis solicitados. Para el registro se solicitan tres ensayos a campo en tres zonas agroecológicas distintas para cada cultivo (costo por ensayo USD 1.500-2.000), lo que implica una barrera para startups y para avances del subsistema científico-tecnológico

Tecnología de los alimentos

El Código Alimentario Argentino (CAA) contiene toda la normativa vigente referida a la elaboración, transformación, transporte, distribución y comercialización de todos los alimentos para el consumo humano. El Sistema Nacional de Control de Alimentos (SNCA) tiene como objetivo asegurar el cumplimiento del CAA en todo el territorio argentino; y está integrado por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT), la cual ejerce sus obligaciones a través del Instituto Nacional de Alimentos (INAL), la Comisión Nacional de Alimentos (CONAL) y las Autoridades Sanitarias de las Provincias y Municipios, denominadas Autoridades Sanitarias

Jurisdiccionales (ASJ)⁹⁰. Todos los actores que intervienen en el SNCA son corresponsables, al igual que el productor/a de alimento, sobre la inocuidad y seguridad alimentaria final que comercializa.

Para otorgar la Autorización Sanitaria a un establecimiento, la ASJ interviniente, habilita al establecimiento a realizar determinadas actividades luego de haber evaluado las condiciones mínimas y necesarias fundamentadas en aspectos sanitarios y otras de índole administrativa. Para la producción, la elaboración y/o el fraccionamiento de los productos que la ASJC autoriza a los fines de su comercialización, circulación y expendio en todo el territorio nacional, es requisito previo la autorización e inscripción en el Registro Nacional de Establecimientos (RNE).

A su vez, para la comercialización, circulación y expendio de un producto alimenticio en todo el territorio nacional, es requisito previo que la ASJ lo autorice e inscriba en el Registro Nacional de Productos Alimenticios (RNPA). El proceso para obtener la Autorización Sanitaria de los Productos Alimenticios comprendidos en el CAA ya sea que se trate de una primera inscripción o de una actualización, reinscripción o modificación, se tramita a través del Sistema de Información Federal para la Gestión del Control de los Alimentos (SIFeGA).

El CAA es de esquema positivo, es decir que todo lo que no figura en el Código está prohibido. Los aditivos innovadores, así como aquellos que se utilizan en otras partes del mundo pero que aún no se comercializan en nuestro país, deben incorporarse al CAA para poder ser utilizados en la producción de alimentos. Además de encontrarse en el CAA, los aditivos e ingredientes procesados, deben solicitar un registro para su autorización comercial ante la ASJ correspondiente al lugar donde se elaboran, cuando son de producción local, o ante el INAL cuando son importados. De este modo, al igual que los productos alimenticios, los aditivos obtienen un RNPA para su comercialización y utilización en la producción de alimentos.

Algunas de las ASJ, como la Dirección de Industrias y Productos Alimenticios (DIPA) de la provincia de Buenos Aires, se encuentran sobredemandadas en cuanto a su capacidad de evaluación de solicitudes, tanto de productos alimenticios como de aditivos. Para ilustrar esta situación, podemos mencionar que en la provincia de Buenos Aires aproximadamente unos 8.500 establecimientos elaboradores fabrican el 70-80% de los productos alimenticios que se producen en el país. Así, DIPA recibe unos 1.500 trámites por mes, lo que arroja un promedio de 60-70 trámites por día. Para atender estas solicitudes, DIPA cuenta con tan solo ocho técnicos evaluadores. Cada técnico puede evaluar entre cinco y ocho trámites diarios, con lo cual nunca se llega a cubrir todo lo que ingresa para estar al día. Cabe destacar que las evaluaciones no siempre culminan en aprobaciones, ya que el 98% de los trámites tienen observaciones. Las

⁹⁰ Dependiendo del origen del producto y de los lugares de producción y comercialización, la ASJ interviniente puede ser municipal, provincial o el SENASA. En líneas generales si se la firma elabora y comercializa en su mismo municipio interviene la autoridad sanitaria municipal; si la firma elabora y comercializa dentro de su provincia interviene la autoridad sanitaria provincial; cuando comercializa en otra provincia distinta a la de elaboración (tránsito federal) y no utiliza materia prima derivada de animales interviene la autoridad sanitaria provincial, pero si utiliza derivados de animales y hay tránsito federal, interviene SENASA.

observaciones más habituales se relacionan con aspectos del rotulado de alimentos. Los aditivos comprenden aproximadamente el 10% de las solicitudes y su aprobación es más sencilla, ya que no conllevan rotulado, pero al ingresar por la misma ventanilla que los productos alimenticios, quedan sujetos a las demoras.

De este modo, obtener un RNPA para un aditivo producido en el país y que se encuentra en el CAA, puede demorar hasta un año. Sin embargo, esto no genera mayores inconvenientes para las empresas, ya que a los 30 días de presentada la solicitud pueden comercializar el aditivo con el número de expediente que otorga el sistema al ingresar la solicitud. Por su parte, los aditivos importados demoran entre cuatro y cinco meses en obtener su RNPA y éstos no pueden comercializarse con número de expediente, lo que representa un cuello de botella importante para el desarrollo de productos alimenticios innovadores.

Como se mencionó previamente, todos los aditivos e ingredientes procesados que se utilizan en la producción de alimentos deben estar inscriptos en el CAA, como requisito excluyente para obtener su RNPA.

Según el aporte de diversos entrevistados, el proceso para incluir nuevos aditivos o ingredientes en el CAA es lento y puede representar un cuello de botella importante. Vale la pena destacar que estas gestiones pueden demorar entre uno y dos años. Para la incorporación de nuevos aditivos al CAA intervienen la CONAL y dependiendo del origen del aditivo también el SENASA. En líneas generales, el interesado debe presentar el motivo de la solicitud, el uso y un respaldo bibliográfico internacional. Si se trata de un aditivo innovador que aún no se registró en otras partes del mundo, la CONAL determina qué ensayos se deben realizar para demostrar seguridad y eficacia, lo cual resulta aún mucho más complejo. Los pedidos se tratan en las reuniones de CONAL, pero nunca entre medio. Se realizan entre 5 y 6 reuniones al año. Si las solicitudes tienen observaciones, se le pide al interesado que las responda, y la CONAL les da tratamiento a dichas respuestas en la siguiente reunión. Cabe destacar que la CONAL está integrada por representantes de instancias de gobierno nacionales y provinciales, que en total ascienden a unas 50 instituciones. De este modo, el circuito administrativo para la firma puede demorar aún más que el tratamiento de las solicitudes.

Para demostrar la inocuidad de un aditivo en el proceso de su incorporación al CAA, se solicitan análisis de laboratorio que dependen del tipo de origen del alimento, tales como ensayos toxicológicos, químicos y microbiológicos, así como estudios del aditivo integrado en los productos. En las monografías para aprobar aditivos, en general se presenta información de bibliografía internacional, ya que no se exige información generada en el país. Sin embargo desde instituciones como el INTI, se cuenta con las capacidades para realizar estos estudios con información local, los cuales pueden llevar aproximadamente seis meses.

Por su parte existen aditivos e ingredientes funcionales innovadores que se obtienen a través de organismos genéticamente modificados (OGM). Estos pueden tratarse de microorganismos modificados (como los hongos utilizados para la producción de colorantes naturales), o de células vegetales cultivadas en suspensión (como aquellas desarrolladas por la *startup*

Ergobio-ciencia para la producción de proteínas animales sin utilizar animales, destinadas a productos plant based) o de plantas modificadas cultivadas a campo, proceso denominado *molecular farming*⁹¹ (como la planta de cártamo desarrollada por INDEAR para la producción de quimosina, una enzima que se utiliza en la producción del queso). Dado que estos productos derivan de OGM, en su evaluación intervienen además la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA). La principal limitante para la llegada al mercado de este tipo de productos es el costo de los ensayos regulatorios. En nuestro país, se solicita que dichos ensayos tengan una calidad científica equiparable con los ensayos presentados en revistas científicas de nivel internacional con referato, es decir, no se exige que los ensayos certifiquen normas de calidad, lo cual sí es exigido en otros países.

Para la aprobación de los aditivos producidos por *molecular farming*, existen dos opciones:

- Aprobar el OGM además del producto de interés. Esto implica atravesar una evaluación por parte de la CONABIA, del SENASA y de la Dirección Nacional de Mercados Agrícolas. En este caso, se puede cultivar a campo en condiciones normales, salvo que la CONABIA determine que, por razones de seguridad, sólo se puede cultivar en condiciones reguladas.
- Aprobar solo el producto de interés sin aprobar el OGM y cultivar en condiciones reguladas, en invernáculo. En este caso, no se requiere atravesar por la triple evaluación requerida para los OGM, pero se requiere una inspección anual por parte del Instituto Nacional de Semillas (INASE), con el pago de un arancel.

La vigilancia de productos en góndola se realiza a través de las ASJ provinciales. Para ello, utilizan sus propios recursos y de los laboratorios de la Red Nacional de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (ReNaLOA), integrada por laboratorios públicos provinciales y la Red Federal de Laboratorios de Alimentos, integrada por laboratorios privados que cuentan con ensayos acreditados. Estas redes de laboratorio son suficientes para atender los ensayos que hoy se realizan. Sin embargo, distintos entrevistados, tanto del sector público como del privado, manifestaron que dichos controles son escasos. Para ilustrar esta situación, el 98% de las observaciones que se realizan en el proceso de registro de un producto alimenticio tienen que ver con aspectos del rotulado del mismo. Sin embargo, los controles de los productos en góndola para garantizar que el rotulado nutricional coincida con la composición real del producto, son extremadamente escasos. Sería altamente recomendable reforzar estos controles, puesto que se trata del eslabón final fundamental para garantizar la provisión de alimentos saludables al consumidor. Para ello, según las autoridades regulatorias consultadas, sería necesario ampliar el plantel de personal de la ASJ y analizar la necesidad de ampliar las capacidades de las redes de laboratorios oficiales.

En el cuadro 16, se resumen los principales aspectos asociados a asuntos regulatorios para distintos tipos de aditivos innovadores.

⁹¹ El *molecular farming* es un término que se utiliza para referenciar a la producción de proteínas u otros metabolitos valiosos para la medicina o la industria en especies vegetales especialmente diseñadas para este fin.

CUADRO 16. PARTICULARIDADES EN ASUNTOS REGULATORIOS PARA DISTINTOS TIPOS DE ADITIVOS INNOVADORES

Tipo de aditivo	Requerimientos particulares	Limitaciones para su expansión
Concentrados proteicos vegetales (ej. premixes proteicos de Tomorrow Foods, etc.)	Así como los aditivos químicos convencionales, éstos no presentan mayores desafíos, se encuentran en general ya aprobados en el CAA, como “alimento en base a proteína de...”	No se observan limitaciones regulatorias para los productos de elaboración nacional, ya que se comercializan con número de expediente a los 30 días de presentada la solicitud. Sí, existen demoras para incorporar proteínas de legumbres (por ej. arveja) en el CAA para productos blends. Hoy una planta cárnica solo puede usar proteínas de soja en sus productos blends.
Mezclas de aditivos tradicionales (ej. aditivo conformado por un sabor más una enzima)	En ciertos casos es necesario incorporarlos al CAA.	Se generan demoras de 1 a 2 años para la obtención del RNPA, cuando se requiere la gestión de incorporación al CAA.
Productos conformados por microorganismos naturales (ej. los <i>starters</i> de Food4you)	Requieren certificado de Nagoya por la utilización de microorganismos aislados de la naturaleza (recursos genéticos naturales). En algunos casos también requieren su incorporación en el CAA.	Algunas provincias no están preparadas para la instrumentación del Protocolo de Nagoya. Se generan demoras desde la etapa inicial de I+D por la necesidad de contar con el certificado. Las empresas encuentran demoras para obtener los certificados que les permiten comercializar en todos los países que adhieren al protocolo de Nagoya. Para la incorporación al CAA, no está claro dónde buscar los requisitos (ensayos a realizar). Distintas fuentes referenciadas: Cap. VIII del CAA: productos fermentados/ Cap. XVI del CAA: coadyuvantes. No existen guías claras.
Productos derivados de células vegetales genéticamente modificadas, cultivadas en suspensión (ej. la mioglobina y caseína de Ergobioscience)	Requieren incorporación al CAA. Se evalúa caso a caso en la CONAL. Aunque se utiliza OGM, el producto final no contiene OGM. En FDA entran con <i>status grass notification</i> . En Europa ingresan en la categoría de <i>novel food</i> .	Registrar en el país conlleva muchas demoras, e intervendría la CONABIA a pesar de que no se comercializa el OGM y de que la producción se realiza en condiciones contenidas (en fermentadores). Las empresas expresan que falta expertise para evaluar estos productos a nivel nacional, y optan por registrar los productos primero en otros países.

Continúa.

Continuación.

Tipo de aditivo	Requerimientos particulares	Limitaciones para su expansión
Productos obtenidos por <i>molecular farming</i> (ej. quimosina recombinante obtenida a partir de cártamo modificado genéticamente, desarrollado por INDEAR)	Existen dos opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Aprobar el OGM además del producto de interés. • Aprobar solo el producto de interés (sin aprobar el OGM) y cultivar en condiciones reguladas. 	En ambos casos, la principal limitante es el costo de los ensayos regulatorios. No hay líneas de financiamiento accesibles para las instituciones públicas. El costo necesario para realizar los ensayos para aprobar un OGM rondaría los USD 10 a 15 millones.

Fuente: elaboración propia con base en entrevistas.

Finalmente, según los entrevistados del sector privado, el CAA sería cerrado e inflexible con sus categorías; por ejemplo, contiene categorías de sabores o de vitaminas o de enzimas, pero un mix de sabor más una vitamina/enzima no encuadraría, lo cual generaría mayores demoras para la obtención del RNPA y desincentivaría a las empresas de aditivos a incorporar vitaminas o fibras en sus sabores. Por su parte, la mayoría de las *startups* de aditivos innovadores y de los expertos del sistema nacional de ciencia y tecnología entrevistados, coinciden en que no existen guías claras para los aditivos biológicos o biotecnológicos innovadores donde se especifiquen los ensayos que deben realizarse para demostrar su seguridad. Además, aseguran que algunos de los ensayos que se solicitan, siguen una lógica más afín a los productos químicos, lo que dificulta la incorporación de aditivos o ingredientes biológicos al CAA (por ejemplo, la solicitud de composición química definida).

Bioteología vegetal

La Resolución N° 763/2011 del MAGYP establece los lineamientos normativos a los que deberán ajustarse las actividades con Organismos Genéticamente Modificados (OGM) en Argentina; mientras que la Resolución N°21/2021 establece los procedimientos para determinar cuándo un organismo se considera OGM y por lo tanto queda alcanzado por la Resolución N° 763/11. Para que un organismo se considere OGM deben cumplirse dos condiciones: 1) que el mismo haya sido obtenido por técnicas de la biotecnología moderna y 2) que el mismo cuente con una nueva combinación de material genético.⁹²

La autorización de productos derivados de vegetales genéticamente modificados (VGM) es competencia de la Dirección Nacional de Bioeconomía de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, del Ministerio de Economía. Por su parte, la Coordinación de Innovación y Biotecnología del mismo organismo, participa en el establecimiento de normas y requisitos y la

⁹² Entendiéndose como un cambio producido en el genoma del organismo por la incorporación, en forma estable y conjunta, de uno o más genes o secuencias de ácido nucleico que forman parte de una construcción genética definida.

Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) se ocupa de la evaluación y el manejo de riesgos, así como del diseño de medidas de bioseguridad. La Dirección de Calidad Agroalimentaria del SENASA se ocupa de evaluar la aptitud alimentaria para productos alimenticios derivados de, o que consistan en, OGM para el consumo humano y/o animal. La Dirección Nacional de Protección Vegetal (SENASA) y la Coordinación de Proyectos Especiales en Biotecnología (INASE) fiscalizan el desarrollo de las actividades. Por último, la Dirección de Mercados Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, del Ministerio de Economía analiza los impactos en la producción y comercialización que pudieran derivarse de la autorización comercial de un OGM.

De este modo, cuando se solicita la autorización comercial de un VGM, intervienen en su evaluación la CONABIA, el SENASA y la Dirección de Mercados Agrícolas. A diferencia de los otros agentes de regulación analizados, este circuito regulatorio no se encuentra sobredemandado, ya que la cantidad de solicitudes es baja. Hasta el momento, poco más de 60 eventos fueron aprobados para su comercialización, tres de los cuales son de desarrollo nacional.

En Argentina, no se exige que los ensayos certifiquen normas de calidad, sino que tengan calidad científica equiparable a los ensayos presentados en revistas científicas de nivel internacional con referato. Lo que sucede muchas veces es que las empresas grandes optan por hacer los ensayos fuera del país, en sus casas matrices y presentar la carpeta acá contando con aprobaciones en otros países, algunos de los cuales exigen que los ensayos certifiquen normas ISO.

Para la aprobación de productos obtenidos por *molecular farming* (como por ejemplo, la planta de cártamo desarrollada por INDEAR para la producción de quimosina, una enzima que se utiliza en la producción del queso), existen dos opciones:

- Aprobar el OGM además del producto de interés. Esto implica atravesar una evaluación por parte de la CONABIA, del SENASA y de la Dirección Nacional de Mercados Agrícolas. En este caso, se puede cultivar a campo en condiciones normales, salvo que la CONABIA determine que, por razones de seguridad, sólo se puede cultivar en condiciones reguladas, como sería en el caso de producción de una vacuna para uso en humanos.
- Aprobar solo el producto de interés sin aprobar el OGM y cultivar en condiciones reguladas, en invernáculo. En este caso, no se requiere atravesar por la triple evaluación requerida para los OGM, pero se requiere una inspección anual por parte del Instituto Nacional de Semillas (INASE), con el pago de un arancel. Sería recomendable revisar si es factible eliminar el requisito de producir en condiciones reguladas cuando no se evidencian potenciales riesgos.

La principal limitante para la expansión de estos productos es el costo de los ensayos solicitados para el registro. Según información suministrada por actores del sector privado, conducir estos ensayos puede implicar un costo de entre USD 10 y 15 millones. Estos montos no pueden ser afrontados por las instituciones públicas de forma aislada, por lo cual deben asociarse indefectiblemente con empresas para llevar sus desarrollos al mercado.

La línea de financiamiento FONREBIO de la Agencia de I+D+i, se destina a financiar parcialmente proyectos de desregulación de productos agrobiotecnológicos a través de créditos. Esta ventanilla, actualmente cerrada, se encuentra próxima a ser relanzada. Sería recomendable ampliar la disponibilidad de este tipo de instrumentos y ampliar su alcance para que puedan ser solicitados por las instituciones públicas de CyT, donde se cuenta con un amplio abanico de desarrollos basados en VGM.

Otras dificultades encontradas se asocian a la ejecución de los ensayos para el registro. Muchas veces no se entiende bien la normativa, especialmente cómo realizar los ensayos. En este sentido, la Dirección Nacional de Bioeconomía trabaja para apoyar a los desarrollos en la conducción de los ensayos, orientándolos para que sean aptos, que tengan las repeticiones necesarias, que se realicen en los sitios y en los tiempos pertinentes, entre otras cosas.

Nutrición, sanidad y genética animal

La autorización comercial y el control de productos destinados a la producción animal son competencia del SENASA.

El registro de los productos para salud animal, tanto fármacos como productos para diagnóstico y prevención (vacunas), así como de los productos para reproducción animal, se gestionan a través de la Dirección de Productos Veterinarios (DPV) del SENASA. En esta misma dirección se realiza la evaluación técnica de los fármacos y los productos para reproducción. Las vacunas, los kits de diagnóstico, los antígenos y los fármacos recombinantes se gestionan en la DPV pero su evaluación técnica se realiza en el Centro Coordinador de Biológicos de la Dirección de Laboratorio Animal del SENASA.

Por su parte, los productos destinados a la alimentación animal: alimentos, aditivos, coadyuvantes, colorantes y básicamente todo lo que impacte sobre la primera parte del intestino del animal, incluyendo a los pre y probióticos, se registran a través de la Coordinación de Alimentos para Animales dependiente de la Coordinación de Aprobación Productos Alimenticios (CAPA) del SENASA, acorde a lo establecido en la resolución del SENASA N° 594/2015. Cabe aclarar que el SENASA interviene en el registro de los productos para alimentación animal cuando existe tránsito federal (es decir, cuando el producto se comercializa en provincias distintas a la provincia donde se elabora). Si los productos se comercializan dentro de la misma provincia donde se elaboran o dentro del mismo municipio, intervienen las autoridades sanitarias provinciales o municipales, respectivamente.

A su vez, para los productos veterinarios obtenidos por técnicas biotecnológicas, como las vacunas recombinantes y las hormonas recombinantes, interviene la CONABIA. Una vez que ésta los aprueba, pasan a evaluación en el Centro Coordinador de Biológicos, desde donde se define para cada caso los ensayos que se deben realizar. De manera análoga, para la evaluación de los aditivos basados en microorganismos genéticamente modificados, además de la Coordinación de Alimentos para Animales, interviene otra área del SENASA que evalúa los OGM.

Para el registro de productos para salud animal, es necesario conducir ensayos en animales. Estos requieren un mayor número de individuos que los ensayos clínicos para salud humana, debido a que entre los animales existe una mayor variabilidad, por la existencia de distintas razas, climas, disponibilidad de alimentos, ubicación geográfica, etc. Sin embargo, estos ensayos no representan una barrera de entrada para las pymes, ya que implican menores exigencias y menores costos que los ensayos en humanos, incluso cuando se trata de productos innovadores. Además, para algunos productos se solicitan ensayos de laboratorio. Todos los ensayos de laboratorio se realizan en los laboratorios del SENASA, mientras que los ensayos a campo, siempre que sea posible técnicamente, se realizan en instalaciones del SENASA, con técnicos del SENASA y con animales e insumos aportados por el solicitante del registro. Para registrar productos veterinarios en otros países, se aceptan los ensayos realizados en el país, aunque algunas autoridades son más exigentes que el SENASA y piden mayor número de ensayos.

Para el registro de productos para alimentación animal el solicitante debe declarar los ensayos de control de calidad que realiza en su proceso productivo, quedando sujetos a una evaluación técnica. Estos ensayos por lo general se realizan dentro de la misma planta elaboradora. Además, todas las materias primas industrializadas deben estar registradas en un organismo oficial competente. Por ejemplo, si el insumo se trata de un colorante que se utiliza en alimentos para humanos y ya cuenta con registro en ANMAT, no necesita registrarse nuevamente en el SENASA. Para el caso de los microorganismos que forman parte de los aditivos para animales, se solicita información sobre su origen, el medio de cultivo utilizado, si el medio utiliza subproductos de origen animal, entre otras cosas; pero no se requiere un registro por cada cepa. Al respecto, el sector privado expresa el deseo de eliminar el requisito de que las materias primas requieran un registro previo, cuando estas son tradicionales y seguras, e incorporar un listado de materias primas seguras exentas de registro.

La principal limitante del proceso de registro, tanto para los productos veterinarios como para los productos para alimentación animal, es la escasez de personal técnico disponible para evaluar las solicitudes.

La evaluación de los productos para alimentación animal se subdivide en tres áreas: aditivos, alimentos para mascotas y alimentos para animales de producción, y cada una de estas subáreas cuentan con una sola persona dedicada a la evaluación. Cuando uno de estos técnicos se encuentra de licencia, los expedientes para evaluar se acumulan. Contar con dos personas para cada subárea de evaluación sería una situación más cercana a la ideal (es decir, pasar de ser tres técnicos a ser seis en total). El perfil necesario para realizar estas evaluaciones es el de médico veterinario. Cabe destacar que este sector recibe las solicitudes provenientes de unas 1.100 empresas, tanto productoras como importadoras de alimentos para animales. Para los productos para alimentación animal tradicionales, si una solicitud llega en excelentes condiciones (sin errores u omisiones), en cuatro meses aproximadamente obtiene su registro comercial. También existe la posibilidad de abonar un arancel de trámite urgente para obtener los resultados de la evaluación en 10 días. Sin embargo, en muchos casos, las solicitudes son completadas por gestores que no poseen título de médico veterinario, generando muchas

observaciones y demoras. Por su parte, en los productos más complejos o innovadores, según las empresas entrevistadas, se observan mayores demoras, pudiendo tomar más de un año obtener el registro.

Por su parte, la DPV cuenta con seis veterinarios y cinco técnicos en el área química (farmacéuticos y bioquímicos), los cuales realizan las evaluaciones técnicas de las solicitudes provenientes de unas 500 empresas. Actualmente, existen más de 10.000 registros en curso, lo que genera un entorno muy dinámico, con un elevado número de solicitudes de modificaciones de uso y especies, además de los registros nuevos que suelen variar entre 10 y 30 por mes. En este caso, también sería ideal duplicar el plantel de evaluadores. La escasez de personal no solo afecta el tiempo de evaluación de los registros, sino también de las auditorías para las habilitaciones de plantas. De este modo, los nuevos establecimientos elaboradores de productos veterinarios atraviesan entre 6 y 18 meses de demora para recibir su habilitación. Los productos innovadores pueden demorar dos años en obtener su registro, según las empresas entrevistadas.

Actualmente la presentación de las solicitudes se realiza por vía digital, y los expedientes anteriores en curso se encuentran en vías de digitalización, lo cual está agilizando en cierta medida los procesos de evaluación.

La DPV, además del registro de productos veterinarios, tiene a su cargo la fiscalización para habilitar plantas, certificar GMP y controlar productos en el mercado. Cabe destacar que los controles de los productos en uso (como vacunas obligatorias, antibióticos prohibidos, etc.), solo se realizan ante el surgimiento de eventos de alarma, es decir, no se realizan controles de rutina. Fortalecer los esquemas de control, sobre todo en el uso de antimicrobianos y productos para la reproducción asistida, resultaría un elemento fundamental para la producción de alimentos más saludables, con menos químicos agregados desde el origen. Una posibilidad para descomprimir la capacidad colapsada de esta dirección podría ser la de delegar en las provincias la fiscalización de las plantas elaboradoras, tema que se encuentra ya en evaluación.

Respecto a la infraestructura, fue señalado por distintos actores que los boxes de bioseguridad, los cuales son necesarios para conducir ensayos contenidos en animales grandes, serían escasos en el país. Los boxes de bioseguridad del SENASA solo están disponibles para la realización de ensayos oficiales, por lo cual no son accesibles para ensayos en las etapas de desarrollo. Asimismo, debido a la expansión de los productos biológicos para animales en los últimos años, la capacidad de los bioterios del SENASA resultará insuficiente en el corto plazo. Se recomienda entonces evaluar la factibilidad de ampliar la capacidad en estos dos tipos de infraestructuras.

Otra limitante en materia de regulación es la falta de estructura en ciertas áreas del SENASA, lo que dificulta la expansión y la adecuación a la demanda. Por ejemplo, la Coordinación de Alimentos para Animales no tiene una estructura formal, lo cual dificulta su crecimiento y la toma de decisiones.

Por último, en la normativa actual que regula los alimentos para animales (resolución N° 594/2015 del SENASA) existe un vacío que sería recomendable revisar. En la normativa anterior se exigía que las empresas que registrasen ciertos productos para la alimentación animal, como los alimentos medicados para animales de producción y los alimentos para animales pequeños, debían contar con un director técnico con título de médico veterinario. Este requerimiento se eliminó y ahora un ingeniero agrónomo, por ejemplo, puede registrar todos los tipos de productos aún aquellos que no son de su *expertise*.

Análisis de las políticas de referencia de otros países para desarrollar capacidades nacionales para el Eje 1

Tecnologías 4.0 para el agro

Esta sección retoma las políticas públicas internacionales relevadas por el trabajo de Lachman, *et al.* (2022b) publicado en la serie de documentos de trabajo de *Argentina Productiva 2030*. En Estados Unidos hay un complejo entramado de universidades y *research parks* (o parques de investigación para la ciencia aplicada) donde confluyen la academia, el sector productivo y los inversores para lograr una buena articulación entre los múltiples actores del ecosistema. Entre los casos más emblemáticos ligados al desarrollo del agro 4.0 se destacan: la Universidad de Illinois, el Research Triangle AgTech Cluster (que opera en un espacio conjunto de tres universidades, la Universidad Estatal de Carolina del Norte, la Universidad de Duke y la Universidad Chapel Hill Carolina del Norte) y la Universidad de Iowa.

Las universidades cuentan con sus propios centros tecnológicos y de investigación en los cuales conviven estudiantes de distintos grados de educación, investigadores e institutos de investigación, institutos de investigación de empresas privadas, oficinas de transferencia de tecnología, incubadoras, aceleradoras e incluso fondos de *venture capital*. El objetivo es formar un ecosistema a partir del cual se desarrollen nuevos proyectos de base tecnológica o científica cuyo lanzamiento al mercado sea más directo, y que la tecnología y las nuevas soluciones lleguen, en este caso, a los productores rurales y a los demás actores involucrados en el mundo de la agricultura, logrando así que los nuevos emprendimientos y *startups* tengan las mayores posibilidades de sobrevivir y continuar su desarrollo.

En el Research Triangle Park de Carolina del Norte operan una gran cantidad de incubadoras y aceleradoras (algunas privadas, otras público-privadas y otras de las universidades) que se nutren de los proyectos de investigación de las tres universidades. Además, existen asociaciones de exalumnos (para el caso de la universidad estatal y la universidad de Duke) que han formado redes de inversores ángeles, lo que remarca la importancia de las redes de contactos y conexión que se genera con la universidad, funcionando esta tanto como espacio de generación de *deal-flow*,⁹³ así como espacio de apoyo a nuevos proyectos. Un punto singular

⁹³ Flujo de transacciones, en este caso asociado a las inversiones captadas por los emprendimientos.

son las oficinas de comercialización que dispone una de las universidades, la cual apoya a los emprendimientos en su desarrollo comercial.

En Iowa hay un muy desarrollado ecosistema de apoyo de *startups* de *agtech*, con iniciativas cruciales como America's Cultivation Corridor, una iniciativa público-privada (de la que participa la Universidad Estatal de Iowa) que nuclea emprendedores, inversores, incubadoras y aceleradoras dedicadas al tema *agtech* con el objetivo de dar soporte y desarrollar programas de apoyo y facilitar el crecimiento de *startups* y lograr la comercialización de nuevas soluciones innovadoras. Incluso a través del programa Cultivo, lanzado en 2021, la organización apunta a desarrollar *startups* internacionales. En esta universidad hay dos de las incubadoras más prominentes en el mundo en lo que respecta al agro 4.0, la ISU Startup Factory y la incubadora del ISU Research Park.

La Startup Factory, lanzada en 2016, es un programa de 52 semanas diseñado para proveer una salida para que los desarrollos de proyectos de los profesores, estudiantes y personal de la universidad terminen creando nuevos negocios. Desde su inceptión, este programa ha apoyado a más de 100 empresas que han conseguido inversiones por poco más de USD 30 millones. Por el lado del ISU Research Park, existen otras dos incubadoras que proveen servicios de mentoría, consultoría, acceso a inversores y oficinas de transferencia de tecnología.

Israel es un país con una larga tradición de apoyo a *startups* y empresas de base tecnológica generadoras de innovaciones. Desde los 60, lo que hoy se conoce como la Israel Innovation Authority (y hasta 2016 era la Chief Scientist Office) es el organismo encargado de generar y administrar el marco regulatorio adecuado para el desarrollo científico-tecnológico comercial de Israel, además de dar apoyo financiero y estratégico. Entre sus mayores hitos está el programa Yozma, un fondo de fondos público que fomentó la creación de una enorme cantidad de *startups* de base científica y tecnológica y que permitió el desarrollo y crecimiento del ecosistema emprendedor en Israel. Hoy en día, si bien el Yozma continúa existiendo como grupo inversor, el programa sucesor es el de Incubadoras de Innovación Tecnológica dependiente de la Israel Innovation Authority (IIA). Bajo este programa, la IIA selecciona por períodos de ocho años a 24 incubadoras privadas en todo el país y coinvierte con ellas en *startups*, en una relación de apalancamiento de aproximadamente 6 a 1. En lo que concierne específicamente a la cuestión agraria, la IIA cuenta con tres programas pertinentes: el Programa Piloto para la Agricultura, el Grand Challenges Initiative y un programa conjunto con el Ministerio de Agricultura para impulsar el desarrollo agrícola hacia 2030. Por ejemplo, el Grand Challenges Initiative es un programa amplio basado en los ODS de la ONU que entre sus esquemas tiene un foco en agro 4.0, otorgando financiamiento por 70%, 80% o 90% y hasta NIS 500.000 (aunque para proyectos de mayor impacto el monto máximo puede ser hasta NIS 1 millón, o unos USD 310.000) para empresas que desarrollen proyectos de I+D que apunten a mejorar los tratamientos poscosecha, irrigación en condiciones áridas, seguridad alimentaria y agricultura avanzada sustentable.

En Irlanda, la política pública orientada hacia el segmento agro 4.0 ha tenido en los últimos años diversos desarrollos orientados tanto al fomento emprendedor como también a la atracción de

fondos de inversión y de empresas extranjeras que quieran radicarse en el país para el desarrollo de servicios basados en conocimiento. Los principales ejes son: i) la creación de un fondo de inversión público-privado con capital de 20 millones de euros establecido en 2017 por el Ireland Strategic Investment Fund y Finistere Ventures (un VC de California) para apoyar el desarrollo de Irlanda como una “Agritech Island”; ii) el apoyo de Enterprise Ireland y la IDA Ireland, esta última centrada en promover la llegada de inversiones al país, con un foco central en los servicios basados en conocimiento (donde se incluye el desarrollo de tecnologías 4.0), y la primera orientada a apoyar al ecosistema emprendedor local, por ejemplo, invirtiendo en estas firmas, ayudándolas a innovar y ganar presencia en mercados internacionales, conectando con ellas desde la fase de *startup* y ayudándolas a crecer al punto en el que se conviertan en jugadores establecidos en el mercado internacional; iii) y el involucramiento de Teagasc, la Agriculture and Food Development Authority de Irlanda, cuya misión es proveer investigación aplicada, servicios de entrenamiento y consultoría.

Bioinsumos aplicados al agro

Esta sección retoma las políticas públicas internacionales relevadas por Starobinsky, Monzón, Di Marzo Broggi y Braude (2021) publicado en la serie de documentos de trabajo de *Argentina Productiva 2030*. A través de la Directiva 2009/128/EC – “Uso sustentable de pesticidas”, la Unión Europea busca reducir el impacto sobre la salud humana y el ambiente por el uso de pesticidas químicos. Para ello, sus países miembros debieron implementar planes nacionales que cumplan con las siguientes directivas:

- Prohibición de fumigación aérea.
- Prohibición de la aplicación de pesticidas en parques, escuelas, hospitales y otras áreas sensibles.
- Generación de espacios de formación para productores agropecuarios acerca del uso de pesticidas.
- Implementación por parte de productores agropecuarios de técnicas de manejo integrado de plagas y preferencia de métodos biológicos.
- Protección de fuentes acuíferas contra el uso de pesticidas.

En última instancia, el objetivo de la UE es reducir en un 50% el uso de los plaguicidas químicos para el año 2030.

Por su parte, la estrategia “De la granja a la mesa”, forma parte del Pacto Verde europeo y aspira a la formación de un sistema alimentario sostenible. Esto involucra una transformación tanto en el sector primario como en el industrial y comercial, que vendrá acompañada por una difusión por parte de los Estados para promover pautas de consumo saludable.

Parte de este proyecto apunta a modificar la Política Agrícola Común, ofreciendo fuentes de financiamiento a los productores agropecuarios para que avancen con explotaciones ambientalmente sustentables, a través de inversión en tecnología y prácticas ecológicas y digitales.

A su vez, la Unión Europea invertirá €10.000 millones para I+D en bioeconomía, recursos naturales, agricultura, pesca, acuicultura y medio ambiente, así como en el uso de tecnologías digitales y soluciones basadas en la naturaleza para el sector agroalimentario.

Otros agentes involucrados son la industria alimentaria, en tanto deberán utilizar productos ambientalmente sustentables, y los comercios para que aumenten la disponibilidad y el acceso a este tipo de opciones. Debe remarcar que la Unión Europea administrará el comercio exterior a los fines de que los productos que ingresen al mercado común se adapten a estas normativas. También sumará iniciativas vinculadas a la promoción del consumo, avanzando con la difusión de dietas, implementando etiquetados sobre productos y apuntando a otorgar incentivos fiscales a través de deducciones impositivas sobre el consumo de productos como frutas y hortalizas ecológicas.

Por último, por medio del Decreto N°10.375/2020, en el ámbito del Ministerio de Agricultura, Brasil puso en marcha el Plan Nacional de Bioinsumos para ampliar y fortalecer el uso de bioinsumos tanto para la producción vegetal como animal.

El programa funcionará a través de un Consejo Estratégico compuesto por referentes en la materia del sector público y privado, entre cuyos objetivos se destacan:

- Modernizar el marco regulatorio para incentivar la producción de bioinsumos.
- Centralizar y coordinar esfuerzos de I+D para la oferta de productos, tecnologías, procesos, etcétera.
- Articular instrumentos de crédito para el desarrollo y producción de bioinsumos.
- Incentivar la instalación de biofábricas.
- Estimular la capacitación y formación en buenas prácticas de producción y de uso de bioinsumos.

Alimentación saludable

Esta sección retoma las políticas públicas internacionales relevadas por Brizuela, Cova, Monzón y Varona (2022) publicado en la serie de documentos de trabajo del *Plan Argentina Productiva 2030*. El plan de acción de la Organización Mundial de la Salud para la prevención y control de las enfermedades no transmisibles (ENT) 2013-2020 (OMS, 2013) incluye diversas metas y objetivos, entre los que se encuentra “reducir los factores de riesgo modificables para las ENT y los determinantes sociales subyacentes a través de la creación de entornos que promuevan

la salud”. En este marco, se indican opciones de políticas para los Estados miembros, incluyendo el de “promover una dieta saludable”. Se consideran el fortalecimiento de políticas nacionales y planes de acción sobre alimentación y nutrición que incluyan el desarrollo de guías, recomendaciones y medidas políticas para lograr el compromiso de diferentes sectores, tales como productores, procesadores y consumidores, destinadas a:

- Reducir el nivel de sal/sodio agregada a la comida (preparada o procesada).
- Aumentar la disponibilidad, asequibilidad y consumo de frutas y vegetales.
- Reducir los ácidos grasos saturados en alimentos y reemplazarlos por ácidos grasos insaturados.
- Reducir el contenido de grasas trans.
- Reducir el contenido de azúcares libres y agregados en alimentos y bebidas no alcohólicas.
- Limitar el exceso de ingesta calórica, reducir el tamaño de porción y la densidad energética de los alimentos.

En el manual de principios rectores y marco para el etiquetado en el frente del envase para promover una dieta saludable (OMS, 2019, como se citó en Brizuela *et al.*, 2022), se definen a los sistemas de etiquetado nutricional en la parte frontal del envase, de la siguiente manera:

- Se presentan en el frente del envase de los alimentos (en el campo de visión principal) y pueden ser aplicados en todo el suministro de alimentos envasados al por menor.
- Comprenden un modelo de perfil de nutrientes subyacente que considera la calidad nutricional general del producto o los nutrientes de interés para las ENT (o ambos).
- Presenta información simple, a menudo gráfica, sobre el contenido de nutrientes o la calidad nutricional del producto, para complementar las declaraciones de nutrientes más detalladas que normalmente figuran en el reverso de los envases de los alimentos.

El objetivo principal de los sistemas de etiquetado frontal es brindar información y orientación nutricional conveniente y fácil de entender en los envases de los alimentos, para ayudar a los consumidores a comprar alimentos con conocimiento de causa y a tomar decisiones alimentarias más saludables. Asimismo, un beneficio adicional es estimular cambios favorables en la composición de los productos alimenticios (reformulación).

Otros organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) plantean al etiquetado frontal de advertencias como una de las líneas de acción recomendadas a los Estados para la prevención de la obesidad, especialmente en la niñez y la adolescencia (OPS, 2020).

Advertir sobre las cantidades excesivas de estos nutrientes críticos, asociados al sobrepeso y la obesidad, favorece la prevención de las enfermedades no transmisibles, como la diabetes o la hipertensión arterial, entre otras. Estos datos dispuestos de una manera clara, sencilla y directa aportan transparencia y se convierten en una herramienta más para que los consumidores puedan mejorar el acceso y la información de los alimentos y así disminuir el consumo de aquellos con exceso de nutrientes críticos.

En relación con el sistema de etiquetado frontal, un estudio llevado a cabo por el Programa Nacional de Alimentación Saludable y Prevención de la Obesidad del Ministerio de Salud evaluó el desempeño del Etiquetado Nutricional Frontal de advertencias, obligatorio y con el formato de octógonos negros en la cara frontal de los envases, en comparación con los sistemas GDA con colores (semáforo) y GDA monocromático (rojo),⁹⁴ concluyendo que el sistema de octógonos negros resulta superior en cuanto a la capacidad de los consumidores para identificar correctamente un producto con al menos un nutriente crítico, ya que permite distinguir los alimentos saludables de aquellos que no lo son y comprender la información brindada en corto tiempo, por ser clara, precisa y uniforme, lo cual influye en el patrón de compra (Ministerio de Salud de la Nación, 2020).

Análisis de las políticas nacionales y subnacionales para desarrollar capacidades nacionales para el Eje 1

Tecnologías 4.0 para el agro

Esta sección retoma las políticas públicas nacionales y subnacionales relevadas por Lachman, *et al.* (2022b). Se presentan los principales instrumentos vigentes desde el lado de las políticas públicas que inciden de forma directa sobre el desarrollo del ecosistema de agro 4.0. Se trata de herramientas implementadas desde el nivel nacional –en particular, desde el Ministerio de Desarrollo Productivo y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca–, así como también por alguna de las provincias más grandes del país.

A nivel nacional el Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0, lanzado en abril de 2021 por el Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación se orienta a articular el conjunto de herramientas que buscan fomentar el desarrollo de tecnologías 4.0, incidiendo directamente sobre lo que involucra al vertical del agro. Luego, se identificaron dos espacios específicos de política pública que también apoyan al sector del agro 4.0. En primer lugar, una serie de programas de financiamiento al ecosistema emprendedor, orientados a diversos tipos de proyectos y de actores, estando alguno de estos instrumentos contemplados dentro del plan nacional antes mencionado para tecnologías 4.0. Y en segundo lugar, iniciativas convergentes de parte de la Subsecretaría de Economía del Conocimiento del Ministerio de Desarrollo

⁹⁴ GDA (Guideline Daily Amount): el etiquetado frontal GDA se define como la guía que indica la cantidad de energía (Kcal) y el máximo de grasas, grasas saturadas, sodio y azúcares, referenciados al porcentaje que estos nutrientes representan en las necesidades diarias de una dieta promedio de 2000 Kcal

Productivo, por un lado; y de la Dirección de Innovación, Buenas Prácticas y Tecnología Agrícola de la Subsecretaría de Agricultura del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP), por el otro, tendientes a generar un esquema de gobernanza, que permita articular el diseño de políticas públicas con el mundo empresarial y los otros actores que participan del ecosistema.

El Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0 comprende 56 iniciativas de política pública y, tal como se mencionó, fue creado por el Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. El objetivo general del plan consiste en impulsar la adaptación del entramado productivo al paradigma 4.0 y promover el desarrollo de soluciones tecnológicas 4.0 en el país. Cabe destacar que, como su nombre lo indica, se trata de un plan de desarrollo transversal a todos los sectores económicos del país, siendo el agro uno más de estos.

Sus acciones se organizan en torno a las siguientes funciones:

- **Sensibilización y capacitación:** difusión de tecnologías 4.0 y su aplicación práctica, contribución para el desarrollo de habilidades y competencias en los distintos actores del entramado productivo.
- **Asistencia técnica:** asesoramiento para la adopción y desarrollo de soluciones 4.0.
- **Apoyo a la inversión:** financiamiento para la adopción o desarrollo de soluciones 4.0.
- **Infraestructura institucional:** creación y/o fortalecimiento de espacios institucionales que gestionen los procesos de difusión y/o provean servicios de asistencia para la adopción y desarrollo de tecnologías 4.0.

En materia de financiamiento emprendedor, la Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo de Nación (que absorbió muchas de las competencias del Ministerio de Desarrollo Productivo en julio de 2022) cuenta con una serie de programas, dos de los cuales comenzaron en 2017, en el marco del lanzamiento del Fondo Fiduciario para el Desarrollo del Capital Emprendedor (FONDCE). Inicialmente, el FONDCE contó con tres fondos, un Fondo Semilla, un Fondo Aceleración y un Fondo Expansión.

El Fondo Aceleración es un esquema de coinversión público-privada bajo el cual tres aceleradoras invierten en *startups* y luego estas tienen la posibilidad de acceder a una inversión pública. Las *startups* invertidas por las aceleradoras científicas pueden recibir el doble de la inversión que recibieron por parte de la aceleradora, con un tope de USD 300.000; mientras que las *startups* invertidas por las tecnológicas reciben una coinversión de uno a uno con un tope de USD 50.000. El Fondo Expansión, por otro lado, consiste en la selección de tres administradores de fondos privados que debían poner en marcha cada uno un fondo nuevo con un mínimo de inversión privada de USD 18 millones, y el Estado aportaría USD 12 millones.

En reemplazo del Fondo Semilla, la Subsecretaría de Emprendedores lanzó nuevos programas de financiamiento, con fondos provenientes del FONDCE; los más relevantes son Escalar Emprendedores y Emprendimientos Dinámicos.

Escalar Emprendedores tuvo su primera convocatoria en 2020 y consistió en un programa de financiamiento a través de créditos a tasa cero o a través de Asistencia Financiera Líquida Condicionada. Los montos de financiamiento iban de los \$3 millones a los \$15 millones y apuntaban a emprendimientos que buscaran realizar adopción y/o desarrollo de tecnologías que permitan escalar la producción y/o la provisión de bienes y prestación de servicios que ofrece el emprendimiento; ampliación y/o mejoras de infraestructura y adquisición de activos físicos que permitan escalar la producción y/o la provisión del servicio; mejoras de procesos (correspondientes a las distintas actividades que lleva adelante el emprendimiento para producir los bienes y/o prestar los servicios), obtención de certificaciones y habilitaciones y/o realización de ensayos tendientes a cumplir con los objetivos de escalar la provisión de bienes y servicios.

Por otro lado, Emprendimientos Dinámicos, lanzado en agosto de 2021, contó con un presupuesto de hasta \$700 millones para apoyar emprendimientos de base tecnológica y científica. El financiamiento máximo para los emprendimientos de base tecnológica era de \$3 millones, mientras que para los de base científica era de \$5 millones. En ambos casos, la asistencia se instrumentaba a través de ANR, y el financiamiento no podía superar el 70% del costo total del proyecto. Paralelamente, se abrió una convocatoria para entidades de apoyo (incubadoras, aceleradoras, cámaras empresariales, universidades, entre otras instituciones especializadas en apoyo a emprendedores) para que acompañen los proyectos seleccionados.

A finales de 2021, el Ministerio de Desarrollo Productivo lanzó, a través de la Subsecretaría de Economía del Conocimiento, un proyecto de mesas de trabajo para el desarrollo tecnológico del sector agropecuario. El objetivo es que, en estas mesas, de las que participarán startups, cámaras empresariales, INTA, INTI y CONAE, se aborden tanto los desarrollos biotecnológicos, como aquellos que impacten en la transformación digital y profundización del paradigma 4.0 en el agro. Las mesas se dividen en subgrupos según la temática buscando llegar a diagnósticos que permitan el diseño de políticas públicas que contribuyan al desarrollo del sector. Esta mesa de trabajo, coordinada por entonces con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (actual Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca), confluye con las acciones que venía desarrollando la Dirección de Innovación, Buenas Prácticas y Tecnología Agrícola de la Subsecretaría de Agricultura. Entre ellas, cabe destacar el mapeo de los emprendimientos *agtech*, a través de una convocatoria que a la fecha permitió registrar 150 emprendimientos.

Con la información recabada, esta dirección persigue la vinculación entre distintas empresas, en aras de hacer confluir proveedores con capacidades complementarias para cogenerar nuevas soluciones. Esta iniciativa podría potenciarse con el Programa Producción Colaborativa Economía del Conocimiento, actualmente bajo la órbita de la Secretaría de Economía del Conocimiento. A través de la convocatoria 2021, destinada a financiar proyectos asociados que involucren al menos dos actividades de la economía del conocimiento para llevar adelante desarrollos en forma colaborativa, se financiaron 20 proyectos, 5 de los cuales correspondieron de hecho al vertical *agtech*, por un monto total de \$88 millones en ANR y \$168 millones en crédito.

Ya con perspectiva de vinculación cliente-proveedor, la Secretaría de Economía del Conocimiento cuenta con el Programa Solucion, cuya primera convocatoria se dio durante la pandemia y la segunda durante mayo y junio de 2022. La primera tuvo el objetivo de potenciar tanto a los sectores de la economía del conocimiento (software y servicios informáticos y digitales, producción y postproducción audiovisual, biotecnología, nanotecnología, industria aeroespacial y satelital, ingeniería, industria 4.0, organismos descentralizados del Estado y universidades) como a aquellos tradicionales afectados por la pandemia. El financiamiento otorgado consistía en un ANR con un máximo de \$15 millones. A través de la primera edición del Solucion se apoyó a 171 proyectos por un monto total de \$1.700 millones. Entre los 171 proyectos, 33 correspondieron a emprendimientos del vertical *agtech*, los cuales recibieron aportes no reembolsables por un total de \$340 millones, lo que representa aproximadamente un 20% del financiamiento otorgado por este programa. Por su parte, una derivación de este programa, llamada Solucion Verde, tiene por objetivo apoyar a proyectos sustentables (entendido de forma amplia, tanto económica como ambiental) y/o que busquen generar sustentabilidad. Este último se materializa a través de ANR de hasta \$20 millones.

A nivel subnacional, una serie de provincias implementaron una agenda muy nutrida orientada al fomento del ecosistema ligado al mundo del agro 4.0. En particular las provincias de Santa Fe y Córdoba son las que más avances realizaron en esta materia, a partir del diseño de instrumentos específicos para este sector. También, en menor medida, la provincia de Mendoza cuenta con algunos programas relevantes para este vertical. Poder identificar el rol desempeñado por las provincias constituye una tarea relevante de cara a la propuesta de políticas públicas a nivel nacional, dado que esta agenda debería poder articularse y apoyarse en las capacidades e instituciones que se encuentren actualmente en vigencia.

De forma estilizada, en estas provincias se identificaron cuatro ejes centrales de intervención y de promoción al ecosistema del agro 4.0: i) financiamiento al desarrollo de nuevas tecnologías; ii) promoción al desarrollo de capacidades empresariales; iii) fomento a la adopción; y iv) vinculación entre actores del ecosistema. A continuación, se presentan de forma sintética los modos en que las provincias de Córdoba, Santa Fe y Mendoza comenzaron a implementar programas específicos sobre estos elementos.

Estas tres provincias, con Santa Fe a la cabeza a través del trabajo de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (ASACTEI), cuentan con una considerable variedad de programas e instituciones que apoyan el desarrollo de la cadena a través del financiamiento a emprendedores y nuevas tecnologías de bienes y servicios, crucial para impulsar el paradigma 4.0 en el agro.

Por el lado de Santa Fe se destacan tres programas destinados a financiar actividades de I+D en etapas avanzadas o validación de tecnologías e ideas de negocio con el objetivo principal de introducir nuevos bienes y servicios en el mercado, el Emprende EBT, el Santa Fe Innova y el Apoyo a Proyectos de Desarrollo y Transferencia de Tecnología (DTT). Estos tres programas abordan objetivos, modalidades y áreas de desarrollo similares, aunque con algunas diferencias en los tipos de proyectos que son focalizados. Los beneficiarios de estos programas pueden

ser *startups*, *spin-off* de empresas, centros de investigación, instituciones como el INTA, universidades, pymes, etc., y, si bien el monto de los beneficios varía según cada programa,⁹⁵ el financiamiento se da a través de ANR. Entre las tecnologías que afectan al agro 4.0 financiadas en estos programas se destacan: IoT, *blockchain*, apps móviles, *data mining*, *big data*, sensorización, inteligencia artificial, *machine learning*, agrotecnología (en forma general), conectividad y nanotecnología.

Asimismo, cabe destacar que la ASACTEI y la provincia también son socios (con una participación minoritaria del 10% pero también contribuyendo en distintas actividades) del nuevo fondo SF500, fondo de capital emprendedor lanzado por Bioceres. El objetivo del SF500 es, y de allí deriva su nombre, formar un fondo de USD 300 millones que a lo largo de diez años fomente la creación de 500 nuevas *startups* en verticales de “ciencias de la vida”, incluyendo al vertical 4.0. Los proyectos aprobados reciben financiamiento según su estadio (entre USD 50.000 y USD 250.000 para etapas tempranas y hasta USD 1 millón para etapas más avanzadas) y también asistencia técnica, mentorías, *networking*, armado de modelo de negocio, consultorías legales, etcétera. Además de invertir en emprendimientos, el SF500 invertirá también en instituciones, y en fondos que contribuyan al crecimiento y fortalecimiento de todo el ecosistema regional.

En Córdoba, la Agencia Innovar y Empezar –que comenzó a operar en 2018– lanzó en 2020 dos convocatorias puntuales que apuntaban tanto al desarrollo tecnológico del agro en general, como de las tecnologías 4.0 en particular, un fondo de inversión en emprendimientos *agtech*, y otro de emprendimientos 4.0. Ambos fondos contaban cada uno con un presupuesto de \$10 millones para invertir en *startups* en estadio semilla (con un MVP validado, pero sin ventas) o en fase temprana (con un prototipo validado y algunas ventas o clientes). Los verticales que entraban dentro de la convocatoria *agtech* eran tecnologías de comercialización, logística y distribución de alimentos e insumos y financiamiento; eficiencia energética y energía sostenible; tecnología aplicada al gerenciamiento y desarrollo; robótica y automatización; IoT; *big data*; y agricultura de precisión. En la convocatoria 4.0 se incluían, además de *big data*, IoT y robótica, inteligencia artificial, fabricación aditiva, realidad aumentada y realidad virtual, ciberseguridad, y visión artificial. La Agencia también cuenta con convocatorias continuas (Córdoba Acelera) y coinvierde con inversores ángeles, aceleradoras y otros fondos también, en todos los casos con tickets de entre \$1 y \$2 millones.⁹⁶

Por último, Mendoza cuenta con la agencia Mendoza Empezar que provee créditos y ANR a emprendedores. En marzo de 2021 cerraron dos convocatorias de dos programas de financiamiento distintos, el Mendoza Empezar X 100 y el Fondo de Expansión. El primero es un programa cuyo objetivo es financiar proyectos que estén acompañados por incubadoras en

⁹⁵ En las últimas convocatorias de estos tres programas (todas lanzadas hacia finales de 2021) los ANR iban desde un máximo de \$2 millones a un máximo \$6 millones según la modalidad de aplicación al EBT; hasta \$3,125 millones en el Santa Fe Innova; y hasta \$3 millones en el DTT.

⁹⁶ La agencia espera en el futuro cercano aumentar estos montos a \$6 y \$20 millones.

estadios tempranos que tengan altas capacidades de generar innovaciones tecnológicas y que estén vinculados al agro, la industria, el comercio y actividades productivas en general con un ANR de máximo USD 5.000 (otorgado en pesos). El segundo fondo tenía como foco impulsar el desarrollo de Emprendimientos Tecnológicos de Alto Impacto. El programa contó con un presupuesto de USD 980.000 y otorgaba hasta USD 300.000 (también equivalente en pesos) por iniciativa en aportes reembolsables.⁹⁷ Los beneficiarios podían ser empresas o prestadores de servicios con mínimo tres años de existencia y que estuvieran acompañados por otras empresas, aceleradoras, universidades o centros de investigación y que trabajaran en alguna de las siguientes áreas: IoT, nanotecnología, biotecnología, energías renovables, inteligencia artificial, ciencia de los materiales, almacenamiento de energía, computación cuántica, ciencias de la salud, y tecnología de la información.

En cuanto a iniciativas para el desarrollo de capacidades empresariales, en la provincia de Santa Fe, bajo la órbita de la ASACTEI se destaca el programa Germinar, que tiene como principal objetivo consolidar una red de iniciativas y espacios con capacidad de potenciar el ecosistema de innovación tecnológica autosustentable en la provincia de Santa Fe. Entre sus ejes, se encuentra el de consolidar espacios con la infraestructura tecnológica adecuada para albergar y potenciar a las futuras empresas de conocimiento en un sistema sinérgico. En esta línea, en el año 2021 se lanzó desde la ASACTEI la convocatoria CDAT 2021, destinada a financiar mediante ANR la creación y/o el fortalecimiento de espacios destinados a brindar apoyo en la creación y consolidación de Empresas de Base Tecnológica (EBT). Para el fortalecimiento de espacios de incubación preexistentes el monto máximo del ANR fue de \$8 millones por proyecto y para la creación de nuevos espacios este monto ascendió a \$20 millones.

Otra iniciativa destacable a nivel subnacional es la incubadora *agtech* de Río Cuarto, Córdoba, lanzada en octubre de 2021. El objetivo de la incubadora es asistir a los emprendimientos, industrias y comercios en cuestiones como diseño, estructura y evaluación técnica de proyectos, asesoramiento y acompañamiento a la hora de presentarse a programas de financiamiento, ayudarlas a vincularse con instituciones del sistema tecnológico y científico, vincularlas con inversores privados, y generar espacios de formación y capacitación en nuevas metodologías que lleven a la aceleración del crecimiento y escalado de los proyectos.

En Mendoza, a través de la colaboración de varios organismos,⁹⁸ se lanzó el Programa Industria 4.0 cuyo objetivo es asistir a las pymes de la provincia para lograr su transformación digital, con el fin de mejorar su competitividad y afrontar los cambios tecnológicos disruptivos que se están dando. El programa tiene cinco ejes que van desde el autodiagnóstico, el relevamiento de capacidades para brindar soluciones tecnológicas en la provincia (lo que llevó al armado de un catálogo certificado), vinculación entre empresarios y el mundo del desarrollo tecnológico, acceso a financiamiento, y acompañar a las empresas de la provincia con distintas asistencias

⁹⁷ Un 5% de la asistencia podía ser otorgada en ANR.

⁹⁸ El Ministerio de Economía y Energía de Mendoza junto con el INTI, el INTA, la UTN Mendoza, la UNCuyo, el Polo TIC y el Instituto de Desarrollo Industrial, Tecnológico y de Servicios (IDITS).

y capacitaciones, en los ejes definidos según el relevamiento de necesidades y realizar el seguimiento de esos casos.

Como sucede a nivel internacional, hay evidencia de un mayor número de iniciativas orientadas hacia el desarrollo de tecnologías y no tanto su adopción. Entre las iniciativas subnacionales para fomentar la adopción, se destaca la iniciativa para la adopción de nuevas tecnologías de la provincia de Córdoba, llevada a cabo en conjunto por el Ministerio de Agricultura y la Agencia Innovar y Emprender, dentro del esquema general del Programa Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).⁹⁹ Dentro de este programa se incluye el uso de *agtech* y/o prácticas de agricultura de precisión. Con respecto a las prácticas ligadas al uso de *agtech*, la Agencia selecciona en primera instancia emprendimientos de este vertical para participar del programa que brinden servicios al sector categorizados en cuatro áreas: tecnología aplicada al gerenciamiento y desarrollo, IoT, robótica-automatización, y eficiencias energéticas-energía sostenible. Luego, los productores que certifiquen que son usuarios de al menos uno de los emprendimientos podrán acreditar la práctica, y reciben con ello un pequeño beneficio de hasta \$43.200.

Como se mencionó, el programa BPA también incluye la práctica agricultura de precisión, y para poder adherir a ella los productores deberán presentar una prescripción o mapa de aplicación de las labores de siembra, pulverización y/o fertilización. El beneficio máximo es idéntico al de la práctica *agtech*.

Uno de los espacios más relevantes destinados a fomentar la vinculación entre desarrolladores y usuarios lo constituye la Agencia Innovar y Emprender de Córdoba, la cual realiza no solo coinversiones, sino también actividades que buscan unir a los emprendedores y desarrolladores de tecnologías con posibles clientes y usuarios. En ese sentido, la Agencia es parte del Hub de Innovación Agtech (de índole público-privada), que fomenta el desarrollo del ecosistema agrícola-tecnológico a partir de dos iniciativas: la Academia Agtech y los Espacios de Productores, los *meetups*¹⁰⁰ por verticales. En la Academia se llevan a cabo ciclos de sensibilización y formación en tecnologías disruptivas, de estos ciclos participan empresas vinculadas (directa o indirectamente) al agro, productores y emprendedores *agtech*. La estructura tiene tres componentes: primero los emprendimientos muestran sus desarrollos, luego empresas de base tecnológica de otras industrias explican cuál puede ser el impacto de las tecnologías y cómo se pueden aplicar para potenciar al agro, y por último referentes en las tecnologías presentadas comentan sus experiencias. Los Espacios de Productores generan encuentros que favorecen la discusión y el intercambio entre productores. El objetivo es relevar sus demandas y necesidades en torno a la oferta actual de productos y servicios, y sus

⁹⁹ Se trata de un programa del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la provincia lanzado en 2017, que hasta la edición de 2020 inclusive alcanzó a más de 10.800 productores, nucleados en alrededor de 4 millones de hectáreas, tiene previsto para 2021 otorgar \$250 millones, alcanzando los \$730 millones si se suman los montos de financiamiento de ediciones anteriores. Cabe destacar que el programa fue convertido en Ley provincial en 2019.

¹⁰⁰ Reuniones informales de trabajo orientadas a promover la creación de redes y los vínculos entre los participantes.

problemáticas específicas diferenciadas por zona geográfica, para ayudarlos en la búsqueda de la tecnología que pueda potenciar sus actividades.

También a nivel público-privado, con participación del gobierno municipal de Rosario, el gobierno de la provincia, la Universidad Nacional de Rosario y la Universidad Tecnológica Nacional, se destaca la labor del Polo Tecnológico de Rosario. El Polo está dividido en ocho comisiones directivas, una de las cuales es la Comisión Agtech, y cuyo objetivo reciente ha sido acercar a las empresas del Polo a las necesidades de los productores. Para ello han mantenido reuniones con dos estaciones experimentales del INTA de la Provincia de Santa Fe, a partir de las cuales se han identificado una serie de necesidades y puntos a desarrollar que devinieron en la firma de un convenio de colaboración entre ambas instituciones. Algunas de esas necesidades ya tienen soluciones provistas por empresas del Polo, y otras generan la necesidad de nuevos desarrollos. Para este último caso el plan de acción es difundir estas necesidades entre las empresas del Polo y fomentar el asociativismo para presentar distintas soluciones al INTA y que luego este decida qué opción tomar. El INTA actuará tanto como validador de las tecnologías como comprador.

En síntesis, tanto el Estado nacional como algunos de los Estados subnacionales con mayor capacidad económica y grado de desarrollo de capacidades, tanto del subsistema empresarial como del científico-tecnológico, han desplegado desde el comienzo de esta década programas y acciones tendientes a promover el desarrollo del agro 4.0. La agenda de esas intervenciones evidencia tanto ámbitos de complementación y confluencia, así como también espacios relativamente “vacíos”. De allí que, en primer lugar, uno de los aspectos que se requiere para elevar el potencial de impacto de dichas intervenciones sea el de tender a consolidar la coordinación de esfuerzos, tanto a nivel nacional entre los distintos ministerios como en la interacción interjurisdiccional (nación-provincias) y público-privada.

Esa coordinación no debiera solo apuntar a las acciones ya definidas, sino también a poder trazar la ruta hacia adelante, identificando las necesidades de intervención y distribuyendo responsabilidades, en línea con la experiencia que Brasil ha comenzado a transitar. Esto serviría, entre otras cosas, para fortalecer la complementación entre los esfuerzos nacionales y provinciales. A modo de ejemplo, y aunque se podría pensar que atañe al conjunto de la política de desarrollo emprendedor, el Estado nacional podría focalizarse en fortalecer el capital de riesgo en etapas más avanzadas de inversión (Serie A en adelante) por un lado, y en las provincias con menor grado de desarrollo apuntalar las etapas iniciales (capital semilla) y a las instituciones del ecosistema.

Asimismo, permitiría aunar esfuerzos para intervenir en dimensiones relevantes como el cambio de conducta que debería impulsarse en ciertos actores, en particular, los del complejo metalmeccánico abocado a la mecanización agrícola. Si bien algunas iniciativas existentes a nivel nacional ofrecen incentivos potencialmente aprovechables con ese fin, la importancia de la problemática podría ameritar un abordaje más dirigido, que contribuya a convocar la atención. En el mismo sentido, existen iniciativas a nivel provincial (más puntualmente, en la provincia de Córdoba) que marcan un sendero interesante para fomentar el cambio de conducta

de los productores agrícolas y utilizarlo como tractor del desarrollo tecnológico nacional. Aprovechar la experimentación a nivel local y contemplar su escalamiento a nivel federal podría contribuir a acelerar el proceso de aprendizaje de la política pública y elevar la eficiencia de los dispositivos escalados.

Bioinsumos aplicados al agro

Esta sección retoma las políticas públicas nacionales relevadas por Starobinsky, Monzón, Di Marzo Broggi y Braude (2021). El marco institucional y las políticas de promoción específicamente orientadas al sector de bioinsumos aún son limitados. Sin embargo, existen algunas iniciativas institucionales, entre las que se destaca la creación del Comité Asesor en Bioinsumos de Uso Agropecuario (CABUA) en el año 2013 (Resolución SAGyP 7/2013). Su finalidad es orientar políticas públicas a través del asesoramiento sobre requisitos de calidad, eficacia y bioseguridad de bioinsumos agropecuarios, y efectuar recomendaciones en torno a la normativa para su regulación.

La constitución del Comité fue resultado de la consolidación del segmento de bioinoculantes para cultivos extensivos, y del involucramiento en su conformación de investigadores reconocidos del campo de los biofertilizantes. El CABUA se encuentra desde su inicio integrado por un conjunto de miembros que representan organizaciones e intereses diversos, y enfrentan el desafío de la articulación y la búsqueda de consensos (Goulet y Hubert, 2020, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

Hasta su modificación en 2021, el Comité se encontraba conformado por: a) un representante de la Dirección Nacional de Producción Agrícola y Forestal de la Subsecretaría de Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca; b) un representante de la Dirección Nacional de Agroquímicos, Productos Veterinarios y Alimentos del SENASA; c) un representante de la Dirección de Calidad Agroalimentaria del SENASA; d) un representante de la Dirección de Laboratorio Vegetal de la Dirección General de Laboratorio y Control Técnico del SENASA; e) un representante de la Asociación Argentina de Microbiología; f) un representante de la Dirección de Biotecnología de la Dirección Nacional de Procesos y Tecnologías de la Subsecretaría de Agregado de Valor y Nuevas Tecnologías de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca; g) los demás representantes de las instituciones miembro de la CONABIA con competencias científicas en la materia que se postulen para integrar el comité; h) observadores y expertos convocados en función de los temas para tratar.

A partir de su creación, y durante el período 2014-2019, se llevaron adelante reuniones con cierta periodicidad y un conjunto de acciones tales como cursos, encuestas, foros y relevamientos que dieron lugar a propuestas concretas como normativas de registros y clasificación de bioinsumos, disminución en el costo de registro ante el SENASA, y la aprobación del Plan de Acción para el Sector de los Bioinsumos de uso Agropecuario (Resolución SAYBI 105/2019).

Luego, a raíz de la crisis sanitaria COVID-19 y ante la dificultad para avanzar con los proyectos en marcha que requerían actividades presenciales, el CABUA enfrentó un período de

desarticulación y limitación de sus iniciativas. Es por ello que, en abril de 2021, por medio de la Resolución 41/2021 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Secretaría de Alimentos, Bioeconomía y Desarrollo Regional), se relanzó la actividad del Comité a través de una serie de modificaciones en su estructura y pertenencia institucional. Actualmente, el CABUA se enmarca en el ámbito de la Coordinación de Innovación y Biotecnología de la Dirección Nacional de Bioeconomía de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, y lo integran representantes de diversas instancias gubernamentales; instituciones del sistema científico tecnológico nacional como INTA, INTI, CONICET; entidades regulatorias competentes, como el SENASA, cámaras sectoriales y diversos especialistas; entre otros.

Sus funciones son:

- Asesorar a las autoridades sobre los temas referidos a bioinsumos de uso agropecuario.
- Proponer nuevas normas y emitir opinión sobre la regulación y su implementación en relación con los bioinsumos de uso agropecuario.
- Proponer criterios técnicos, prioridades y acciones en relación con las políticas, planes, programas y proyectos en la materia.
- Asesorar acerca del otorgamiento del Sello Bioproducto Argentino, cuando se trate de la evaluación de un desarrollo de bioinsumo de uso agropecuario.

El Comité actualmente se encuentra activo, trabajando en diversas actividades, entre las que se destacan la presentación del Proyecto de Ley de Creación del Registro Nacional Simplificado de Empresas y Elaboradores Nacionales de Bioinsumos, el proceso de evaluación para otorgamiento del Sello Bioproducto Argentino, junto con la ejecución del Plan de Acción para el Sector de los Bioinsumos de Uso Agropecuario como herramienta estratégica para la planificación de sus acciones. Para su fortalecimiento como actor clave en la promoción del sector y difusión de bioinsumos, el CABUA podría incluir entre sus principales funciones la coordinación de acciones y políticas de manera integrada, con la participación de otros actores relevantes que hoy no conforman el Comité.

De manera complementaria a las iniciativas lideradas por el CABUA, se puede destacar la conducción de capacitaciones, charlas y foros llevados a cabo por otras organizaciones como INTA, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, universidades nacionales, IICA, CABIO, SENASA, Grupos CREA, asociaciones de productores como la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), entre otras, en torno a la difusión y adopción de bioinsumos en la agricultura. Estos encuentros, aunque esporádicos, constituyen espacios de interacción, intercambio de información, y consolidación de la institucionalidad en el marco de un sector emergente. Entre ellos se puede destacar la Jornada Nacional de Bioinsumos, que cuenta con seis ediciones. En ese sentido, cabe mencionar el apoyo del IICA, de la Organización de los Estados Americanos, organismo que a partir del año 2010 ha incorporado en su agenda, como prioritaria, la problemática de tecnologías alternativas a los pesticidas químicos y promueve para ello la coordinación de acciones entre los Estados miembros, principalmente a

nivel regional, para la difusión de bioinsumos para la agricultura (específicamente de aquellos que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo enmarcados en el campo de la biotecnológica) (Goulet y Hubert, 2020, como se citó en Starobinsky *et al.*, 2021).

Por otra parte, entre las políticas de promoción para el sector solo un instrumento ha sido específicamente orientado a bioinsumos: el Programa de Fomento del Uso de Bioinsumos Agropecuarios (PROFOBIO) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (Resolución 256/2015). El PROFOBIO, implementado por dicha Secretaría en el año 2015, estaba destinado a promover el uso de bioinsumos por parte de productores agropecuarios a través de la provisión de estos insumos para pruebas a campo, capacitaciones para su aplicación, y relevamiento de información. Contó con un financiamiento total de \$2.460.000, de los cuales \$2.000.000 fueron destinados a la compra de bioinsumos para ser distribuidos por única vez entre productores, y el monto restante a cursos de difusión y capacitaciones. En función de información de la Unidad de Auditoría Interna de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, se puede destacar que las actividades de capacitación planificadas no fueron conducidas, y los fondos se utilizaron solo para la adquisición de bioinsumos que fueron distribuidos entre productores y cooperativas de Entre Ríos, Tucumán, Misiones, La Rioja, San Juan, Santa Fe, Buenos Aires, Corrientes, Formosa, Catamarca, Salta y Córdoba. Sin embargo, no se ha llevado a cabo una evaluación de los resultados del Programa.

CUADRO 17. INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS DE PROMOCIÓN VIGENTES

I+D organismos de ciencia y tecnología	FONCYT Proyectos de Investigación y Desarrollo (PID), FONCYT Proyectos de Investigación y Desarrollo de Investigadores en Áreas Prioritarias (PRH-PIDRI), CONICET Proyectos de Investigación Orientada (PIO), CONICET Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs), CONICET Reuniones Científicas y Tecnológicas, Becas Internas Postdoctorales CONICET/AACREA.
I+D empresas	FONCYT Ideas-Proyectos Concertados con Empresas (IP-PCE), FONTAR Proyectos de Asistencias Tecnológicas Modalidad Grupal / Individual (ANR ASIS-TEC), FONTAR Proyectos de integración en empresas de recursos humanos altamente calificados (RRHH AC), FONTAR ANR Proyectos de Innovación Tecnológica, CONICET Investigadores en empresas / Becas cofinanciadas, CONICET Capacidades de Desarrollo Tecnológico para empresas, CONICET Servicios Tecnológicos de Alto Nivel.
Nuevos emprendimientos	Fondo Semilla, PAC Emprendedores de Impacto, Fondo Aceleración, Fondo Expansión, Escalar Emprendedores, Beneficios Ley de Emprendedores, FONCYT PICT <i>startup</i> .
Mipymes y empresas	PAC Empresas, Producción colaborativa de Economía del Conocimiento, Convocatorias FONDEP, Créditos LIP para inversión productiva, Créditos del BICE (Inversiones y Capital de Trabajo), Créditos del Banco Nación, Ley de Promoción del Desarrollo y Producción de la Biotecnología Moderna, Ley Régimen de Promoción de la Economía del Conocimiento, Programa Fortalecer.

Además del PROFOBIO, existían otros instrumentos sectoriales dentro de los que podía enmarcarse la promoción de bioinsumos, tales como FONREBIO (Fondo Tecnológico Argentino - FONTAR), Áreas Potenciales (Agroindustria y Medio Ambiente) (FONARSEC), EMPRETECNO (FONARSEC) y ANR Bio, Nano, Tics, de la Agencia de I+D+i, y ANR (PROSAP) del MAGyP, que apuntaban al desarrollo de capacidades productivas e innovativas sectoriales, pero también han sido discontinuados.

En la actualidad, existe un conjunto de herramientas transversales de apoyo a pymes y emprendedores y para promover la investigación científica-tecnológica, junto a programas y leyes nacionales de promoción sectorial de biotecnología y economía del conocimiento, en los cuales pueden llegar a encuadrarse las iniciativas en torno a bioinsumos para la agricultura.

Entre los instrumentos de carácter transversal o sectorial vigentes a los que podrían acceder empresas, proyectos o grupos de investigación, para promover la investigación y producción de bioinsumos, se pueden destacar los siguientes:

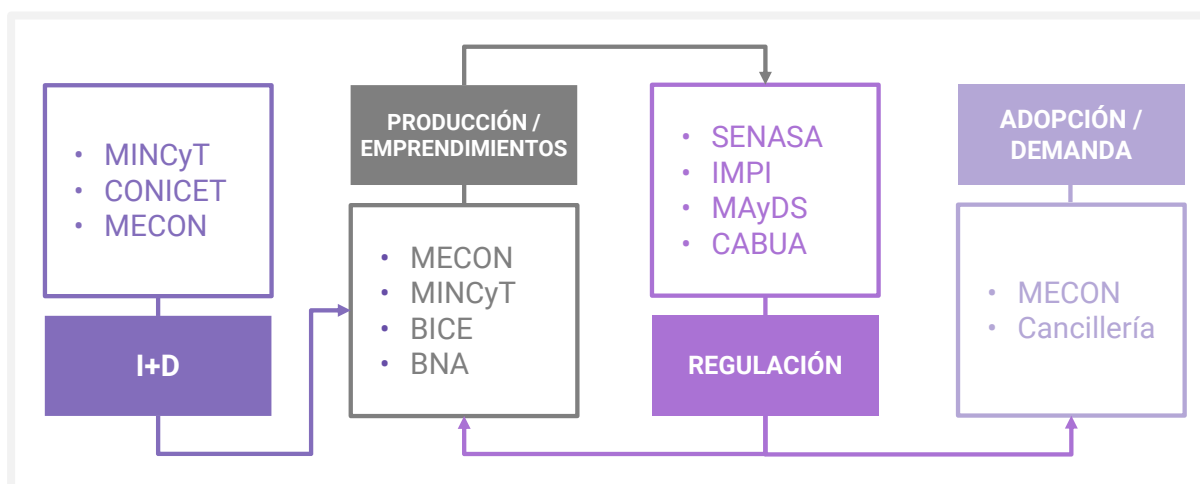
- 1. Promoción de nuevos emprendimientos:** la Ley de Emprendedores N° 27.349 y las Secretarías de Industria y Desarrollo Productivo y de Economía del Conocimiento del Ministerio de Economía ofrecen una cartera de instrumentos de apoyo a nuevos emprendimientos que abarcan aportes no reembolsables, préstamos a tasas subsidiadas y beneficios impositivos.
- 2. Escala / Aceleración:** a través de la Subsecretaría de Emprendedores, de manera articulada con Aceleradoras e Incubadoras registradas, aquellas empresas o emprendedores que cuenten con proyectos financiados por parte de alguna de dichas organizaciones pueden contar con recursos adicionales para escalar o acelerar sus iniciativas.
- 3. Pymes / Empresas:** la Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo cuenta con una serie de instrumentos de aportes no reembolsables para mejoras de transformación digital, desarrollo sostenible, calidad, diseño e innovación, o desarrollo exportador. Asimismo, se encuentran líneas de financiamiento a tasas subsidiadas a través del Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE) y del Banco Nación para inversiones productivas, capital de trabajo y comercio exterior.
- 4. Ley de Promoción del Desarrollo y Producción de la Biotecnología Moderna y la Nanotecnología:** beneficios impositivos para empresas que cuenten con proyectos de investigación y desarrollo basados en biotecnología moderna o nanotecnología que impliquen un impacto tecnológico fehaciente.
- 5. Ley de Economía del Conocimiento:** beneficios impositivos para empresas cuya actividad se enmarque en la economía del conocimiento y lleven adelante mejoras continuas de calidad, I+D y/o exportaciones.
- 6. Investigación y desarrollo (sistema científico-tecnológico):** la Agencia Nacional de Promoción de I+D+i, a través del Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica

(FONCYT) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, cuenta con una serie de instrumentos para subsidiar proyectos y becarios que desarrollen actividades de investigación y desarrollo, así como para impulsar emprendimientos de base tecnológica y proyectos asociativos con empresas.

7. Innovación y desarrollo tecnológico (empresas): la Agencia Nacional de Promoción de I+D+i, a través del FONTAR, cuenta con una serie de instrumentos para subsidiar o financiar proyectos de innovación y desarrollos tecnológicos en empresas.

Fundamentalmente, cabe mencionar que el conjunto de instrumentos identificados se encuentra orientado a la promoción de la oferta de manera desarticulada y descentralizada; para potenciar la promoción de un sector emergente se requiere un esquema integrado y articulado de políticas que aborden todas las dimensiones involucradas en su desarrollo, del plano tanto de la oferta como de la demanda. Para ello se destaca la relevancia de constituir un esquema de políticas públicas coordinado que contemple tanto la integralidad y complementariedad de las dimensiones abordadas como la articulación interinstitucional requerida dada la diversidad de organismos involucrados en su implementación (figura 17).

FIGURA 17. INFRAESTRUCTURA DE APOYO A NUEVOS EMPRENDIMIENTOS



Alimentación saludable

Esta sección retoma las políticas públicas nacionales relevadas por Brizuela, Cova, Monzón y Varona (2022).

La Ley de Promoción de la Alimentación Saludable N° 27.642, sancionada en noviembre de 2021, tiene por objetivo:

- Garantizar el derecho a la salud y a una alimentación adecuada a través de la promoción de una alimentación saludable, brindando información nutricional simple y comprensible de los

alimentos envasados y bebidas analcohólicas, para promover la toma de decisiones asertivas y activas, y resguardar los derechos de las consumidoras y los consumidores;

- b. Advertir a consumidoras y consumidores sobre los excesos de componentes como azúcares, sodio, grasas saturadas, grasas totales y calorías, a partir de información clara, oportuna y veraz en atención a los artículos 4° y 5° de la ley 24.240, de Defensa al Consumidor;
- c. Promover la prevención de la malnutrición en la población y la reducción de enfermedades crónicas no transmisibles.

Para reglamentar la Ley se trabajó en forma articulada entre los ministerios nacionales de Desarrollo Productivo, de Educación, de Desarrollo Social, de Agricultura, Ganadería y Pesca, junto a OPS, UNICEF y organizaciones no gubernamentales. La reglamentación de la Ley se aprobó el 22 de marzo de 2022 por Decreto Reglamentario N° 151/2022.

La Ley establece la obligación de colocar sellos de advertencia en la cara frontal de los alimentos envasados y bebidas analcohólicas que presenten exceso de nutrientes críticos. Estas leyendas pueden ser de “Exceso de sodio”, “Exceso de azúcares”, “Exceso de grasas saturadas”, “Exceso de grasas totales” y/o “Exceso de calorías”. A su vez, aquellos productos que contengan edulcorantes y/o cafeína deberán contener una leyenda precautoria que indique “Contiene edulcorantes, no recomendable en niños/as” y/o “Contiene cafeína, evitar en niños/as”.

A su vez, define prohibiciones en los envases de aquellos alimentos que contengan al menos un sello de advertencia. Estos no pueden incorporar en el envase información nutricional complementaria;¹⁰¹ logos o frases con el patrocinio de sociedad científica o asociaciones civiles; personajes infantiles, animaciones, celebridades, regalos, concursos, etc.

Por su parte, el Artículo 8 establece la obligación de “declarar el contenido de azúcares totales y de azúcares añadidos, en el rotulado nutricional de los alimentos envasados para consumo humano en ausencia del cliente”. Previo a la sanción de la Ley no era obligatoria la declaración de contenido de azúcares.¹⁰²

Los umbrales (valores máximos para no llevar sellos) de azúcares, grasas totales, grasas saturadas, grasas trans y sodio establecidos deben cumplir con los límites del Perfil de Nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2016), en adelante perfil OPS. La reglamentación de la ley establece además el límite del valor energético.

¹⁰¹ La Ley 27.642 la define como cualquier representación que afirme, sugiera o implique que un alimento o bebida posee propiedades nutricionales particulares, especialmente, pero no sólo, en relación a su valor energético y contenido de proteínas, grasas, carbohidratos y fibra alimentaria, así como con su contenido de nutrientes críticos, vitaminas y minerales.

¹⁰² Debían declarar cuantitativamente el contenido de cada uno de los siguientes nutrientes y su porcentaje de Valores Diarios (VD) por porción de alimento: Carbohidratos (g), Proteínas (g), Grasas totales (g), Grasas saturadas (g), Grasas trans (g), Fibra alimentaria (g) y Sodio (mg).

Recuadro 10. Implicancias de la adopción de perfil de nutrientes

Los perfiles de nutrientes proporcionan herramientas para clasificar los alimentos y bebidas que contienen una cantidad excesiva de azúcares libres, sal, total de grasas, grasas saturadas y ácidos grasos trans. Las leyes de etiquetado frontal de Chile y México han establecido diferentes umbrales para la determinación del exceso de estos nutrientes críticos.

Mientras que países como Chile, Perú y posteriormente Uruguay optaron por un perfil de nutrientes donde el parámetro se establece mediante la cantidad de nutrientes críticos por cada 100 gr o ml de producto, México adoptó el perfil de nutrientes de la OPS, al igual que Argentina. Este modelo fue definido en OPS (2016) para clasificar los productos procesados y ultraprocesados:

- Con una cantidad excesiva de sodio, si la razón entre la cantidad de sodio (mg) en cualquier cantidad dada del producto y la energía (kcal) es igual o mayor a 1:1.
- Con una cantidad excesiva de azúcares libres, si en cualquier cantidad dada del producto la cantidad de energía (kcal) proveniente de los azúcares libres (gramos de azúcares libres x 4 kcal) es igual o mayor a 10% del total de energía (kcal).
- Contiene otros edulcorantes, si la lista de ingredientes incluye edulcorantes artificiales o naturales no calóricos o edulcorantes calóricos (polialcoholes).
- Con una cantidad excesiva de grasas totales, si en cualquier cantidad dada del producto la cantidad de energía (kcal) proveniente del total de grasas (gramos de grasas totales x 9 kcal) es igual o mayor a 30% del total de energía (kcal).
- Con una cantidad excesiva de grasas saturadas, si en cualquier cantidad dada del producto la cantidad de energía (kcal) proveniente de grasas saturadas (gramos de grasas saturadas x 9 kcal) es igual o mayor a 10% del total de energía (kcal).
- Con una cantidad excesiva de grasas trans, si en cualquier cantidad dada del producto la cantidad de energía (kcal) proveniente de grasas trans (gramos de grasas trans x 9 kcal) es igual o mayor a 1% del total de energía (kcal).

Ejemplo de alimento con cantidad excesiva de azúcares libres:

$$10\% \leq (\text{gramos de azúcares libres} \times 4 \text{ kcal}) \div \text{total kcal} \times 100$$

Bajo este modelo, productos como los vegetales en conserva, que tienen pocas calorías, pero contienen sodio, podrían exceder los umbrales. Por el contrario, en productos con alta densidad calórica, la relación “nutriente crítico por caloría” podría resultar baja y por lo tanto no aplicarse los sellos.

Esto implica también dificultades para la reformulación, ya que, al disminuir la cantidad de azúcar o grasas, como también se reducen las calorías totales, la relación “nutriente crítico por caloría” disminuye en menor proporción.

De este modo, la Ley 27.642 mejora la información en el envase, regula la publicidad, promoción y patrocinio, mejora la calidad de programas alimentarios y regula entornos escolares; sin embargo, el perfil de nutrientes elegido para determinar los umbrales máximos de nutrientes no es el que mayores incentivos genera a la industria a reformular los productos.

Recuadro 11. Riesgos de la prohibición de incorporar en el envase información nutricional complementaria a productos con al menos un sello

Según el CAA la información nutricional complementaria (INC) es “cualquier representación que afirme, sugiera o implique que un producto posee propiedades nutricionales particulares, especialmente, pero no solo, en relación con su valor energético y contenido de proteínas, grasas, carbohidratos y fibra alimentaria, sino también con su contenido de vitaminas y minerales”.

Los términos autorizados para las INC relativas al contenido de nutrientes son: alto; no contiene; alto contenido; fuente; muy bajo; sin adición. Ejemplo: bajo en sodio).

Los términos autorizados para la INC comparativas son: reducido; aumentado. Ejemplo: reducido en azúcares.

Los alimentos que fueran alcanzados por al menos un sello de advertencia deberán eliminar las leyendas sobre INC de su etiqueta. La imposibilidad de promocionar estas características nutricionales particulares de los alimentos en las etiquetas puede motivar la desaparición de este tipo de productos.

La ley aplica para alimentos envasados en ausencia del cliente, por lo tanto, productos provenientes de fiambrería o panadería fraccionados frente al cliente no estarán alcanzados. Asimismo, la ley regula la publicidad dirigida a niñas, niños y adolescentes, de alimentos y bebidas analcohólicas envasados que contengan algún sello de advertencia, en medios de comunicación masiva, y en los envases, así como la promoción y el patrocinio de esos productos.¹⁰³ En este sentido, promueve la educación alimentaria en las escuelas y regula los entornos escolares.¹⁰⁴

Según el Decreto Reglamentario N° 151/2022, para la implementación de la ley en Argentina se plantea un esquema de dos etapas. La primera etapa tendrá valores intermedios para los umbrales por encima de los cuales se deberán incorporar los sellos de advertencia. La Primera Etapa tendrá lugar dentro de los 9 meses desde la fecha de entrada en vigencia de la Ley y 15 meses para las pymes. El límite de la Segunda Etapa se establece en un plazo no mayor a los 18 meses desde la fecha de la entrada en vigencia de la Ley y 24 meses desde dicha fecha para las pymes.

La Ley de Promoción de la Alimentación Saludable tiene por objetivo garantizar el derecho a la salud y a una alimentación adecuada, advirtiendo a consumidores y consumidoras sobre los excesos de nutrientes críticos para evitar la malnutrición y reducir enfermedades crónicas no

¹⁰³ “No puede resaltar declaraciones nutricionales complementarias que destaquen cualidades positivas y nutritivas de los productos. Debe visibilizar los sellos de advertencia. No puede incluir personajes infantiles, animaciones, dibujos animados, celebridades, deportistas o mascotas, elementos interactivos, la entrega o promesa de entrega de obsequios, premios, regalos, accesorios, adhesivos, juegos, descargas digitales. No puede incluir la participación o promesa de participación en concursos, juegos, eventos deportivos, musicales, teatrales o culturales. No pueden promover ni entregar a título gratuito.”

¹⁰⁴ “El Consejo Federal de Educación deberá promover la inclusión de los contenidos mínimos de educación alimentaria nutricional en los establecimientos educativos de nivel inicial, primario y secundario del país. Los alimentos y bebidas analcohólicas que contengan al menos 1 sello de advertencia o leyendas precautorias no pueden ser vendidos ni promocionados en los establecimientos educativos de los niveles inicial, primario y secundario.”

transmisibles. Si bien la promoción de reformulaciones de alimentos no se encuentra entre sus principales objetivos, es deseable para que la oferta de alimentos y bebidas para consumo humano tenga menores niveles de nutrientes críticos.

La reformulación de productos alimenticios plantea muchos desafíos tecnológicos a los fabricantes de alimentos. Es un proceso complejo que requiere tiempo, involucra a varios sectores dentro de una empresa y, para ciertos productos, puede implicar un aumento significativo de los costos.

Se ha demostrado que la definición de umbrales específicos para los distintos tipos de alimentos incentiva los procesos de reformulación (Reyes *et al.*, 2020, como se citó en Brizuela *et al.*, 2022). Asimismo, el perfil OPS no discrimina entre grupos de alimentos con mayor o menor contenido absoluto de nutrientes críticos por lo que su revisión puede ser un aspecto por evaluar en el largo plazo.

Asimismo, diversos referentes del sector a nivel nacional coinciden en que el perfil OPS adoptado en la Ley de Promoción de la Alimentación Saludable limita en cierta medida las posibilidades de reformulación de ciertos productos. Tal es el caso de alimentos de baja densidad calórica, en los cuales con cantidades de azúcar o sodio bajas en términos absolutos (gramos de azúcar o miligramos de sodio en 100 g de producto) el producto puede estar alcanzado por estos sellos de advertencia.

Por su parte, alimentos considerados de alta densidad de nutrientes, cuyo consumo está recomendado por las guías alimentarias para la población argentina (GAPA), también podrían ser alcanzados por sellos y, por tal motivo, estarán impedidos de publicitar en sus rótulos información nutricional complementaria (como por ejemplo para destacar el mayor contenido de cierta vitamina, mineral, etcétera), lo cual podría desincentivar el mantenimiento de líneas de productos fortificados. Del mismo modo, las líneas de productos reducidas en calorías o en algún nutriente crítico que lleven un sello (por ejemplo, los fiambres reducidos en sodio) no podrán destacar estas características especiales, quedando entonces indistinguibles en su rotulado frontal de las líneas de productos convencionales lo que podría comprometer su permanencia en el mercado.

Con relación al diseño de políticas públicas tendientes a estimular la reformulación de productos alimenticios con el objeto de reducir los nutrientes críticos en la oferta de alimentos, se pueden mencionar como segmentos prioritarios aquellos que podrían estar alcanzados por los sellos de advertencia, pero son alimentos de buena calidad nutricional, cuyo consumo es recomendado por las Guías Alimentarias para la Población Argentina por su contenido en fibra, vitaminas y minerales, probióticos, etcétera.

Otra política de alimentación saludable que vale la pena mencionar es la Iniciativa “Menos sal, más vida”, que se basó en un análisis de los mayores aportes de sodio en la población argentina, dado por alimentos con alta concentración de sodio con consumos moderados, tales como chacinados o snacks, o bien por alimentos con menores concentraciones de sodio, pero de alto consumo, como por ejemplo panificados y galletitas. En el marco de esta iniciativa, el Ministerio

de Salud de la Argentina ha concertado acuerdos voluntarios de reducción de sal con los principales productores de alimentos elaborados del país con el fin de reducir en los años subsiguientes los niveles de sodio en 528 productos, como queso, galletas, pasta, salchichas, sopas, y pan.

En 2013 fue promulgada la Ley 26.905 de consumo de sodio, que fijó valores máximos de sodio en los alimentos con el objeto de promover la reducción del consumo de sodio en la población. Estableció que la autoridad de aplicación es el Ministerio de Salud y fijó los valores máximos de sodio que deben alcanzar los grupos alimentarios a partir del plazo de doce meses a contar desde su entrada en vigencia. Este plazo se extendió a 18 meses para las empresas pequeñas y medianas y la autoridad de aplicación puede fijar periódicamente la progresiva disminución de esos valores máximos. Desde la reglamentación de la ley hubo tres modificaciones/actualizaciones del CAA sobre los contenidos máximos de sodio:

- Resolución Conjunta 1-E/2017: se incluyen límites de contenido de sodio para varios chacinados, caldo, sopa, pan, galletitas, bizcochos y productos similares y se incorporan al CAA masa congelada para pan, milanesa de ..., formados de carne de ... rebozados o empanados, productos para copetín (snacks) y galletas con límites en sus contenidos de sodio. Esta resolución entró en vigencia el 4 de enero de 2017 y se otorgó a las empresas un plazo de 12 meses para su adecuación.
- Resolución Conjunta 1/2018: se disminuyen algunos de los límites de contenido de sodio establecidos en la Resolución Conjunta 1-E/2017. Esta resolución entró en vigencia el 26 de septiembre de 2018 y se otorgó a las empresas un plazo de 18 meses para su adecuación.
- Resolución Conjunta 4/2019: se disminuyen los límites de contenido de sodio establecidos en la Resolución Conjunta 1-E/2017 para caldo, sopa y se incluyen límites de contenido de sodio para mayonesa y ketchup. Esta resolución entró en vigencia el 14 de febrero de 2019 y se otorgó a las empresas un plazo de 18 meses para su adecuación.

El INAL coordina el seguimiento de las metas específicas y el monitoreo analítico de los alimentos a través del Programa de Monitoreo de las Reducciones del Contenido de Sodio en Alimentos Procesados, en el cual participan miembros de la Red Nacional de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (RENALOA), organismos gubernamentales y universidades nacionales, siendo estos especialistas en cada una de las matrices alimentarias asignadas.

Por último, en el marco de la iniciativa “Las Américas libres de grasas trans” de la OPS/OMS, en 2007 se implementó localmente la iniciativa “Argentina 2014 libre de grasas trans”, haciendo referencia al año de aplicación efectiva de la nueva legislación. El Ministerio de Salud de la Nación llevó a cabo reuniones de concertación con las principales cámaras del sector alimentario, con el fin de acordar las intervenciones que cada sector puede aportar para mejorar la calidad nutricional de los alimentos, y promover y construir hábitos saludables en la población. Al mismo tiempo y en forma voluntaria, algunas empresas con alta producción de alimentos fueron avanzando en la reformulación de todo su portafolio de productos con el objeto de una reducción significativa en el contenido de grasas trans en los mismos.

En 2010, mediante la Resolución Conjunta 137/2010 y 941/2010 del entonces Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca y del Ministerio de Salud se incorporó el artículo 155 tris al Código Alimentario Argentino. Dicha resolución estableció plazos máximos para el reemplazo de las grasas trans en todos los alimentos que se comercialicen en la Argentina. Se definió un límite máximo de grasas trans de origen industrial del 2% del total de grasas en los aceites vegetales y margarinas de consumo directo, y no mayor del 5% del total de grasas en el resto de los alimentos, con un vencimiento del plazo límite de adecuación para el primer grupo del 17 de diciembre del año 2012, y para el segundo grupo del 17 de diciembre de 2014. La industria alimentaria debió adaptar dentro de ese plazo las fórmulas y recetas de sus productos con el fin de asegurar el cumplimiento de los límites mencionados de grasas trans. Asimismo se desarrolló una guía de recomendaciones para la pequeña y mediana industria, y diversos materiales de comunicación. Esta legislación ubicó a la Argentina entre los primeros países del mundo en contar con una norma para la regulación de las grasas trans de origen industrial, lograda a través de un acuerdo intersectorial e interdisciplinario de gran magnitud.

EJE 2

INCREMENTAR LA RESILIENCIA AGROPECUARIA PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA GENERACIÓN DE DIVISAS



Introducción

Uno de los desafíos del concepto de desarrollo sostenible es la gestión y conservación de los recursos y sistemas naturales renovables, entre ellos el suelo y el agua. Este reto es aún más relevante en sectores económicos como la agricultura donde la gobernanza de esos recursos es determinante para sostener a lo largo del tiempo su productividad, de la que depende la seguridad alimentaria de las poblaciones.

Asimismo, los cambios asociados a la crisis climática ya están afectando a la actividad agrícola y con especial impacto en los países en desarrollo, donde se estima que las pérdidas económicas anuales causadas por los eventos climáticos extremos rondan el 23% del PIB (FAO, 2017).

De esta manera, se vuelve imperante realizar inversiones destinadas a mejorar la resiliencia de los productores agrícolas para preservar sus medios de subsistencia y garantizar la seguridad alimentaria, pero también para aprovechar las oportunidades innovativas que permite la realización de estas prácticas de adaptación. En este marco, hay tres tecnologías que resultan claves para alcanzar esos objetivos y de las cuales se hará foco en el presente Eje. Estas son la aplicación de la biotecnología en el agro mediante el mejoramiento genético de cultivos (explicado en apartados anteriores); la adopción de sistemas de riego con tecnologías eficientes en el uso del agua; y el uso óptimo de fertilizantes para evitar el agotamiento del suelo. En el presente apartado se pondrá foco en estas dos últimas tecnologías (proyectos 5 y 6).

En nuestro país, existen los recursos naturales y las capacidades científicas y productivas para adaptar el sistema agrícola a las nuevas condiciones que impone el mundo. Si bien existe un largo camino recorrido en materia de adaptación, todavía quedan áreas de mejoras a implementar en estas prácticas. El cuadro 18 es un resumen del análisis hecho en este Eje exponiendo las definiciones y alcance de cada acción agrícola y las fortalezas y debilidades para la adaptación que se encontraron en Argentina.

CUADRO 18. DEFINICIONES Y ALCANCE DE CADA TECNOLOGÍA AGRÍCOLA. FORTALEZAS Y DEBILIDADES PARA LA ADAPTACIÓN EN ARGENTINA

Tecnologías agrícolas	Definición y alcance	Beneficios	Fortalezas y virtudes en el país	Debilidades y áreas de mejora en el país
Irrigación asistida	Con foco en el riego a través de tecnologías eficientes en el uso del agua como el riego por goteo y por aspersión.	<p>Mayor capacidad de adaptación a contextos de sequías.</p> <p>Mayor control de la producción agrícola.</p> <p>Ahorro de costos por menor requerimientos de insumos hídricos y energéticos respecto a sistemas poco eficientes.</p> <p>Sinergias con otras prácticas agrícolas como la fertilización.</p>	Amplia disponibilidad de recursos hídricos	<p>Poca adopción de irrigación asistida y predominio de riego ineficiente.</p> <p>Bajos retornos de inversión en la aplicación de sistemas de riego eficientes para cultivos poco dinámicos en el mercado.</p> <p>Desincentivos a la inversión en tecnologías de “capital fijo” por modelos de organización productiva agrícola basados en contratos de arrendamientos.</p> <p>Ausencia de sistemas de seguros orientados a incentivar la adopción de mejores paquetes tecnológicos.</p> <p>Baja capacidades locales para identificar y poner en marcha proyectos de infraestructura en irrigación.</p>
Fertilización	Con foco en el desarrollo de mecanismos para fomentar una adopción eficiente y sostenible	<p>Reducción del deterioro y regeneración del suelo afectado a la producción.</p> <p>Incremento de la productividad agrícola.</p>	<p>Sector agrícola caracterizado por un alto grado de eficiencia y de gran volumen.</p> <p>Potencial para aumentar la producción nacional de fertilizantes asociado a la disponibilidad de gas natural y proximidad de fabricantes a centros de consumo.</p>	<p>Baja adopción por parte de productores justificada por el alto riesgo derivado de sequías.</p> <p>Alta dependencia de proveedores externos y oscilaciones del mercado global.</p>

Fuente: elaboración propia sobre la base de información relevada en las entrevistas.

Proyecto 5. Incrementar la resiliencia de la producción agropecuaria por medio de la adopción de sistemas de riego con tecnologías eficientes en el uso del agua

Introducción

La agroindustria tiene un rol central para garantizar la seguridad alimentaria. Esta tarea está siendo cada vez más relevante frente a una demanda creciente de alimentos producto del aumento de la población, aunque a ritmos cada vez más modestos, acompañada por una mejora en la calidad de vida media global. En este contexto, cabe mencionar que la producción alimenticia también se ve amenazada por la crisis climática. Es por ello que la agenda política mundial se encuentra marcada por una necesidad de encontrar formas dentro del sector agroindustrial para aumentar la producción, adaptándose a las nuevas condiciones en un contexto de aumento en la temperatura global. Es por tanto necesario buscar herramientas fundamentales que vinculen la seguridad alimentaria, las buenas prácticas agrícolas y el cuidado del ambiente. Todo esto representa un desafío puesto que se trata de un delicado equilibrio que es necesario encontrar. Parte de él se puede hallar si se armoniza la eficiencia y la sostenibilidad en los sistemas de riego. De esto versará la siguiente sección.

Definiciones y características del riego

El riego es un procedimiento que consiste en el aporte artificial de agua a un determinado terreno, a través de infraestructura de almacenamiento y distribución de agua dulce extraída de fuentes subterráneas o superficiales. Cuando un cultivo recibe únicamente agua de lluvia o precipitaciones, se denomina cultivo de secano. Generalmente, el riego se realiza en los momentos críticos para los cultivos en las regiones húmedas o en forma completa para las regiones áridas y semiáridas. En este apartado nos concentraremos en el riego, entendiéndose como una herramienta clave para mejorar la productividad del agro. A grandes rasgos pueden mencionarse tres tipos de técnicas de irrigación:

- **Riego gravitacional:** esta técnica consiste en la aplicación del agua en la superficie del suelo (por eso también se lo suele llamar riego superficial o por manto), la cual se distribuye en el campo por el efecto de la gravedad. El hecho de que la distribución se realice sin necesidad de equipos, infraestructuras complejas ni energía (salvo en los casos donde se utiliza una bomba para extraer el agua subterránea de algún cauce de río o arroyo) torna a estos sistemas muy baratos. Sin embargo, una de sus limitaciones es que es poco eficiente en cuanto al uso del agua, dado que a medida que el agua se distribuye “sola” por todo el campo, gran parte se pierde vía infiltración y muchas parcelas pueden quedar sin regar. Esto genera que los rendimientos a lo largo del campo sean desbalanceados. Vale la pena aclarar que, el mal uso de este sistema puede producir serios problemas de erosión de los suelos, por la velocidad y cantidad del agua utilizada.

- **Riego localizado:** el sistema puede ser por goteo subterráneo o superficial. En estos sistemas el agua es conducida por tuberías y llega directo a la planta. De esta manera, se evitan pérdidas de infiltración y se logra homogeneizar la productividad del cultivo en todo el campo. Particularmente, el riego por goteo consiste en la aplicación de agua en forma de gotas de manera continua en un lugar próximo a la planta. A través de un sistema de tubos tendido en el campo, se traslada el agua y se aplica a través de goteros (o pastillas) integrados en las cintas de riego de manera tal que se concentre humedad en un punto óptimo para ser aprovechado por el cultivo. Estos sistemas son intensivos en el uso de energía, dado que se necesita de una bomba para extracción o conducción del agua y equipos de presión para la aplicación en las parcelas.
- **Riego por aspersión:** al igual que el riego por goteo, el agua es conducida por tuberías a presión, pero en vez de trasladarse por cañerías llega a aspersores ubicados en puntos centrales del campo. Existen distintos equipos de riego por aspersión, uno de ellos es el riego por pivot, mediante el cual se esparce el agua de forma circular sobre un mismo eje. Otra alternativa es el riego de avance frontal o de irrigación lineal que consiste en un equipo motorizado y autopropulsado que cubre gran parte del campo cultivado y avanza de forma recta a la par que riega la superficie cultivada. De forma similar también suelen usarse equipos hidráulicos autopropulsables con cañones enrollables o sistemas fijos con caños. En estos sistemas el uso de energía eléctrica es mucho mayor por la elevada presión que requiere, pero el uso del agua es mucho más eficiente. Sin embargo, las mejoras productivas van a depender de la región que se trate. En zonas productivas de mucho viento, por ejemplo, es difícil realizar un riego eficiente vía aspersión.

El presente documento pretende fundamentar los beneficios de la irrigación sostenible entendida como aquellas técnicas que hacen un uso más eficiente de los recursos naturales (agua y suelo). Es por ello que se expondrán los beneficios del riego, tanto desde una perspectiva económica como ambiental, mediante una comparación de los sistemas productivos irrigados frente a los de secano. Las ventajas de la irrigación eficiente surgen en su gran mayoría por la estabilidad de los rindes en el largo plazo y el aumento de la productividad ante un mejor aprovechamiento de los recursos en un contexto de cambio climático. En el cuadro 19, se mencionan algunos de ellos.

A modo de resumen, aplicar tecnologías de riego en regiones donde antes no había permite una mejor adaptación al cambio climático y, dependiendo del tipo de tecnología utilizada, una mejora de la sostenibilidad de la producción agrícola. Bajo este esquema de menor dependencia hídrica en los sistemas de riego eficiente, los insumos utilizados para la extracción del agua, como la energía eléctrica o de combustibles fósiles, se aminora a medida que se perfecciona el sistema utilizado, permitiendo a su vez un mejor control de otras técnicas agrícolas de suma importancia como la fertilización.

Sin embargo, pese a estas ventajas mencionadas, la adopción del riego se encuentra muy marginada. Pueden ser varios los factores causantes de la poca proliferación de la irrigación, pasando desde cuestiones económicas hasta ecosistémicas y sociales. A continuación, se

describirán algunas de estas limitantes iniciando con una caracterización de los costos y retornos de la inversión y la relación entre las características ambientales y el tipo de riego a utilizar.

CUADRO 19. PARTICULARIDADES EN ASUNTOS REGULATORIOS PARA DISTINTOS TIPOS DE ADITIVOS INNOVADORES

Tipo de ventajas	Escenario asociado a la ventaja	Breve descripción
Económicas	Adaptación al cambio climático	La productividad del sector agrícola todavía presenta un elevado margen de dependencia a las condiciones climáticas. Particularmente la ocurrencia de precipitaciones es esencial para mantener una correcta humedad de los suelos y, consecuentemente, una estabilidad en los rendimientos de los cultivos. El calentamiento global atenta con esto último dada la mayor frecuencia de sequías: se prevé ante este escenario una reducción de los rendimientos promedio en los cultivos del 3 al 12% a mediados del siglo y del 11 al 25% para fines del siglo (Wing <i>et al.</i> , 2021). Contar con sistemas de irrigación aminora la dependencia a fuentes de agua proveniente de las precipitaciones y habilita a un mayor control de la producción por parte del productor. De esta manera, se logra sostener e inclusive aumentar los rendimientos de los cultivos en ciertas regiones (y potencialmente la rentabilidad del productor). Cabe destacar, que en regiones como el Cuyo en nuestro país, la no adopción del riego implica fuertes trabas para el sostenimiento de la producción. En el caso de los vegetales bajo irrigación asistida, por ejemplo, las toneladas producidas por hectárea duplican las obtenidas bajo técnicas de secano en todas las regiones del mundo (FAO, 2021).
	Sinergias con otras prácticas agrícolas	El riego genera sinergias con otras prácticas agrícolas como es la fertilización, ya que los cultivos aprovechan de mejor manera los fertilizantes cuando se penetran en el suelo asistidas por el agua. En el caso de la agricultura en secano, la efectiva aplicación de este abono queda sujeta a la ocurrencia de lluvias dado que, si se fertiliza sin irrigación, se corre el riesgo de perder el efecto nutritivo y se incurre en costos innecesarios. El productor con sistemas de irrigación asistidos puede decidir en qué momento regar, logrando eficientizar el uso de fertilizantes. El fertirriego es también un claro ejemplo de cómo las buenas prácticas agrícolas pueden combinar tanto ventajas económicas (derivadas de un aumento de la producción con un menor uso de recursos) como ambientales. Esto último se asocia al hecho de que el correcto uso de fertilizantes permitiría reducir las emisiones derivadas de la liberación del óxido nitroso, mantener la biodiversidad e inclusive evitar la contaminación de agua subterránea vía infiltración, a la par de un aumento de los rendimientos agrícolas. Sin embargo, estos beneficios no son automáticos y requieren de un compromiso por parte del productor de encontrar el balance óptimo en la aplicación de abonos (sobre este punto retomaremos más adelante).

Continúa.

Continuación.

Tipo de ventajas	Escenario asociado a la ventaja	Breve descripción
Económicas	Reducción de costos	<p>Asociado a los puntos anteriores, mejorar la productividad vía un menor uso de insumos deriva potencialmente en un menor costo, ya que el productor reduce su dependencia de los proveedores externos. En el caso del agua, por ejemplo, muchos agricultores se vieron obligados a transitar hacia técnicas de riego más eficientes para reducir dentro de su estructura de costo el peso de la adquisición del agua¹⁰⁵. Según un informe de factibilidad económica del riego del Gobierno australiano, el costo anualizado asociado al agua se reduce cerca de un 33% en los sistemas presurizados respecto al riego gravitacional. Situación similar evidencia los costos de la mano de obra, dada la elevada intensidad en capital que presentan los primeros sistemas.</p> <p>Al mejorar la eficiencia hídrica mediante el uso de sistemas presurizados (se produce igual o más cantidad de alimentos con menor cantidad de agua), el productor tiene mayor margen para poder reducir la frecuencia de las extracciones de agua. Esto es particularmente relevante en regiones donde la mayor disponibilidad hídrica es bajo fuentes subterráneas y en donde el costo energético de extracción presenta un peso importante en la estructura de costos del productor. De esta manera, recurrir menos al bombeo descomprime la importancia de los insumos energéticos en la cadena de proveedores del sector.</p>
	Apertura de nuevos mercados	<p>Las exigencias de los consumidores aumentaron en los últimos años para los productos alimenticios. Los requerimientos van desde alimentos más sanos hasta la valorización por la producción ambientalmente amigable. En este sentido, el uso intensivo del agua podría actuar como determinante para muchos consumidores a la hora de decidir cuáles productos adquirir y cuáles no, generando incentivos a los productores para transitar hacia técnicas de irrigación más sostenibles. Cabe destacar que la huella hídrica de los alimentos no es todavía un elemento restrictivo en el comercio global pero sí un aspecto cada vez más relevante en los agronegocios (INTA, s/d).</p>

Continúa.

¹⁰⁵ Cabe destacar que en el caso de nuestro país, en algunas provincias el peso del costo de adquisición de agua es bajo en términos relativos a otros países, lo que potencialmente contribuye a un uso más eficiente del recurso.

Continuación.

Tipo de ventajas	Escenario asociado a la ventaja	Breve descripción
Ambientales	Eficiencia hídrica	Naturalmente, el riego controlado y localizado resulta en menores requerimientos de agua. Esto es lo que sucede con las técnicas presurizadas donde la aplicación directa del agua al cultivo evita las pérdidas hídricas por infiltración y evaporación. Se estima que la eficiencia hídrica se duplica al usar sistemas presurizados respecto del gravitacional (INTA, 2014). Esta mejora se torna indispensable en un momento donde el agua dulce escasea en diversas regiones y la competencia entre sectores económicos por su uso se intensifica (FAO, 2018).
	Menor erosión del suelo	El riego eficiente por aspersión o por goteo aminora el impacto negativo en las tierras cultivables respecto al riego superficial. En campos con mala nivelación de suelos, el riego superficial genera charcos de agua, provocando pérdidas de nutrientes por lixiviación y menor disponibilidad de tierras por erosión. Del mismo modo, la velocidad con la que se distribuye el agua en riego no presurizado puede generar un fuerte arrastre de materia orgánica de las tierras, generando una pérdida de la biodiversidad y sumideros de carbono. La correcta aplicación de técnicas de aspersión o por goteo contribuirán a reducir esas desventajas de la irrigación tradicional.
	Uso inteligente de fertilizantes	Ya se ha mencionado el beneficio del riego asociado a la efectiva aplicación de abonos. El fertirriego es una práctica que permite a través del riego aplicar, controlar y optimizar el uso de fertilizantes de forma tal que coadyuve al desarrollo de la planta y al mismo tiempo se eviten al mínimo posible los riesgos asociados a su excesiva utilización. Ciertamente esta ventaja ambiental surge si y solo si se realiza de forma consciente por el productor, dado que puede realizarse riego y en simultáneo aplicar desmedidamente fertilizantes anulando los efectos positivos de su uso y generando graves daños a los ecosistemas. Por otra parte, con las técnicas de riego como goteo, por ejemplo, en donde el suministro de agua es localizado, el crecimiento de malezas es mucho menor, permitiendo una menor dependencia en el uso de agroquímicos.

Costos de los sistemas de irrigación y retornos de inversión

Los costos de capital y operativos de los sistemas de irrigación pueden influir en la adopción de tecnologías de riego eficientes por parte de los productores agrícolas. Es por ello, que la decisión de adoptar estos sistemas puede responder más a cuestiones de factibilidad económica de los cultivos que a la propia necesidad de adaptarse al cambio climático (USDA, 2015). En aquellos cultivos con poco dinamismo en el mercado, la inversión en irrigación se torna poco interesante,

mientras que, en el caso de otros productos agrícolas con mayor demanda, como los productos de las economías regionales con alto valor de exportación (Por ejemplo, olivos y frutas finas) o recientemente los cereales y oleaginosas, mejorar la eficiencia hídrica se vuelve una herramienta alternativa y atractiva para mejorar los rendimientos y atender los requerimientos del consumidor.

Los costos generalmente son más altos a medida que mejora la tecnificación del sistema de riego. En este sentido, los sistemas de riego gravitacionales son más baratos en términos de adquisición que los presurizados, como el de aspersión o por goteo (se estima que la diferencia en valores de estos últimos respecto al primero se duplica con gran variabilidad dependiendo del país y región la cual se trate).¹⁰⁶ Si se analiza la estructura de costos, el peso por los diferentes componentes varía significativamente. Para mencionar un ejemplo, en el sistema gravitacional el costo asociado al uso del agua y al de mano de obra es mucho mayor al de los otros sistemas, dado que el riego por aspersión y por goteo son más intensivos en capital y presentan un uso más eficiente del agua. De esta manera, y en sintonía con el análisis hecho en el párrafo anterior, los productores de cultivos de alto valor son los primeros en adoptar sistemas de riego por goteo, mientras que los productores de cultivos de bajo valor son menos propensos a invertir en costosos sistemas de irrigación (USDA, 2015).

Otra consideración que deben tener en cuenta los productores al seleccionar un sistema de riego es el asociado al desarrollo de un suministro de agua. Generalmente la provisión de agua a partir de fuentes subterráneas es más costosa que la de agua superficial, dado que para la extracción de pozos profundos se utilizan equipos de bombeo con grandes requerimientos energéticos. De esta manera, en áreas donde existe una gran dependencia de recursos hídricos subterráneos es muy común encontrar sistemas de irrigación más eficientes para aminorar el uso de agua y recurrir menos a la extracción por bombeo. De forma alterna, es menos probable que en regiones con gran disponibilidad de agua superficial se adopte sistema de riego eficiente dado que los bajos costos de suministros permiten que el riego gravitacional sea económicamente viable. Cabe destacar que esta relación descrita entre tipo de suministro de agua y riego eficiente no es perfectamente lineal. En áreas propensas a sequías en donde hay una elevada dependencia de aguas superficiales es común que los productores adopten sistemas de riego presurizados.

De esta manera, el costo que asumen los productores por equipar su campo para utilizar riego asistido va a variar según la tecnología utilizada. Los sistemas de riego más intensivos en capital son más costosos en la etapa inicial del proyecto, pero logran aminorar la presión dentro de la estructura de costos de la adquisición de agua, insumos energéticos¹⁰⁷ y el uso de mano

¹⁰⁶ En Australia, por ejemplo, el valor de los sistemas de aspersión son 30% mayores al de gravitacional, mientras que para los de riego por goteo casi que duplica su valor (RMCG consultancy, 2018). En tanto, para Estados Unidos, el riego superficial por surcos es tres veces menos costoso que el riego por goteo y doblemente más barato que los sistemas de riego por pivot central (USDA, 2015).

¹⁰⁷ Cabe destacar, que la reducción del costo asociado al costo energético va a depender de las características de las fuentes subterráneas de agua. A mayor profundidad de pozos, mayor el requerimiento energético y más alta la participación dentro de la estructura de costos.

de obra. Asimismo, las mejoras en la productividad que se generan por el mayor control de la irrigación son tales que permitirían en algunos casos que los plazos de retornos de inversión sean relativamente reducidos. Por ejemplo, en el caso de los cereales se podría recuperar el capital invertido en tan solo cinco años aproximadamente (sobre este punto ahondaremos en el panorama local). Ciertamente, los tiempos de retorno van a depender del tipo de cultivo ya que puede suceder que las mejoras asociadas a la instalación de riego eficiente no logren cubrir los costos de instalación. Esto suele ocurrir en la producción de arroz, por ejemplo, donde la transición hacia riegos más controlados está siendo obstaculizada por los bajos márgenes de ganancia de los productos a causa de la ininterrumpida caída de los precios internacionales ofrecidos por este cultivo.

Características ambientales de las regiones de producción

La decisión de adoptar sistemas de riego más productivos en términos hídricos va a depender también de factores relacionados con el entorno ambiental donde se desarrolle la actividad agrícola. Estos factores se asocian a la disponibilidad y calidad de fuentes hídricas, condiciones climáticas y calidad del suelo.

Naturalmente, la viabilidad de implementar equipos de irrigación asistida requiere de una amplia disponibilidad de recursos hídricos, ya sea superficiales o subterráneos. La ausencia de fuentes de suministros atenta con la subsistencia de actividades agrícolas de secano en regiones donde la ausencia de lluvias es cada vez más frecuente. Cabe destacar que el problema de sequías y el riesgo en la producción asociado es notoriamente mayor en las regiones con menor desarrollo económico. Sin embargo, estas zonas suelen ser las que mayor potencial de expansión de irrigación presentan, por lo que inicialmente la capacidad de adaptación a estos escenarios del sector agrícola es relativamente mayor. Este es el caso, por ejemplo, de África Subsahariana y América Latina donde actualmente se explota tan solo el 23% del área potencial medida por la existencia de fuentes de agua (FAO, 2015b).

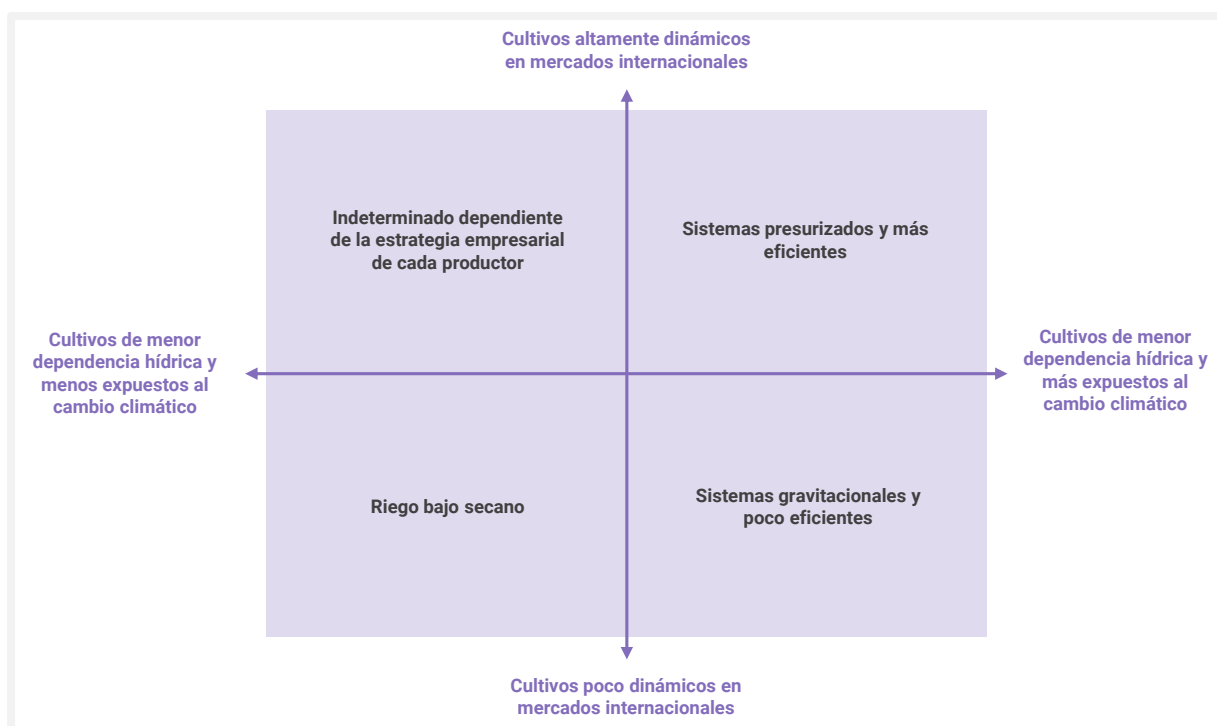
Por otro lado, las condiciones climáticas suelen ser un criterio importante para los productores a la hora de decidir, en primer lugar, si invertir o no en equipos de irrigación y, en segundo lugar, cuál será el grado de sofisticación tecnológica de ese sistema en base a la zona productora en la que se radique. En este sentido, en regiones donde la frecuencia de lluvias se mantiene relativamente estable o las proyecciones para las campañas agrícolas siguientes se mantienen favorables, las decisiones de invertir en irrigación se dilatan. De esta manera, aparece cierta relación negativa respecto a la disponibilidad de agua por lluvia y la decisión de realizar inversiones en sistemas de irrigación: a mayores lluvias, menor es la necesidad de implementar riego asistido (USDA, 2015). Respecto al tipo de tecnología usada, suele suceder que en regiones con grandes ventiscas sea más efectivo utilizar sistemas de riego por goteo y de superficie que por aspersión. Como contracara, en climas áridos, el riego por aspersión puede resultar poco eficiente, ya que el agua suministrada está expuesta a altos niveles de evaporación generando una baja utilización efectiva. Asimismo, si se utiliza el riego subterráneo puede ocasionar problemas de salinidad en el suelo atentado con la productividad de los cultivos.

Finalmente, el tipo de suelo también suele ser otro factor que condiciona la producción agrícola bajo irrigación. En tierras arenosas es más factible utilizar métodos de riego por aspersión porque las altas tasas de infiltración reducen la eficiencia del riego superficial. En tanto, en suelos arcillosos el productor muy probablemente se vea más motivado a utilizar riego gravitacional ya que las tasas de infiltración son muy bajas.

En resumen, el entorno ecosistémico en donde se desenvuelve la producción agrícola pone un límite natural a la adopción de los sistemas de riego. Esta barrera tiene una relación muy estrecha con la ecuación costo-beneficio que presenta el productor a la hora de decidir adquirir equipos de irrigación, junto con las características del cultivo relacionadas con cuestiones económicas (asociada a los valores del mercado) y biológicas (relativas a la resistencia al estrés hídrico).

La figura 18 trata de resumir de forma muy intuitiva los puntos abordados en estas últimas dos secciones mostrando cuál sería la opción de riego más probable que se adopte bajo determinados esquemas de incentivos. De esta manera, se tomaron como principales variables a la exposición al cambio climático y el dinamismo en términos de precios y márgenes de ganancia percibidos por el productor que genera el tipo de cultivo. Asimismo, se supuso una amplia disponibilidad de recursos hídricos, lo que se condice con lo que efectivamente sucede actualmente, ya que existen muchas regiones donde hay una amplia potencialidad de expandir el área irrigada y en cierta medida se están avanzando en inversiones sobre la infraestructura de riego para poder aprovecharlo.

FIGURA 18. ESQUEMA DE INCENTIVOS DE RIEGO EN BASE A LA DEPENDENCIA HÍDRICA Y LA VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL CULTIVO



Los cuatro cuadrantes que propone el esquema muestran los distintos sistemas de riego que podría adoptar un productor en base a características económicas y ecológicas que presenta su cultivo en un período determinado. De esta manera, si se trata de un producto agrícola con alta dependencia hídrica, elevada exposición a las recurrentes sequías y muy valorado por el mercado, es muy probable que los incentivos por recurrir a sistemas de riego más eficientes sean mayores. Esto se asociaría a que el tiempo de recuperación de la inversión en estos cultivos es relativamente corto por las ganancias obtenidas al responder a una demanda amplia vía mejoras de los rendimientos. Las frutas finas son un claro ejemplo de ello ya que suelen ser muy demandadas en mercados sofisticados y cuyo desarrollo en campos requiere del aporte frecuente de agua mediante riego presurizado. Es así que el productor de frutas finas opta usualmente por el riego eficiente para aumentar los rendimientos y atender a los requerimientos de la demanda.

Otro escenario potencial puede ser el de un cultivo con elevada exposición al estrés hídrico y de muy bajo dinamismo en el mercado. En estos casos, los productores no tendrían demasiado interés en realizar grandes desembolsos para mejorar sus sistemas de riego porque los beneficios asociados no llegarían a cubrir los costos incurridos. De esta manera, preferirían mantener las técnicas de riego superficiales y poco eficientes para lograr mantener la producción en un contexto de bajas lluvias. Esto es lo que ocurrió en los arrozales donde se utilizan mayoritariamente técnicas de inundación permanente para alcanzar cierto nivel de rendimientos, lo que trae aparejado grandes consecuencias ambientales como el uso desmedido del agua. Aplicar técnicas de riego más localizadas y controladas supone elevados costos que los productores se ven reacios a asumir en un contexto donde el precio internacional de sus productos se encuentra en sostenida caída.

Por otro lado, podría presentarse un caso de producción agrícola de baja exposición al cambio climático, ya sea por características propias del cultivo o por tratarse de una región donde el problema de la ausencia de lluvias no llega a posicionarse como traba significativa. Bajo este esquema se presentan dos alternativas opuestas, una en donde los cultivos tengan un nicho de mercado ambicioso para insertarse y otra en la que se presente una demanda de bajo dinamismo. En el caso de esta última, es muy probable que el productor mantenga un esquema de producción en secano dado que no existen motivos suficientes para invertir en riego. La cebada, al tratarse de un cultivo con bajas exigencias climáticas y cuya irrigación no es recurrente, es un claro ejemplo de ello. De esta manera, tratar de aumentar su rendimiento en un contexto donde su precio internacional se mantuvo prácticamente estancado a lo largo de los 2000¹⁰⁸ no pareciera ser un incentivo lo suficientemente fuerte como para invertir en técnicas de riego más eficientes.

¹⁰⁸ Cabe destacar que el precio de la cebada experimentó una fuerte suba en 2021 en línea con lo experimentado a lo largo de todo el mercado de commodities agrícolas asociado al efecto de la pandemia y al de la posterior guerra entre Rusia y Ucrania. Sin embargo, el mercado empezó a mostrar señales de estabilización e inició un proceso de retroceso en el precio.

Finalmente, aparece el caso de los cultivos cuyo mercado se encuentra en una etapa de expansión constante y la decisión del productor de adentrarse a sistemas de riego eficientes es menor al de los productos agrícolas más dependientes del agua. Este podría ser el caso del maíz, por ejemplo, el cual resulta ser relativamente tolerante al déficit hídrico, fundamentalmente durante el proceso vegetativo y de maduración, y un producto altamente demandado como materia prima para la elaboración de biocombustibles. Bajo estas condiciones se han encontrado diversas respuestas por parte de los productores de algunos países. En el caso de Estados Unidos se ha avanzado notablemente en técnicas de riego eficientes para poder atender la demanda global, mientras que en otras regiones como la de Argentina, la participación del área irrigada del maíz se mantuvo (y se mantiene) muy marginal. Cabe destacar la existencia de interrogantes respecto a la posibilidad de seguir preservando los rendimientos de estos cultivos en un momento donde las sequías son cada vez más intensas. En nuestro país, por ejemplo, los rendimientos del maíz siguen en niveles por encima al promedio histórico, pero se observa una caída constante desde al menos 2018 asociada a la falta recurrente de precipitaciones. De esta manera, si bien la tolerancia a la sequía es mayor, se requiere empezar a elaborar proyectos de irrigación para mejorar la adaptación de estos cultivos al cambio climático.

Panorama global

Caracterización de la adaptación de irrigación

La productividad del agro en el mundo depende en su gran mayoría de la ocurrencia o no de precipitaciones: cerca del 80% de la superficie cultivada global presenta como principal fuente hídrica a las lluvias. Esta característica del sector deberá modificarse si se quiere garantizar la seguridad alimentaria en un contexto donde la crisis climática atenta con la productividad agrícola vía menor disponibilidad de lluvias. Para ello es necesario, entre otras cosas, aumentar la participación de la irrigación asistida en el campo, la cual hoy en día se encuentra altamente relegada (solo un 20% de la superficie es irrigada) (FAO, 2018).

El impacto de las sequías en las principales zonas productoras de alimentos ya obligó a muchos productores a invertir en técnicas de riego para poder mantener la producción. Se estima que el 45% de la tierra en el mundo sufrió de sequía al menos un mes en el año, con niveles 30% mayores a los registrados en promedio entre 1951 y 1960 (Lancet Countdown Report, 2022). Adicionalmente, FAO proyecta que para 2050, las sequías podrían afectar a aproximadamente las tres cuartas partes de la población mundial. Bajo este escenario, de 1961 a 2009, el área global equipada para riego aumentó en un 117% y la producción de cultivos bajo esta técnica fue cercana al 40% del total producido a nivel global (FAO, 2018). Sin embargo, esta expansión fue explicada casi en su totalidad por sistemas de irrigación de baja eficiencia hídrica teniendo en cuenta que el 90% de ellos fueron del tipo gravitacional. El riego por aspersión y por goteo, que se caracterizan por “producir más por gota”, concentraron solo el 6% y 3% respectivamente. Además, si se toma el área irrigada como porcentaje de la superficie agrícola (incluyendo no solo tierra para cultivos sino también para pastoreo) no se observa un gran dinamismo,

particularmente en los últimos años de la primera década del 2000: en 2018 se mantuvo 5 p.p. por debajo del valor observado en 2001 (12% en 2018 y 12,5% en 2001, según Our World in Data en base a los datos de FAO).

En este sentido, hubo una baja adopción de los sistemas de riego, los cuales a su vez se caracterizaron por ser muy poco eficientes en el uso del agua¹⁰⁹ haciendo surgir interrogantes respecto a la contribución de la irrigación en el cuidado de los recursos naturales. Desde una perspectiva del productor, los beneficios del riego también parecieran ser difusos en el caso de las tecnologías poco eficientes, dado que el incremento en el uso del agua de muchas otras actividades de la economía implicó una mayor competencia y menor disponibilidad del recurso. Esto pone en peligro la producción del productor y la rentabilidad por la mayor valorización que vienen adoptando los insumos hídricos.

Dado que las tecnologías eficientes tienen el doble impacto positivo de mejorar la sostenibilidad y el rendimiento de los cultivos, es pertinente ahondar en los motivos de su baja inserción en la actividad agrícola. Entre ellos podrían aparecer la falta de infraestructura, los elevados costos iniciales y de mantenimiento de los equipos de irrigación, las condiciones ecosistémicas de la región productora y el desconocimiento de las ventajas de adentrarse en sistemas de irrigación.

Inversiones en infraestructura

Aplicar sistemas de riego requiere de la existencia de grandes infraestructuras preparadas para la captación, conducción y distribución del agua. Caso contrario, la adopción de la irrigación se torna poco redituable para el productor dado que se trata de inversiones con altos costos hundidos y cuyas ganancias son muy difíciles de privatizar (las infraestructuras en riego actúan bajo una lógica de bienes públicos). Es por ello que los proyectos para irrigación e infraestructura hídrica fueron financiados en su gran medida por los gobiernos, instituciones bancarias multilaterales y entidades privadas, más que por los mismos agricultores.

La explotación de fuentes hídricas queda sujeta a la capacidad de sustraer el agua tanto de fuentes subterráneas como superficiales. Esto es particularmente relevante en países en vías de desarrollo donde la capacidad financiera para ampliar la infraestructura y mejorar la existente es más bien reducida y dependen en gran medida de las transferencias hechas por diferentes organismos internacionales. En un informe del Banco Mundial (2019) se estimó el costo de aumentar un 70% el área irrigada en estos países (los cuales son responsables del 75% de la producción global de alimentos) tomando como base el año 2010 y con proyección al año 2050. Bajo un escenario ambicioso de desembolsos, se calculó que se requiere una inversión anual

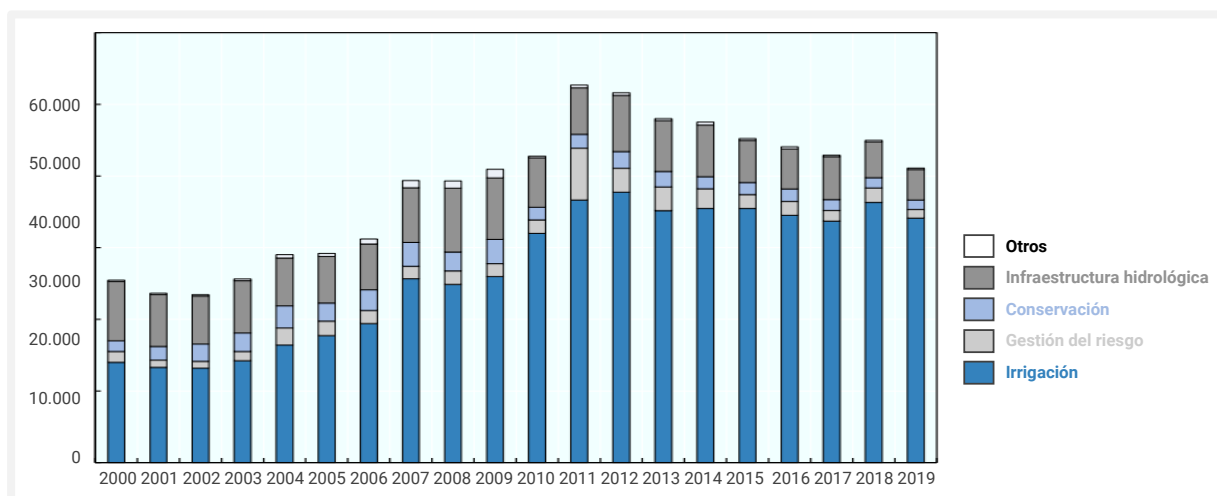
¹⁰⁹ Según FAO (2021), el estrés hídrico mundial (entendido como la extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles; es la razón entre el total de agua dulce extraída por los principales sectores económicos y el total de recursos hídricos renovables, teniendo en cuenta las necesidades ambientales de agua) aumentó del 17% en 2000 al 18% en 2018, siendo la agricultura la principal responsable del estado de situación crítico de algunos países.

de USD 74 mil millones en los próximos 40 años para ampliar y mejorar las técnicas de cultivo bajo riego. Esto representa cerca del 7% del PIB de los países menos desarrollados. Sin embargo, como veremos a continuación, las inversiones y fondos destinados al mejoramiento de la gestión del agua en los países mermaron año a año y permanecieron por debajo de los requeridos.

En un trabajo hecho por Gruère *et al.* (2021) para la FAO, se analizó la inversión pública destinada a un mejor manejo y aprovechamiento del agua en el agro. Las inversiones al sector crecieron de forma ininterrumpida desde 2000 hasta 2011, año donde encontraron su pico en el período de análisis (2000-2019). A partir de allí los desembolsos se mantuvieron en caída hasta alcanzar en 2019 un total de USD 41.000 millones (en 2011 habían sido cercanos a USD 50.000 millones). La mayor parte de estos gastos estatales se destinaron para el desarrollo del riego agrícola (70% en 2019 aproximadamente) explicado en gran medida por la India y China. El 18% de los desembolsos fueron dirigidos a infraestructura hidrológica para la gestión del agua de cuencas y subcuencas y el resto se concentró en proyectos de conservación y gestión de riesgo del agua.

De esta manera, tomando solo los recursos estatales destinados a la implementación de irrigación, los montos invertidos anuales se mantuvieron 45% por debajo de los necesarios para ampliar la participación del área irrigada a un 40% en los países en vías de desarrollo. Es por ello que bajo una mirada de largo plazo es necesario aumentar las inversiones en infraestructura de forma tal que se generen mayores incentivos a los agricultores para adoptar equipos de irrigación eficientes. Cabe destacar que países como Estados Unidos han logrado destrabar este cuello de botella ampliando la superficie agrícola bajo irrigación e inclusive adaptando tecnologías altamente eficientes. Es por ello que a continuación se expone el estudio de caso del país norteamericano tratando de hacer un paralelismo con el caso de Argentina.

GRÁFICO 37. FINANCIACIÓN PÚBLICA PARA PROYECTOS HÍDRICOS RELATIVOS A LA AGRICULTURA EN 54 PAÍSES DEL MUNDO, EN MILLONES DE USD DE 2019 (2000-2019)



Fuente: Gruère *et al.* (2021).

Análisis comparado de los sistemas irrigados en Argentina y Estados Unidos

Argentina y Estados Unidos se consolidan como dos de los principales proveedores de alimentos en el mercado global y sus rendimientos agrícolas se mantuvieron en constante crecimiento desde que la tecnificación de la agricultura se proliferó en el mundo. Si se toman en cuenta los principales cultivos (trigo, soja y maíz), la producción por hectárea en el país norteamericano se mantuvo por encima a la registrada en Argentina para gran parte de las últimas cuatro décadas. Son varios los factores asociados a la brecha de rendimientos y no sería lo más riguroso explicarla en base a características aisladas. Las diferencias productivas deben de pensarse más como una consecuencia de la interrelación de características ecológicas, tecnológicas, económicas y financieras.

En este apartado en particular, vamos a poner el foco en las diferencias relativas a los sistemas de riego eficientes, en donde, como se comentará en breve, presentan una mayor importancia en los campos de Estados Unidos. Con ello no se pretende justificar una relación única y causal de los rendimientos y el riego que explique la brecha entre Argentina y Estados Unidos en estos cultivos particulares, pero sí se utilizará como eje de análisis la evidencia empírica que muestra a la irrigación como una herramienta importante a la hora de aumentar la producción por hectárea. Es por ello que se prosigue a continuación a describir y comparar la adaptación de riego en dichas regiones.

Son tres las dimensiones respecto a la irrigación que sobresalen en la agricultura estadounidense y la diferencia con la de Argentina.

- 1. Importancia del área irrigada:** desde 1890 hasta mediados de la primera década del 2000, el área irrigada se multiplicó casi por 20, pasando de 1,2 millones de hectáreas a 23,4 millones en 2017¹¹⁰. Asimismo, el país norteamericano posee una gran parte de la superficie implantada bajo riego del mundo y también una alta participación a nivel local del área irrigada sobre el total de superficie cultivada. Las tierras irrigadas representan cerca del 20% de la superficie sembrada nacional, mientras que, en Argentina, como hemos visto, dicha participación se encuentra en torno al 5%. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), asocia gran parte de la mejora en la productividad agrícola¹¹¹ a la fuerte expansión que evidenció el riego.
- 2. Tecnologías eficientes:** no solo se registró una expansión de la superficie bajo riego, sino que también mejoró la productividad hídrica del agro en Estados Unidos. El uso de agua por

¹¹⁰ Cabe destacar, que el dinamismo de la irrigación fue heterogéneo por región. En California la superficie irrigada retrocedió desde 1997 hasta 2017 cerca de un 11%, mientras que en Nebraska creció un 23%. Son varios los factores detrás de estas disparidades entre los cuales se puede mencionar los cambios en la disponibilidad de agua en un contexto de mayor competencia del agro por dicho recurso con otros sectores; las mayores sequías y la menor disponibilidad de aguas subterráneas en algunos estados del país (USDA, 2022).

¹¹¹ De ese porcentaje surge más de la mitad de la producción de alimentos de Estados Unidos (54%), lo que da cuenta de un sistema agrícola con rindes notablemente elevados.

hectárea disminuyó cerca de un 25% desde fines de los '60 hasta por lo menos 2017, mientras que en nuestro país desde mediados de los '90 hasta fines de la primera década de los 2000 la presión en los recursos hídricos se duplicó. Esta diferencia tiene como raíz de explicación al tipo de tecnologías de irrigación utilizado. Gran parte del área irrigada de Estados Unidos la ocupan el riego por aspersión con un 57% del total, cifra notablemente mayor a la observada en Argentina (6%). Le sigue el riego gravitacional (36%) y por goteo (10%).

- 3. Distribución del riego por cultivo:** el área irrigada se explica en gran medida por el maíz (25%) y la soja (15% aproximadamente) contrastando fuertemente con lo evidenciado para Argentina donde la participación de estos cultivos es más bien marginal (8% la soja y 3% el maíz, según datos de FAO). Adicionalmente, la concentración de la irrigación en el cultivo de soja y maíz fue cercana al 15-20% para cada cultivo, mientras que en Argentina fue menos del 3%. Respecto a la tecnología usada en el país norteamericano, el trigo se produce en su gran mayoría por riego presurizado (más del 70%), mientras que para la soja esa participación fue cercana al 50%.

Las motivaciones para adaptar los campos de oleaginosas para la utilización de riego asistido se sustentaron en el aprovechamiento de una demanda en constante crecimiento. El auge del mercado asiático y su mayor consumo de carne generó que la demanda de pellets de oleaginosas para alimento de ganado se acrecentará en los últimos años. Asimismo, la búsqueda de fuentes energéticas a las de combustibles fósiles para la implementación de acciones de mitigación al cambio climático provocaron un mayor consumo de biocombustibles derivado del maíz. Los productores estadounidenses encontraron en la irrigación una forma de mejorar los rendimientos y aprovechar un mercado de commodities agrícolas cada vez más dinámico (Hrozencik y Aillery, 2021). Esta adaptación fue acompañada de fuertes incentivos estatales como analizaremos a continuación.

Políticas públicas de irrigación en Estados Unidos y oportunidad de aprendizaje para Argentina

La proliferación de los sistemas de riego en Estados Unidos tiene sus orígenes a inicios del año 1900 con la conocida "Ley de Recuperación", bajo la cual se financiaron varios proyectos de riego en el oeste del país para garantizar la provisión del agua para la agricultura y otros fines. A medida que la resiliencia al cambio climático se volvió una prioridad en la agricultura, las políticas públicas destinadas a incentivar la adopción del riego ampliaron su alcance y fueron cada vez más prioritarias dentro de la agenda del Estado. El soporte público a los productores para la ampliación de la irrigación en Estados Unidos puede agruparse en tres puntos: asistencia financiera, asistencia técnica e investigación científica y económica.

- 1. Asistencia financiera.** Son varios los programas federales elaborados con el objetivo de dar apoyo financiero a los productores agrícolas. Uno de ellos es el "Programa de Incentivos para la Calidad Ambiental" (EQIP por sus siglas en inglés) establecido en 1996 bajo la Ley Agrícola. El objetivo es cubrir hasta el 75% de los costos incurridos y hasta el 100% de los ingresos potencialmente perdidos por la implementación de buenas prácticas de conservación en el

agro. Este esquema, el cual se realiza bajo contratos de 1 a 10 años de duración, permite tener mayor previsibilidad y seguridad para un productor a la hora de decidir invertir en sistemas de riego. De manera similar, opera otro programa federal llamado “Programa de Administración para la Conservación” (CSP) mediante el cual se ofrecen a los agricultores pagos por administrar, mantener y expandir activamente buenas prácticas en la producción agrícola. Dichos pagos están determinados por factores como los costos incurridos (planificación, diseño, materiales, instalación, mantenimiento o capacitación), ingresos no percibidos y beneficios de conservación esperados. Finalmente, otra política muy relevante para el aumento de la irrigación en el agro es la “Asistencia en Gestión Agrícola” (AMA). La AMA ayuda a los productores agrícolas a gestionar el riesgo financiero asociado a la implementación de buenas prácticas agrícolas mediante pagos directos para la ejecución de proyectos que pueden alcanzar a cubrir el 75% del costo total. Se estima que casi la mitad de los fondos otorgados bajo estos tres programas entre 2009 y 2014 se destinaron a la implementación de sistemas de riego presurizados (USD 564 millones de los USD 1.200 millones de fondos otorgados) (Congressional Research Services of US, 2016).

2. **Asistencia técnica.** El USDA es el principal organismo estatal encargado de brindar asistencia técnica para la adopción de tecnologías de riego. Entre los programas más relevantes aparece el “Asistencia Técnica de Conservación” (CTA) el cual se consolidó como una herramienta de suma utilidad para los productores para poder calificar a programas de asistencia financiera. El CTA financió cerca de USD 5.700 millones en ayuda técnica entre 2003 y 2013.
3. **Investigación científica y económica.** Son tres las áreas dentro del USDA que realizan estos servicios: el de “Servicios de Investigación Agrícola” (ARS), “Servicios de Estudios Económicos” (ERS) y el “Instituto Nacional de Alimentación y Agricultura” (NIFA). Muchos de los estudios realizados por estas instituciones se abocaron en mostrar los beneficios de la irrigación y optimizar su programación. Ciertamente los hallazgos de estos trabajos sirvieron como base para los agricultores para reconocer las ventajas que presentan los sistemas de riego eficientes y al mismo tiempo ganar conocimiento para una buena gestión de dichos sistemas.

Hoy en día el interés por parte de Estados Unidos para ampliar el área irrigada persiste y está materializado en una serie de nuevas políticas como la “Ley de Innovación y Financiamiento de la Infraestructura del Agua” (WIFIA, por sus siglas en inglés) promulgada en 2016. Dicha ley otorga la capacidad a la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de dar préstamos a agricultores para el desarrollo de infraestructura de riego. Las políticas públicas no solo se centran en financiamiento al sector privado, sino que también procuran la intervención estatal directa en problemas de suministro de agua vía inversiones públicas. Este fue el caso de la “Ley de Protección de Cuencas Hidrográficas y Prevención de Inundaciones” (2020), mediante la cual se abordan problemas de infraestructura de recursos hídricos a escala de cuenca.

En Argentina, el “Plan Nacional de Riego (2018-2030)” (de ahora en más PNR), una de las herramientas más relevantes del país en materia de irrigación, identificó gran parte de las

problemáticas que atienden los programas hechos por Estados Unidos. El PNR se propuso como meta impulsar el desarrollo integralmente sustentable de la agricultura irrigada en todo el territorio nacional pudiendo duplicar la superficie irrigada para llegar al año 2030 con cuatro millones de hectáreas (4.000.000 ha) e incrementar la eficiencia de aplicación del agua para riego¹¹². Para cumplir con ello el aquel entonces Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca se propuso, por ejemplo, realizar desembolsos en torno a los USD 442 millones a lo largo del período que dura el PNR al fortalecimiento institucional y subsidio de tasas (actualmente se puede mencionar la línea de financiamiento del Banco Nación “Carlos Pellegrini”)¹¹³. En el caso de Estados Unidos, el monto efectivamente otorgado solo para líneas de financiamiento a proyectos de irrigación fue cercano a los USD 564 millones en un período de cinco años¹¹⁴. Cabe destacar las diferencias entre las formas de ayuda financiera entre una y otra política. En el caso del país norteamericano la ayuda financiera actúa bajo una lógica de “costos compartidos” en donde se cubre no solo el costo del proyecto sino también la potencial pérdida de ingresos que podría llegar a tener la implementación de prácticas agrícolas. Esta es una diferencia llamativa en la forma de apoyo financiero respecto a la adoptada por Argentina, donde se trata de otorgamiento de préstamos a tasas subsidiadas, con poco control y participación del Estado sobre el proyecto de irrigación. Adicionalmente, la asistencia financiera ha sido acompañada con un apoyo técnico en el caso de Estados Unidos, mientras que en nuestro país este tipo de ayuda se basó hasta el momento en la realización de talleres y cursos con baja vinculación directa con las obras particulares llevadas adelante por el productor.

Panorama local

Argentina, al ser uno de los principales proveedores de alimentos, posee un rol clave para adaptar la agricultura a los desafíos actuales. Según datos de FAO, el país se posicionó entre los diez con mayor área sembrada para cultivos primarios¹¹⁵ del mundo concentrando el 2,5% del total. Estandarizado por la cantidad de población, Argentina continuó entre los principales proveedores de alimentos.

Sin embargo, del total de esta superficie solo el 5% cuenta con infraestructura para riego, porcentaje notablemente inferior a la media regional (10%) y global (19%) (ver cuadro 20). Esta

¹¹² Cabe destacar, que en 2022 se presentó el Plan Nacional de Riego Sustentable 2030 por parte del entonces Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. En una primera etapa del plan se empezó a trabajar en 21 regiones para ampliar las zonas irrigadas con un potencial de riego de 340.000 hectáreas.

¹¹³ Esta fuente de financiamiento fue acompañada de otras como financiamiento internacional, de Estados Provinciales, bancario (nacional y privados) y de empresas de riego.

¹¹⁴ A modo de comparación, en términos anuales y corregidos por la población, los montos de financiación destinados por el PNR en el país fueron de USD 804 cada mil habitantes, mientras que en Estados Unidos de USD 340.

¹¹⁵ Se entiende como cultivos primarios aquellos productos agrícolas que presentan un valor económico en el estado como se extrae o cosecha. Se incluyen, por ejemplo, cereales, oleaginosas, vegetales, frutas, caña de azúcar, cultivos de fibra primaria, raíces y tubérculos, entre otros.

situación se torna aún más llamativa teniendo en cuenta el potencial con el que cuenta el país para la ampliación de la irrigación. La superficie bajo riego podría duplicarse y sobre todo en las zonas áridas y semiáridas de Argentina. De esta manera, podría mejorar la productividad del sector agrícola dado que la producción por hectárea en zonas irrigadas es mucho más elevada que en aquellas más dependientes a la ocurrencia de precipitaciones. Esto último queda reflejado en la sobrerrepresentación de los sistemas de riego dentro de la producción agrícola: el 5% de la superficie bajo riego explica el 13% de la producción agrícola del país.

Cabe destacar que, pese a la baja adopción nacional del riego, aquellas zonas efectivamente irrigadas cuentan con una elevada productividad relativa respecto a la media global. Si se analiza la superficie nacional bajo riego por tecnología, gran parte es gravitacional (77% según INTA, 2015), siendo estas técnicas una de las menos eficientes en términos de agua efectivamente aprovechada por el cultivo. De los sistemas de riego presurizados, solo el 18% del área irrigada es por aspersión y el 5% por goteo. De esta manera, la eficiencia en el uso del agua es menor al 30%: por cada 100 litros de agua, 70 se pierden en la conducción, distribución y el incorrecto manejo del recurso hídrico. Ahora bien, si bien en términos absolutos predominan las prácticas poco eficientes en el uso de agua, en términos relativos aquellas participaciones posicionan a la Argentina como uno de los países con mayor adopción de técnicas eficiente de riego teniendo en cuenta las cifras para la media global (91% gravitacional; 6% aspersión y 3% por goteo).

La baja adopción del riego en Argentina se asocia en parte a la propia estructura productiva agrícola que presenta. Gran parte de la superficie implantada nacional la ocupan cultivos con requerimientos hídricos relativamente bajos (como es el caso de la soja y el maíz), generando una menor necesidad de invertir en sistemas de irrigación por parte del productor. Esto queda ilustrado en el gráfico 38 en donde se muestra de forma intuitiva cómo opera la importancia de cierto cultivo en una provincia y el sistema de irrigación predominante. De esta manera, para medir la relevancia de un cultivo se tomó el índice de ventajas comparativas reveladas¹¹⁶ que permite obtener un proxy del perfil de especialización de una jurisdicción, mientras que para cuantificar la importancia de la irrigación eficiente se tomó la participación de los sistemas presurizados sobre el total del área cultivada por provincia.

De esta manera, en el caso de las oleaginosas y los cereales, por ejemplo, se muestra una relación negativa entre especialización e irrigación eficiente. Esto quiere decir que una provincia con elevada importancia relativa en esos cultivos suele presentar una baja participación de área irrigada con tecnologías presurizadas en el total de la superficie cultivada. Este último escenario es el que se presenta en todo el centro del país con las jurisdicciones de Buenos Aires, Córdoba

¹¹⁶ El índice de ventajas comparativas reveladas (RCA por sus siglas en inglés de Revealed Comparative Advantage) mide la especialización de una región en relación a otra. En este caso, se utilizó la participación de la superficie agrícola por cultivo a nivel provincial y ese mismo coeficiente, pero a nivel nacional. De esta forma, cuando el índice es mayor a 1 entonces la región presenta una especialización en la producción de ese cultivo analizado y cuando es menor no se encuentra especializada.

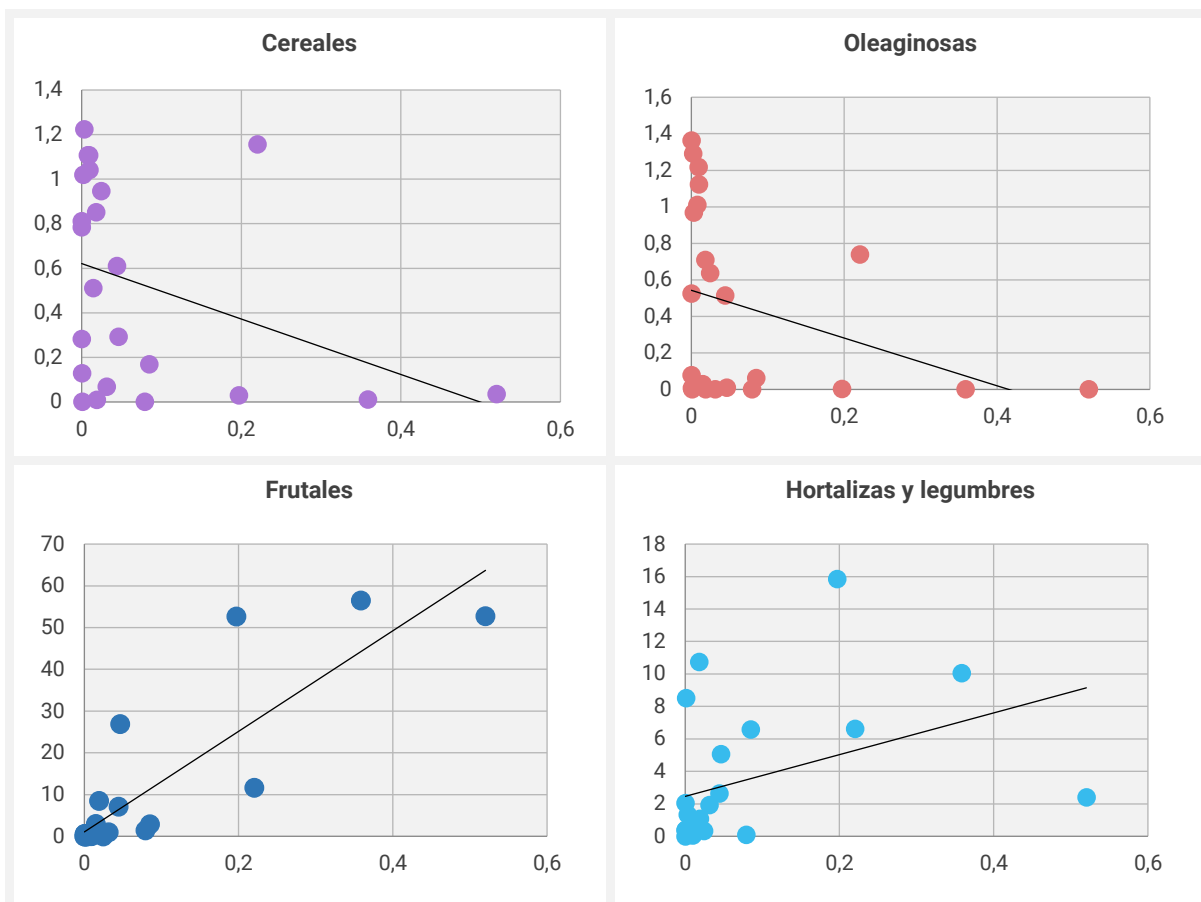
y Entre Ríos, fundamentalmente. De forma opuesta, si el cultivo no es relevante en la producción agrícola de la provincia, el sistema de riego tiende a ser más eficiente.

CUADRO 20. SUPERFICIE ADECUADA PARA LOS SISTEMAS DE RIEGO

	Argentina	América	Mundo
Superficie cultivada (millones de hectáreas)	39	175,8	1.545
% sobre el total de la superficie	13,9%	8,6%	10,8%
Superficie regada (millones de hectáreas)	2,1	18	287
% sobre el total cultivado	5%	10%	19%

Fuente: elaboración propia con base en FAO (2015b).

GRÁFICO 38. ÁREA IRRIGADA Y ESPECIALIZACIÓN PRODUCTIVA POR CULTIVOS, VENTAJA COMPARATIVA REVELADA (EJE VERTICAL) Y PARTICIPACIÓN DEL RIEGO EFICIENTE (EJE HORIZONTAL)



Fuente: elaboración propia en base en el Censo Nacional Agropecuario de INDEC (2018). Nota: cada punto en el gráfico representa una jurisdicción del país.

A la inversa, en regiones donde el cultivo de frutas, hortalizas y legumbres presentan una participación en el área cultivada superior a la media nacional los sistemas de riego tienden a ser más eficientes. Esto se da sobre todo en la región del Cuyo y el NOA.

Cabe destacar que la baja proliferación de la irrigación nacional no solo puede asociarse a las características de la agricultura argentina. El hecho de que predominen cultivos que presentan una dependencia hídrica y una exposición al cambio climático menor al de otras plantaciones no implica que no existan incentivos para adentrarse en sistemas de riego más eficientes. Como se mencionó, los sistemas presurizados tienen la capacidad de aumentar la producción agrícola sin necesidad de recurrir a un mayor uso del agua ahorrando costos al productor. Este pareciera ser el motivo principal por el cual otros países como Estados Unidos realizaron grandes esfuerzos para ampliar las áreas irrigadas y pese a contar con una estructura productiva agrícola donde prima la importancia de los cultivos oleaginosos y de cereales.

Modelo de organización productiva y costos de los equipos de irrigación

Como se mencionó en apartados anteriores, los equipos de irrigación resultan ser muy costosos fundamentalmente por los insumos que implica su utilización a lo largo de su vida operativa. De hecho, el costo de adquisición de los equipos de irrigación se mantiene en niveles muy similares e inclusive inferiores al de otros bienes de capital del sector agrícola. Según representantes del Foro Argentino del Agua (FADA), se estima que un equipo de riego por goteo en 10 hectáreas de vid está valorado en USD 30.000, mientras que en el caso de un pivot central (sistema más recomendable para hortalizas y cereales) para 50 hectáreas ronda un valor de USD 100.000. De forma adicional, según fuentes consultadas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, se estima que un equipo de riego está valorado en USD 200.000. Estas estimaciones de costos son relativamente inferiores al resultante de adquirir otros bienes de capital del sector agrícola como las cosechadoras (USD 351.000 aproximadamente tomando datos de INDEC).¹¹⁷ Sin embargo, el costo de mantenimiento y puesta en marcha de los equipos de irrigación aumentan considerablemente debido en parte a la fuente de energía utilizada, la cual se estima representa cerca del 60% del total de los costos operativos. Esto último determina también las variaciones de costos según la región. En aquellas zonas productivas donde la tarifa de energía eléctrica es muy elevada los costos de extracción de agua se encarecen mucho más.

Ahora bien, los costos de implementación podrían verse compensados por los aumentos de productividad derivados del buen manejo del agua. Si se toma a la región pampeana (donde gran parte de la producción es de cereales y oleaginosos y bajo seco), en períodos de altos valores, se lograría recuperar el total invertido en equipos de riego por aspersión en un período de tres años, mientras que en épocas de bajos valores el plazo de recuperación ascendería a

¹¹⁷ Para la conversión a dólares se tomó el promedio anual del tipo de cambio mayorista provisto por la página del Banco Central de la República Argentina.

nueve años. Cabe destacar que estos períodos de retorno van a variar dependiendo a distintas variables. En este sentido, algunos estudios sobre factibilidad económica de la irrigación han mostrado que en el caso del trigo los márgenes brutos de ganancias se tornan positivos solo cuando se alcanzan rendimientos altos. En el caso de la soja, implementar riego por aspersión independientemente de la fuente de energía utilizada genera márgenes positivos para el productor. Sin embargo, dicha cifra es inferior a la que se recibiría si se opta por riego por secano en períodos normales de precipitaciones. Como contracara, el maíz es el cultivo con mayor factibilidad económica dado que el menor uso de agua del riego controlado se traduciría en una mejora notable de los rindes de estos cultivos aminorando los costos y mejorando la rentabilidad.

Dados los altos niveles de desembolsos que implican los sistemas de riego, la decisión del productor de adentrarse a este tipo de inversión también dependerá del modelo de organización productiva del cual se trate. Muchos productores no son propietarios de las tierras que cultivan y el esquema de producción es bajo contratos de arrendamiento (si se toma las principales regiones productoras de oleaginosas y cereales el 37% del área cultivada está bajo contratos de arrendamientos). Si los plazos del contrato son relativamente pequeños genera desincentivos de inversiones en sistemas cuyo plazo de amortización es más bien alto. En el caso de los equipos de riego esto es aún más notorio dado que se trata de inversiones de capital fijo con pocos márgenes de movilidad.

Oferta de irrigadores y sistemas de riego

La oferta de equipos de irrigación en el país se encuentra altamente concentrada, al igual de lo que sucede en la gran mayoría de los bienes de capital, y la integración productiva a nivel local es relativamente baja en los fabricantes de sistemas de riego. Cerca del 40% de los insumos utilizados en la fabricación se importa, dentro de los cuales destacan las válvulas hidráulicas, caudalímetros, conectores y filtros. Esta participación del componente importado es notoriamente mayor al que se estima para las maquinarias agrícolas como las pulverizadoras, donde la producción nacional explica más del 70% de los insumos.¹¹⁸

Si se analiza a las empresas por tecnología ofrecida, en el caso de los sistemas por pivot,¹¹⁹ la principal proveedora es una firma de capitales extranjeros denominada Valley Irrigation, con fuerte presencia no solo a nivel local sino también a nivel internacional. También sobresale la empresa nacional Montenegro la cual inició un proceso de diversificación de su cartera de productos incluyendo en su *core competence* a la producción de otras maquinarias agrícolas aprovechando el *know how* y la capacidad instalada con la que contaban. Praba y Stamati son

¹¹⁸ Las estimaciones se realizaron en base a los datos de facturación de empresas nacionales de bienes de capital que se presentaron al régimen de incentivos para la producción de bienes de capital diagramado bajo el Decreto N° 379/01.

¹¹⁹ Los sistemas de riego mediante pívots son sistemas de riego móviles que permiten regar grandes superficies.

otras dos firmas que se han logrado identificar, aunque su producción con componentes importados es relativamente menor al de las firmas descritas anteriormente. En tanto, el mercado de sistemas de irrigación por goteo lo ostenta en su gran mayoría la firma nacional Dripsa junto con NETAFIM (de origen israelí), seguida por Rivulis Plastro de capitales extranjeros.

Actualmente, la marginal adopción del riego difícilmente pueda asociarse a la baja disponibilidad de oferentes locales ya que, de hecho, muchas de estas firmas iniciaron procesos de fusiones y diversificación productiva por el poco interés del mercado en adquirir equipos de irrigación. De todos modos, una característica relevante a tener en cuenta respecto a la estructura que adopta la oferta, es la de una producción local que se realiza con una elevada participación de insumos extranjeros. Este hecho puede influir en el precio final de estos equipos generando sobrecostos de adquisición ante las bruscas variaciones del tipo de cambio. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, el valor de compra no es exorbitante en comparación a otras maquinarias y el diferencial de costos se da más que nada en la vida operativa del equipo.

Cabe destacar que existen también otras problemáticas aparte de las mencionadas a lo largo de esta sección que limitan la expansión del área irrigada en el país. Una de ellas se asocia a la falta de conocimiento sobre la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en áreas potenciales de riego, de forma tal que permitan transitar hacia el desarrollo de una agricultura irrigada. Asimismo, y también ligado a la ausencia de conocimiento, en el país no existe una oferta sólida de técnicos y especialistas en el manejo de recursos hídricos que cuenten con la capacidad de poder llevar adelante proyectos de infraestructura de irrigación, según fuentes consultadas. De esta manera, existe un “valle” en la etapa previa a la inversión la cual surge por el desconocimiento de la forma operacional para materializar las ideas de proyectos sobre riego.

Proyecto 6. Evitar el agotamiento de los suelos a partir de una mayor fertilización de suelos

Introducción

El crecimiento de las necesidades alimentarias representa un gran desafío para la agricultura. Históricamente, las limitaciones en la expansión productiva hacia tierras menos fértiles resultaron en la necesidad de intensificar la producción en los sistemas actuales, es decir, incrementar los rendimientos. Sin embargo, una de las consecuencias indeseables de la intensificación de la agricultura ha sido el aumento de la presión sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos (Reca, 2013). Al mismo tiempo, el desequilibrio de nutrientes, que se manifiesta tanto en la deficiencia como en el exceso de minerales esenciales en la tierra tiene profundas consecuencias en la productividad.

Los sistemas sostenibles de producción agrícola son aquellos que mantienen equilibrados los balances de nutrientes del suelo. Para ello, los mismos deben ser reemplazados a medida que son retirados del sistema a través de la extracción de los productos de cosecha, sean cereales, granos o frutas. Si eso no ocurre, a largo plazo los suelos se empobrecen a medida que los ciclos agrícolas remueven año a año los nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Minimizar la degradación y restaurar la productividad de los suelos que ya se encuentran afectados a partir de una gestión sostenible es una tarea clave en el objetivo de incrementar el suministro de alimentos saludables y sostenibles. Las buenas prácticas agrícolas¹²⁰ incluyen, entre otras acciones, la rotación de cultivos, el manejo integrado del agroecosistema, y la reposición de los nutrientes consumidos en el ciclo del cultivo. Esto se logra equiparando el aporte de nutrientes con los requerimientos de los cultivos para optimizar los rendimientos, mientras se minimizan las pérdidas de los mismos al ambiente.

El desafío que representa actualmente la fertilización de los suelos es mejorar la productividad y mantener el balance de nutrientes evitando generar efectos negativos en el equilibrio de gases de efecto invernadero, en los ecosistemas y su biodiversidad y en la calidad del aire, del agua y del suelo (Fertilizar, 2020). El uso eficiente y efectivo de los nutrientes es clave para incrementar la producción con la misma o más baja cantidad de aportes externos y para reducir las pérdidas en el medio ambiente.

Los fertilizantes son productos cuya función principal es proporcionar nutrientes a los cultivos. El aporte de nutrientes por fertilización es la fuente más utilizada y de respuesta más inmediata,

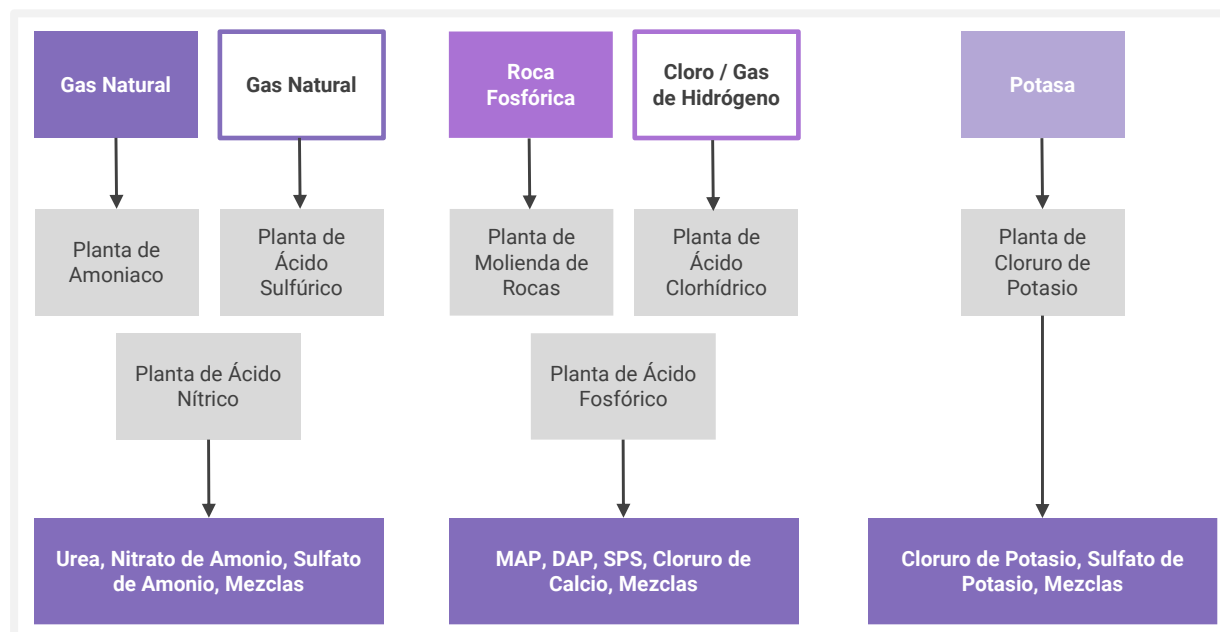
¹²⁰ Para FAO, consisten en la aplicación del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios, inocuos y saludables, a la vez que se procura la viabilidad económica y la estabilidad social.

por lo que su suministro y la eficiente adopción de los mismos es vital para la cadena de valor de la agricultura. Cada producto fertilizante tiene sus propios beneficios y desventajas que dependen de la forma de utilización, y de condiciones ecosistémicas y económicas locales. Los principales nutrientes, conocidos como macronutrientes, son el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

- Nitrógeno: contribuye al desarrollo vegetativo de todas las partes de la planta.
- Fósforo: refuerza la resistencia de los cultivos y contribuye al desarrollo radicular.
- Potasio: ayuda a favorecer la floración y el desarrollo de los frutos.

Según el tipo de nutriente principal de cada fertilizante, la cadena de valor comienza a partir de minerales o de gas natural, que cumplen la función de principios activos de posteriores procesos químicos. En el caso de la urea, su principal insumo es el gas, que mediante un proceso químico se convierte primero en amoníaco y luego se deshidrata para formar el fertilizante. En el caso de los potásicos y fosfatados los minerales, potasa y roca fosfórica son el primer eslabón de su proceso productivo (figura 19).

FIGURA 19. CADENA DE VALOR DE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES, POR TIPO



Actualmente los fertilizantes son comercializados como *commodities* con características homogéneas de concentración. Se clasifican en nitrogenados, fosfatados y potásicos en virtud de su principal aporte nutricional; sin embargo, en su mayoría constituyen mezclas. El fertilizante con mayor contenido de nitrógeno es la urea (46% de N). Además, contribuyen al aporte de nitrógeno el amoníaco anhidro, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio, entre otros. Respecto a los fosfatados, los más concentrados son MAP, DAP y Superfosfato, 52%, 46% y 20% respectivamente de P. El potasio se aporta fundamentalmente mediante la aplicación de

cloruro de potasio (52% de K), aunque también a partir de mezclas menos concentradas como el sulfuro de potasio y el nitrato de potasio.

Además de los macronutrientes mencionados, existe un conjunto más amplio de nutrientes agrupados bajo la categoría de nutrientes secundarios, entre los que destacan el azufre (S), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) y micronutrientes como zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y boro (B), entre otros.

En el presente capítulo nos centraremos en un análisis desde la demanda, haciendo hincapié en la adopción eficiente y sostenible de los fertilizantes por parte de los productores, con el fin de proteger los suelos del agotamiento de nutrientes apoyados en las malas prácticas como el monocultivo o la aplicación inadecuada –por debajo o por encima del óptimo– de fertilizantes, con el objetivo de aumentar la resiliencia del sector agrícola y alcanzar una producción de alimentos sostenible. Luego, brevemente, analizaremos las potencialidades locales para la producción de algunos tipos de fertilizantes sobre los cuales Argentina cuenta con ventajas competitivas. Vale tener en cuenta que el costado de la oferta (la producción de fertilizantes en base a hidrocarburos) se analiza en la Misión 10 (Encadenamientos en base al sector primario) del *Plan Argentina Productiva 2030*, en la sección petroquímica.

Panorama global

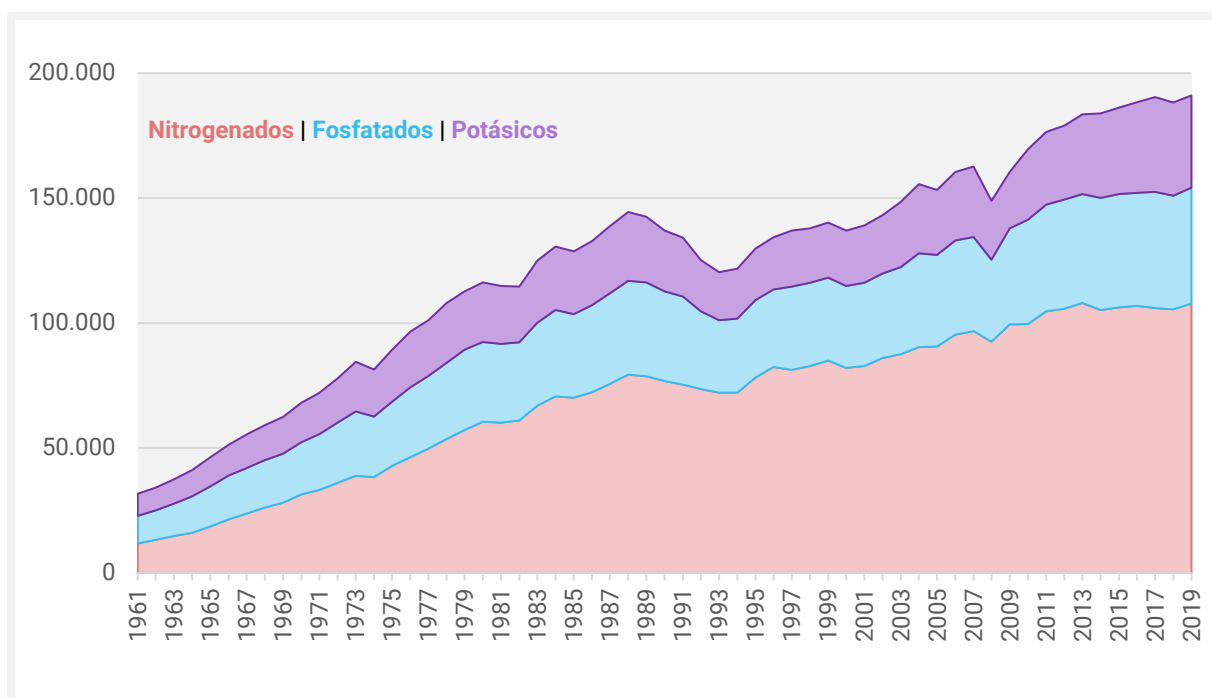
Evolución del consumo de fertilizantes a nivel global

El uso intensivo de fertilizantes irrumpe a mediados del siglo XX con la denominada *revolución verde*, un cambio de paradigma productivo que implicó el incremento exponencial en el uso de fertilizantes y plaguicidas, entre otras prácticas agrícolas, que trajeron consigo grandes saltos en los rendimientos, al punto tal que los aumentos de la producción agrícola llegaron a superar el crecimiento de la población.

Siguiendo el gráfico 39 puede observarse cómo el consumo de fertilizantes pasó de 31 millones de toneladas de nutrientes en el año 1961 a aproximarse a las 200 millones de toneladas en la actualidad.

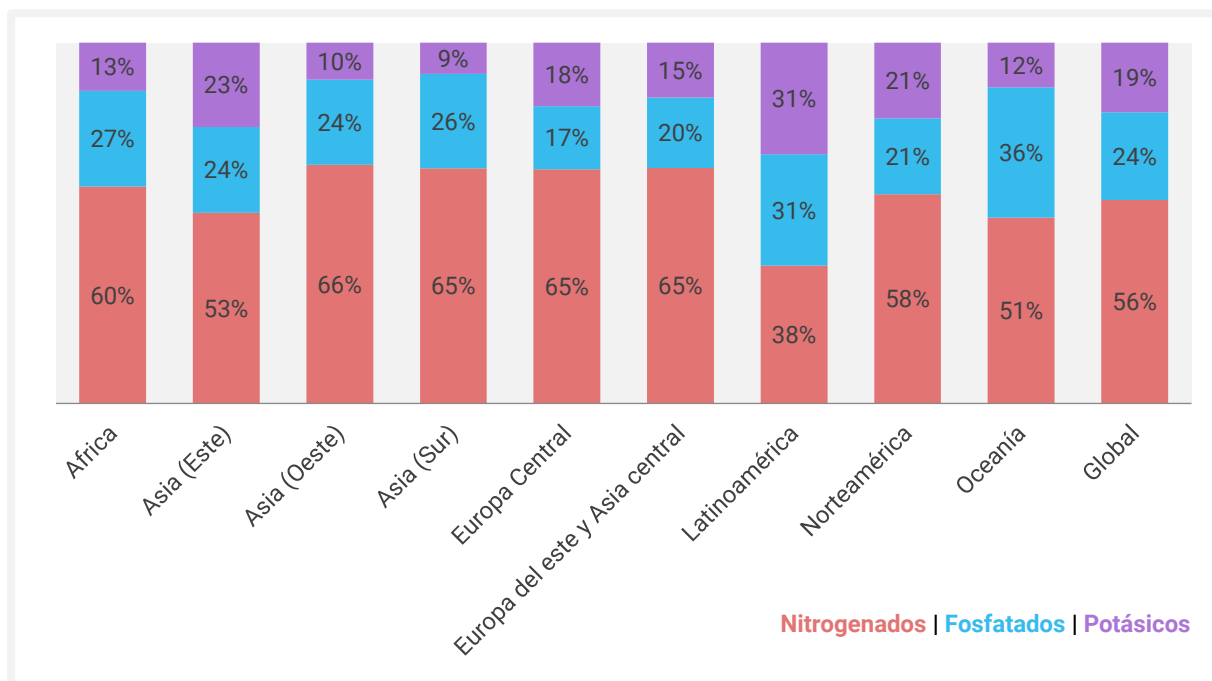
De los tres considerados macronutrientes, el que revisten una mayor demanda global es el nitrógeno (56%), seguido por el fósforo (24%) y por último el potasio (19%). El consumo de fertilizantes por tipo y por volumen está determinado por diversos factores, entre ellos el tipo de suelo que los demande –pudiendo ser estos ácidos, neutros o alcalinos–, las condiciones climáticas y la estación del año, el tipo de cultivos a sembrar y las tecnologías empleadas, entre otras variables. Por lo tanto, el orden de preferencia entre los distintos macronutrientes varía según región y país (gráfico 40).

GRÁFICO 39. CONSUMO DE FERTILIZANTES A NIVEL GLOBAL, PERÍODO 1961- 2019. EN MILES DE TONELADAS DE NUTRIENTES



Fuente: elaboración propia con base en IFASTAT.

GRÁFICO 40. DEMANDA DE FERTILIZANTES SEGÚN TIPO DE NUTRIENTE POR REGIÓN, AÑO 2019



Fuente: elaboración propia con base en IFASTAT.

A nivel global, el mercado de fertilizantes superó los USD 190.000 millones en 2020 y se proyecta una tasa anual de crecimiento del 2,4% en términos de volumen para el período 2022-2030 (Global Market Insights, 2022), una tasa algo inferior al crecimiento económico proyectado (3% anual). En relación con su estructura, se trata de un mercado consolidado, en el que las principales cinco firmas tienen una participación superior al 60%, mientras que otras pocas compañías representan una parte más pequeña (Mordor Intelligence, 2021). Los jugadores más importantes son Nutrient Limited (Canadá), The Mosaic Company (Estados Unidos), Yara International (Noruega), K+S (Alemania) OCP (Marruecos), y Bunge Limited (Estados Unidos). En un segundo escalón se encuentran Indian Farmers Fertilizer Cooperative Limited (India), Israel Chemicals Ltd (Israel) y Syngenta Group (China). Entre las principales estrategias empresariales que siguieron estas firmas en los últimos años podemos mencionar la presencia global, la ampliación de su cartera de productos a partir del lanzamiento de nuevos fertilizantes “verdes” o bioinsumos agrícolas y el desarrollo de soluciones personalizadas para cultivos específicos y regiones específicas y las estrategias agresivas de asociaciones o adquisiciones de pequeñas compañías. A partir de estas adquisiciones y asociaciones se espera que el mercado esté más consolidado en el futuro.

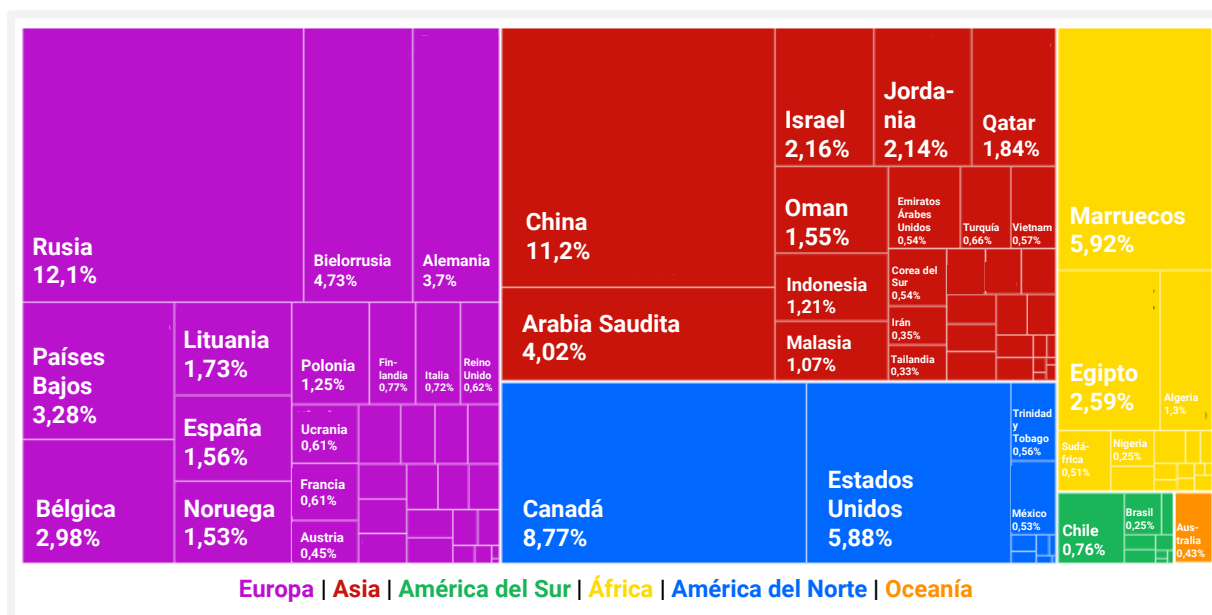
Entre los principales *drivers* que impulsan su crecimiento, se encuentra el aumento demográfico, la mayor urbanización y la consecuente necesidad de producir más en menos hectáreas. En segundo lugar, en las últimas décadas, se han desarrollado nuevas variedades de los principales cereales como arroz, maíz y trigo que producen rendimientos mucho más grandes por hectárea que las variedades tradicionales, tienen un período más corto entre la siembra y la cosecha e incluso son relativamente resistentes a las plagas. Estas nuevas variedades requieren un uso mayor de fertilizantes. Por último, el aumento en la inversión extranjera directa en el sector (Mordor Intelligence, 2021) y la política de subsidios impulsados por los gobiernos en regiones como India y África Subsahariana constituyen un incentivo adicional a la demanda de estos productos.

A nivel global, se espera que Asia-Pacífico encabece el crecimiento del mercado de fertilizantes en el período 2022-2030 con una tasa anual de crecimiento del 2,5%. Actualmente esta región constituye el más amplio mercado de fertilizantes del mundo, con una cuota del 60% del total global. Entre los países que integran la región China representa aproximadamente la mitad del consumo. Entre los tipos de fertilizantes demandados se destacan los nitrogenados, como la urea recubierta de neem¹²¹ y el potasio. A nivel regional, Brasil lidera el consumo de fertilizantes representando el 66% del total de demandado en América del Sur. En 2019 el consumo total de NPK fue de 15,8 millones de toneladas nutrientes de las cuales 6,1 fueron fertilizantes potásicos representando un 38% (IFASTAT). El potásico es el segmento de fertilizantes de más rápido crecimiento debido al aumento del cultivo de soja en el país. Además, es adecuado para los suelos ácidos y poco fértiles de la zona tropical de Brasil. En los próximos años se espera que este consumo continúe aumentando, ya que el país se encuentra expandiendo sus áreas de cultivo.

¹²¹ El neem es una planta que tiene como característica ralentizar y dosificar el proceso de liberación de nitrógeno de la urea.

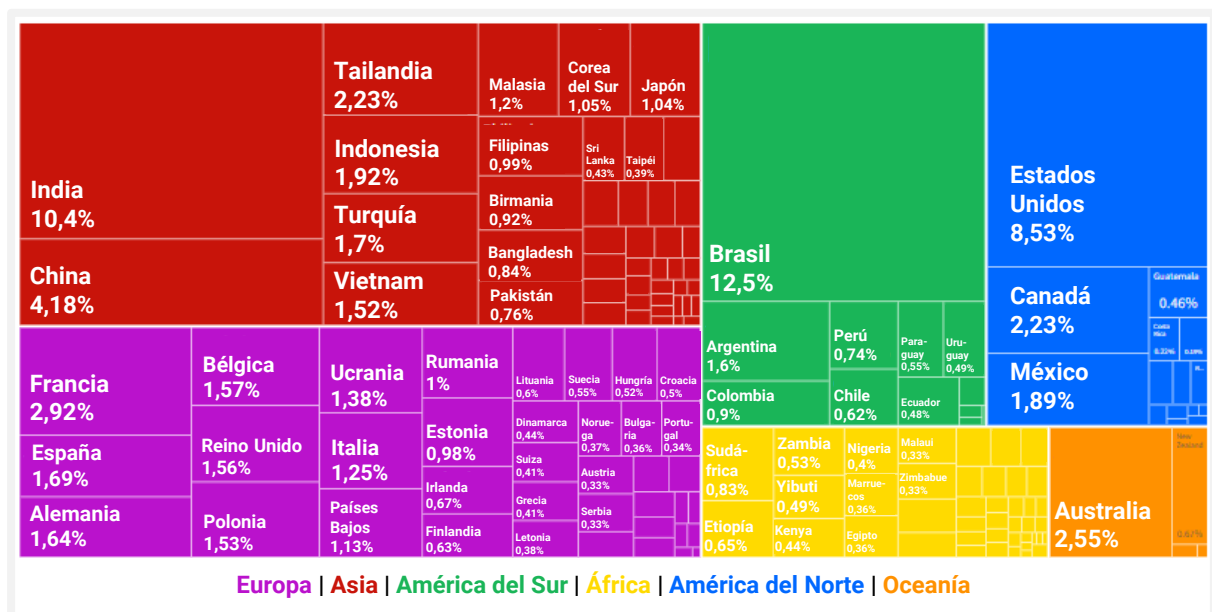
En relación con el intercambio internacional, se calcula que para el año 2020 los países compraron y vendieron fertilizantes por un valor de USD 62.600 millones. Entre los principales exportadores se encuentran Rusia, China, Canadá, Marruecos y Estados Unidos. El principal importador a nivel global es Brasil, seguido por India, Estados Unidos, China y Francia. (gráficos 41 y 42, y cuadros 21 y 22).

GRÁFICO 41. EXPORTACIONES DE FERTILIZANTES POR PAÍS, EN PORCENTAJE DEL TOTAL, AÑO 2020



Fuente: Observatorio de Complejidad Económica. Nota: Se contempló HS2: Fertilizantes.

GRÁFICO 42. IMPORTACIONES DE FERTILIZANTES POR PAÍS, EN PORCENTAJE DEL TOTAL, AÑO 2020



Fuente: Observatorio de Complejidad Económica. Nota: Se contempló HS2: Fertilizantes.

CUADRO 21. MONTO COMERCIALIZADO Y PARTICIPACIÓN DE CADA TIPO DE FERTILIZANTE, AÑO 2020

Tipo de fertilizante (a 4 dígitos)	Monto global comercializado (dólares)	Participación de mercado
Fertilizantes animales o vegetales	1.007.471.392	1,6%
Nitrogenados	22.508.952.049	35,9%
Fosfatados	1.428.161.767	2,3%
Potásicos	15.098.590.484	24,1%
Mezclas	62.620.987.464	36,1%
Total	62.620.987.464	100%

Fuente: elaboración propia con base en el Observatorio de Complejidad Económica.

CUADRO 22. PRINCIPALES EXPORTADORES E IMPORTADORES DE FERTILIZANTES A NIVEL GLOBAL, AÑO 2020

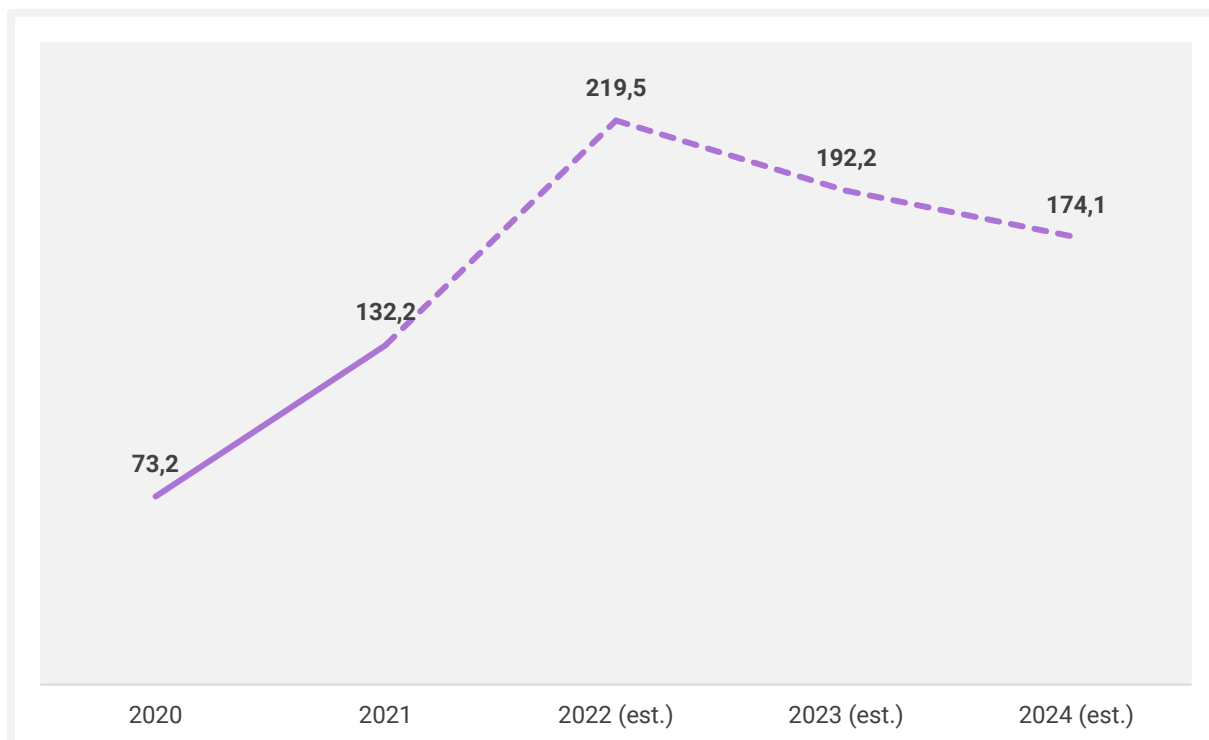
Principales exportadores	Principales importadores
Rusia, China, Canadá, Marruecos y Estados Unidos	Brasil, India, Estados Unidos, China y Francia.

Fuente: elaboración propia con base en el Observatorio de Complejidad Económica.

Estado de situación del mercado de fertilizantes en el escenario global reciente

La guerra desatada en febrero de 2022 entre Rusia y Ucrania generó grandes preocupaciones a nivel mundial por las consecuencias económicas asociadas fundamentalmente al comercio de alimentos, energía y fertilizantes, bienes de los cuales estos países son grandes productores. Sin embargo, el mercado de los fertilizantes venía siendo afectado desde antes del conflicto a partir de la pandemia. Durante los años marcados por el COVID-19 las interrupciones en la logística y el transporte impactaron en el costo de los fletes, y el aumento de los costos de la energía, principalmente del gas natural y el carbón, generó un encarecimiento de la producción de los fertilizantes a base de gas. Otro elemento que impactó en la oferta de este insumo fue el hecho de que ante la incertidumbre comercial generada por la pandemia, los principales productores y exportadores de fertilizantes decidieron reducir su comercialización al exterior para garantizar este insumo en su mercado interno, afectando seriamente las cadenas de suministro globales. Paralelamente, durante los años 2020 y especialmente 2021 los precios de los commodities agrícolas mostraron un fuerte aumento, lo que actuó como un incentivo sobre la demanda, ya que los productores buscaron incrementar sus rindes y maximizar su cosecha. Este último factor incidió en los factores anteriormente enunciados, lo que generó un fuerte incremento del precio de los fertilizantes durante la etapa previa al conflicto entre Rusia y Ucrania (+81% interanual en 2021, ver gráfico 43). A partir de la guerra los precios continuaron al alza. Hacia adelante se espera que los mismos se estabilicen en valores históricamente altos.

GRÁFICO 43. ÍNDICE DE PRECIOS DE FERTILIZANTES EN DÓLARES NOMINALES (2010=100)



Fuente: elaboración propia con base en el Banco Mundial.

Una vez desatada la guerra, esta situación se vio fuertemente agravada, tanto por un nuevo salto de precios (estimada en 66% interanual para el conjunto de 2022), como por nuevas dificultades en el acceso a suministro, dadas por la alta dependencia global de la provisión rusa de fertilizantes. La Federación Rusa es la mayor exportadora de gas natural, materia prima utilizada para la producción de amoníaco que, a su vez, es fundamental en la industria de los fertilizantes nitrogenados. Este país es el mayor exportador de fertilizantes nitrogenados del mundo, el segundo de potásicos y el tercero de fertilizantes fosfatados (FAO, 2022a). Las sanciones a Rusia y Bielorrusia (también productora de fertilizantes) provocaron un fuerte aumento de los precios del gas natural, lo cual llevó a que muchas productoras de fertilizantes nitrogenados, principalmente europeos, tuvieran que disminuir su producción agravando la escasez del producto, y consecuentemente, un aumento del precio de los fertilizantes, con un impacto directo en la producción de verduras, frutas, cereales y oleaginosas entre otros productos. Esta situación de incertidumbre ha llevado a que los diferentes países productores de productos primarios deban repensar sus políticas hacia esta industria para su abastecimiento en el futuro con el objetivo de evitar crisis alimentarias, considerando una posible persistencia de esta tensión a lo largo del tiempo (FAO, 2022b). Como se analiza en la Misión 10 de este Plan (Encadenamientos a partir del sector primario) esto abre, en el contexto de abaratamiento del gas producto del auge de Vaca Muerta, una fuerte oportunidad para el desarrollo de la producción nacional de fertilizantes competitiva a escala global.

Estrategias ante la incertidumbre global

Ante las tensiones sobre las cadenas globales de suministro derivadas de la pandemia y la guerra ruso-ucraniana, los países han avanzado en distintas estrategias para hacer frente a esta crisis y garantizar la provisión de este insumo clave para la agricultura. Esto implicó posicionamientos geopolíticos como lo fue el de México, que anunció que seguiría comprando fertilizantes rusos a pesar de las sanciones impuestas por la guerra. Por otro lado la Unión Europea vio fuertemente afectada su producción local de fertilizantes, viéndose afectadas sus empresas debido al alto costo del gas natural que repercute en pérdidas a la hora de producir fertilizantes nitrogenados.

Sin embargo, esta situación también obligó a otros países a adoptar respuestas activas, que implican tanto la diversificación de sus socios comerciales, como el diseño de planes orientados a sustituir, al menos parcialmente, las importaciones de estos insumos. Brasil, un país que abastece el 85% de sus necesidades nutricionales agrícolas con importaciones, anunció a comienzos de 2022 su Plan Nacional de Fertilizantes. A través de incentivos financieros y fiscales, más una planificación estratégica con foco en aspectos tecnológicos y técnicos busca reducir en 40 puntos porcentuales las importaciones para 2050 a través del incremento de la producción local de potasio y fósforo principalmente. Este Plan tiene cinco objetivos estratégicos: modernizar, reactivar y ampliar las plantas y proyectos preexistentes en Brasil; atraer inversiones en toda la cadena de valor del fertilizante; mejorar las ventajas competitivas locales para aumentar la oferta; ampliar las inversiones de I+D+i en la cadena de valor; y adecuar la infraestructura para la integración de los polos logísticos y productivos. Cada cual cuenta con su conjunto de objetivos y acciones para lograrlo, con la visión estratégica de largo plazo a 2050. Como se analiza en mayor detalle en la Misión 10, Argentina tiene grandes oportunidades para el desarrollo de la industria nacional de fertilizantes, no solo dado el actual contexto global sino por el auge de Vaca Muerta, que reducirá notoriamente el costo del gas natural y volverá más competitiva a la industria petroquímica.

En los últimos tiempos, se han anunciado algunos proyectos relevantes de inversión. Uno es el de la petroquímica Profertil –propiedad conjunta YPF y de la petroquímica canadiense Nutrien Inc. en partes iguales–, que anunció tras la firma de un acuerdo de exclusividad con Techint la inversión de más de USD 1.200 millones para ampliar su planta de Bahía Blanca y con el objetivo de duplicar su capacidad de producción de urea, hoy en 1,3 millones de toneladas anuales.

Otro es el de la provincia de Tierra del Fuego con la provincia china Shaanxi, la inversión por parte de la empresa Shaanxi Coal and Chemical Industry Group, dedicada a la minería y la industria petroquímica, para la construcción de una planta de fertilizantes que se dedicará principalmente a la producción de urea y amoníaco sintético para abastecer al mercado interno y exportar los excedentes. En Tierra del Fuego también está en carpeta un proyecto entre Mirgor y Total para la producción de fertilizantes. El potencial de la isla para la petroquímica es elevado, ya que la infraestructura para el transporte de gas proveniente de la Cuenca Austral hacia el continente presenta limitaciones, lo que vuelve atractivo industrializar el gas y exportar fertilizantes.

Además de los fertilizantes de origen petroquímico, Argentina tiene una oportunidad para el desarrollo de los fertilizantes potásicos, a partir de la reactivación del proyecto Potasio Río Colorado en Mendoza, el cual se analiza más adelante.

Fomento a la aplicación de fertilizantes como política de estado: el caso de India

India es un país que supera los 1.400 millones de habitantes, de los cuales más de la mitad vive en entornos rurales. La actividad agrícola ganadera explica aproximadamente el 43% del empleo en el país, y más de un 17% del PIB (Banco Mundial). Debido a la importancia de este sector productivo, y a las características de su suelo, este país viene aumentando el consumo de fertilizantes por hectárea cultivable, que en 20 años se duplicó, pasando de 100 kg/ha en el año 2002 a 209 kg/ha en 2020. En el mismo lapso, el consumo local de urea se incrementó en un 89%, y el de fosfato diamónico (DAP) en un 117%. Otro aspecto que presentó una buena performance a lo largo de las últimas décadas en el país fue la producción local de fertilizantes. Si tomamos el caso de la urea, el principal componente consumido, aumentó en un 32% en el mismo período. En la actualidad la producción local de urea es mucho más económica que su importación, mientras que en el caso del DAP se da lo contrario y este insumo es importado en un 50% desde China.

El gobierno de India hace décadas despliega una política activa en el sector jerarquizada institucionalmente a través del Ministerio de Químicos y Fertilizantes (MQF), y un departamento exclusivo de estos últimos dedicado al fomento de la productividad del sector como protección a la soberanía alimentaria nacional. Este aspecto de la política pública es de suma relevancia, considerando además que el estado indio administra nueve empresas públicas del rubro de fertilizantes: Rashtriya Chemicals and Fertilizers Limited; National Fertilizers Limited; Madras Fertilizers Limited; The Fertilisers and Chemicals Travancore Limited; Brahmaputra Valley Fertilizer Corporation Limited; FCI Aravali Gypsum and Minerals India Limited ; Projects and Development India Ltd.; Fertilizer Corporation of India Limited e Hindustan Fertilizer Corporation Limited.

Dentro de las políticas agrícolas del MQF se destaca la de subsidios a los fertilizantes, que implementan a partir de transferencias tanto a los industriales como a los importadores, con el fin de aminorar el costo de este insumo a los productores primarios y la de precios máximos, una intervención directa en el precio interno de los sacos de 45 kilos de urea y 50 kilos de DAP al minorista (Centro Nacional de Información, Gobierno de la India). En particular, el sistema de subsidios a los fertilizantes es gestionado por la Dirección de Fertilizantes del gobierno indio. Si se toma en cuenta únicamente la comercialización de los fertilizantes (también hay un amplio esquema de subsidios energéticos para los productores industriales), estos subsidios se realizan a partir de transferencias directas, las cuales toman diferentes características. Según la web de la Dirección, por ejemplo, los fertilizantes P y K, o la urea importada reciben un subsidio por el 100% del costo de importación, siendo transferido el 85% o 90% a cuenta según si el receptor cuenta con garantía bancaria, y el porcentaje restante de manera *ex post*. Lo mismo sucede con el costo del flete marítimo, realizando una liquidación anticipada del 90% y el 10%

restante luego. Sin embargo, desde 2016 el gobierno está implementando el sistema Direct Benefit Transfer (DBT) para la erogación de estos beneficios. En este caso, la transferencia se efectúa a las empresas importadoras o productoras, sobre la base de las ventas minoristas informadas. El productor agropecuario al efectuar una compra de fertilizantes en un distribuidor minorista, debe hacerlo con su documento de identidad, y en el acto el minorista registra la venta en un sistema específico para este fin, el *Point of Sale* (PoS). A continuación, el comprador del fertilizante recibe un mensaje de texto del gobierno adjuntando la factura sobre la compra, con los datos que luego se utilizarán para la erogación a los importadores o industriales. Aunque el gobierno indio haya analizado la posibilidad de realizar la transferencia directa hacia el productor primario a través del sistema DBT, en la actualidad persiste el subsidio hacia los importadores o industriales. Este sistema requirió la instalación de puntos de venta especial PoS en cada tienda minorista y la capacitación a los vendedores para la correcta aplicación.

A partir del contexto de interrupción en las cadenas de suministro globales, la reducción de las exportaciones de fertilizantes chinos y el aumento exponencial de precios, el gobierno de India decidió volcar más recursos para subsidiar este producto, buscando evitar la generación de un cuello de botella en la producción de su sector agrícola ganadero por el desabastecimiento de este insumo. Estos subsidios serán para el ejercicio fiscal 2022-23 de aproximadamente más de USD 20.000 millones, valor récord. A pesar de ser entre 2017 y 2019 el cuarto mayor productor de materias primas para fertilizantes del mundo, particularmente el segundo de nitrógeno y el tercero de fósforo, India importa aproximadamente el 40% de los fertilizantes que consume, aspecto explicado en gran parte por el fosfato diamónico, del cual es el principal importador mundial. A pesar de ser el segundo fertilizante más utilizado, India solo produce el 30% de lo que consume en este producto.

La transición energética y el rol de los fertilizantes: el caso de Uruguay

En Uruguay el agro explica más del 6% del PIB, valor comparable con Argentina y Brasil. Si a esto se le suma la industria alimenticia este valor se eleva al 11%.

Este país destina la gran mayoría de sus tierras a la actividad primaria, con una extensión de alrededor de 16 millones de hectáreas (Censo General Agropecuario de Uruguay, 2011). Los datos arrojados hasta 2011 muestran también que la forma de explotación de estos terrenos corresponde en un 64% a la producción en manos de los propietarios, mientras que solo el 26% es por arrendamiento. En Argentina la relación es inversa: 30% propietarios de la tierra, 70% explotación de terceros vía contratos.

En cuanto a la fertilización, Uruguay tiene una larga tradición de legislación y política pública al respecto. La Ley 13.663 del año 1968 regula la producción, comercialización, exportación e importación de los fertilizantes, brindando al Poder Ejecutivo alta potestad para intervenir en el sector. Particularmente, el artículo 16 de la Ley, con objeto de facilitar el abastecimiento y promover el uso, autoriza al Poder Ejecutivo a realizar exenciones impositivas parciales o totales a la importación tanto del producto final como de las materias primas necesarias, como también la concesión de subsidios para incentivar el uso.

Sin embargo, en el último tiempo, ha comenzado a discutirse en materia de transición energética y desarrollo sostenible el rol del hidrógeno verde como potencial para Uruguay. La matriz energética uruguaya ha experimentado grandes cambios, tanto que en la actualidad más del 60% de esta se explica por energías renovables, mientras que más del 90% de la generación eléctrica se realiza por estas fuentes, siendo la hidroeléctrica la más importante. A partir de estas capacidades es que el gobierno uruguayo a través de su Ministerio de Industria, Energía y Minería busca fomentar la industria del hidrógeno verde a partir de líneas de financiamiento, fomento a la investigación y articulación público-privada. Un ejemplo de esto es el reciente anuncio del proyecto piloto H2U, siendo el primero de este tipo en el país, en conjunto con el desembolso de 10 millones de dólares del Fondo Conjunto de Naciones Unidas para los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), y los análisis de factibilidad técnica y financiera en la producción de amoníaco y fertilizantes verdes en conjunto con el Banco Interamericano de Desarrollo. Particularmente, este último punto es una de las líneas más fomentadas por el gobierno uruguayo: que, a partir de la producción de amoníaco verde derivado del hidrógeno verde y el nitrógeno, se puedan generar y difundir a mayor escala fertilizantes verdes, que sustituyen parcialmente los químicos como la urea, en la búsqueda de la descarbonización del sector.

Panorama local

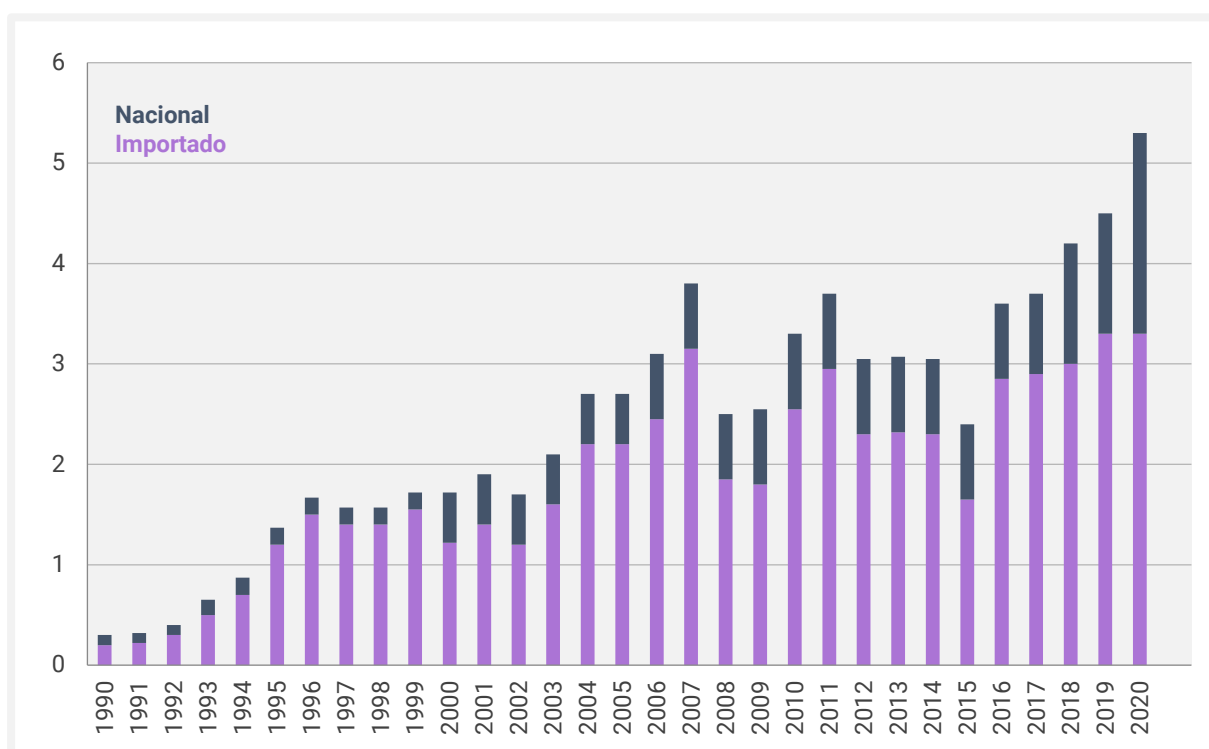
Mercado y uso de agroquímicos en Argentina

Esta sección contiene algunas de las ideas presentadas por Starobinsky *et al.* (2021). El alto nivel de adopción de cultivos transgénicos, que caracteriza al paquete tecnológico de la producción de los principales cereales, oleaginosas y el algodón, así como la apertura comercial, conllevaron a un importante proceso de difusión del uso de agroquímicos en el sector agrícola a nivel nacional. En el período 1990-2018 se observa un crecimiento anual promedio en el consumo de agroquímicos del 9% (pesticidas y fertilizantes de síntesis química), en conjunto con una mayor intensidad en el uso de pesticidas (kg/ha) del 350% y más del 1.000% para fertilizantes. En ese sentido, Argentina se encuentra entre los países que registran mayor consumo de agroquímicos a nivel mundial: ocupa el cuarto puesto en términos de cantidades utilizadas en la agricultura (toneladas) de pesticidas, concentrando el 4% del total mundial, y el noveno en relación con el consumo de fertilizantes, con el 2% del total. Desde entonces, el uso de fertilizantes ha exhibido una tendencia de crecimiento positiva y exponencial. En los últimos 30 años, desde 1990 a 2020, los productores argentinos demandaron 5 millones de toneladas adicionales, lo que representa un crecimiento del 1700% en términos de volumen.

A lo largo de las últimas dos décadas se destaca un importante crecimiento en el uso de fertilizantes, impulsado por la transición del manejo convencional de la producción agrícola, caracterizada por un mayor uso de combustibles y mano de obra, hacia la siembra directa, que implicó un mayor uso de fertilizantes, labranza química y menor mano de obra. Así, el consumo de fertilizantes pasó de 300.000 toneladas en 1990 a 4,25 millones en 2018 (gráfico 44). De este total, se estima que el 65% son de origen importado, principalmente fertilizantes de fosfato y nitrógeno, y en menor medida azufrados y potásicos. El 70% del consumo de fertilizantes se

concentra mayormente en los cultivos de cereales y oleaginosas (soja, maíz y trigo), aunque también se encuentra difundido en una amplia gama de cultivos a nivel nacional como frutales, cítricos, hortalizas, algodón, pasturas, forestales y ornamentales. Los fertilizantes de mayor utilización en todas las plantaciones son los nitrogenados, a excepción del cultivo de soja, en el que se emplean mayormente fertilizantes fosfatados. El incremento mencionado se encuentra también asociado a una mayor intensidad de aplicación en términos de kilos por hectárea de dichos productos.

GRÁFICO 44. CONSUMO DE FERTILIZANTES EN ARGENTINA, POR ORIGEN, EN MILLONES DE TONELADAS, PERÍODO 1990-2020

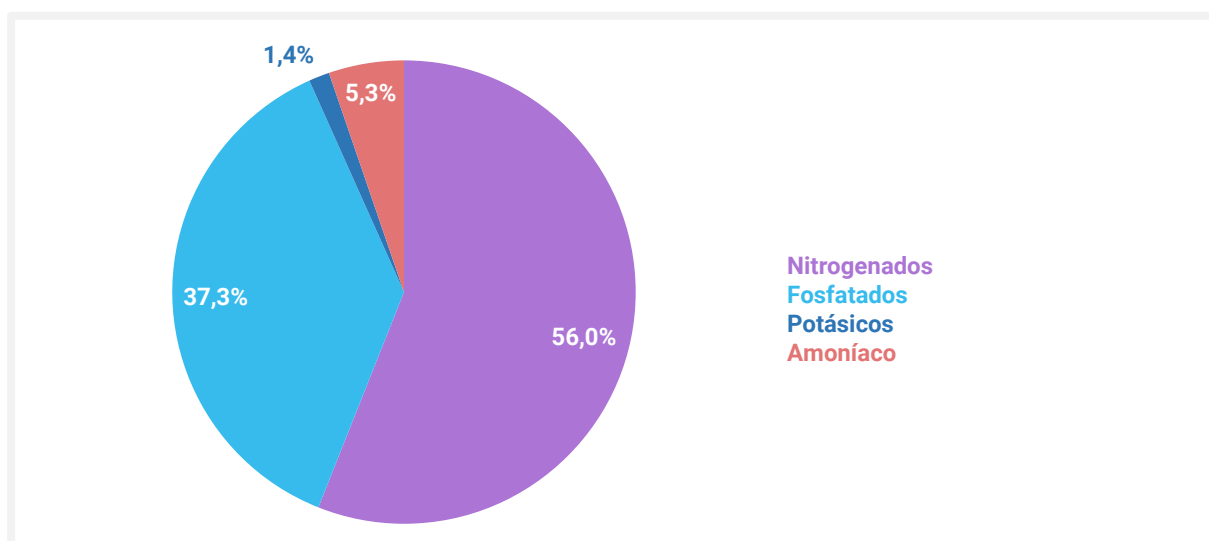


Fuente: Bolsa de Comercio de Rosario.

Respecto al abastecimiento de esa demanda, mientras la producción nacional se mantuvo relativamente en los mismos niveles desde el año 2000, las importaciones han tenido una creciente participación (gráfico 44). La producción nacional de fertilizantes está en manos de un número acotado de empresas: Profertil, Bunge, Nutrien e YPF Agro concentran la mayor parte de la producción nacional. La capacidad de producción de fertilizantes a nivel nacional asciende a más de 1,8 millones de toneladas.

En términos relativos, el tipo de nutriente que reviste mayor consumo en nuestro país es el nitrógeno. Este tipo de fertilizantes representan casi el 56% del uso local, seguidos por los fosfatados con un 37% de participación y, en menor medida, los azufrados con un 5% y los potásicos con apenas un 1,5% (gráfico 45).

GRÁFICO 45. PARTICIPACIÓN EN EL CONSUMO DE FERTILIZANTES DE ARGENTINA POR TIPO DE NUTRIENTE, EN TONELADAS DE NUTRIENTES, AÑO 2020



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Bolsa de Comercio de Rosario.

El estado de la reposición de nutrientes según los mapas de suelo

Los mapas o muestreos de suelo son estudios geotécnicos que tienen como objetivo el análisis de la composición de nutrientes de determinado suelo en un momento específico. A partir de esta información se puede conocer pre y post cosecha el estado mineral de la tierra. Contar con esta información es indispensable para fomentar un uso óptimo de los fertilizantes y evitar prácticas que redunden en un exceso en la aplicación de algunos nutrientes y el déficit de otros, con efectos adversos para la sostenibilidad del suelo y el ambiente. Entre los principales análisis desarrollados en un muestreo de suelo se encuentran la medición de salinidad y sodicidad, la composición nutricional, análisis temporales de nitratos, humedad y capacidad hídrica. Los avances tecnológicos vienen trayendo potentes herramientas para contar con más y mejor información sobre el estado de los suelos. El monitoreo satelital, la georreferenciación de los campos y la utilización de plataformas digitales que unifiquen datos sobre estado de suelos, información sanitaria de la región como plagas y malezas, y características meteorológicas son las principales.

Como se mencionó, la aplicación correcta de nutrientes al suelo basada en la reposición de estos es una práctica indispensable para un desarrollo sostenible de la producción agrícola. En este sentido, para saber si un lote se encuentra poco fertilizado, sobrefertilizado o con un correcto balance, es preciso conocer si los nutrientes extraídos del suelo con la cosecha de cultivos han sido repuestos óptimamente. Los balances de suelo por nutrientes en Argentina –según ReTAA (2022)– indican una situación preocupante. Durante la campaña de 2020/21 por cada 100 kilogramos de nutrientes extraídos del suelo por la producción de diferentes

cultivos¹²² se repuso solo un 70% de nitrógeno, un 75% de fósforo y un 28% de azufre. De todas maneras, aunque el balance de nutrientes resulta deficitario, los niveles alcanzados confirman una tendencia positiva por lo menos desde la campaña de 2016/17. Por su parte, los balances de nutrientes muestran una situación heterogénea cuando se los analiza según cultivo. Durante la campaña 2019/20 el maíz registró una reposición de nutrientes deficitaria del 62%, con un 65% de nitrógeno, 67% de fósforo y 21% de azufre, mientras que el trigo mostró un balance positivo de 120%, con un 124% de nitrógeno, 129% de fósforo y 40% de azufre.

Producto de esta heterogeneidad entre cultivos y entre productores, en el diferente grado de adopción de tecnología y fertilizantes, los rendimientos de los principales cultivos no han evolucionado a la misma velocidad que en otros grandes países productores como Estados Unidos y Brasil. Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP, 2021), en pos de alcanzar los 200 MT de cereales, oleaginosas y legumbres, destaca que, mediante el uso de una mejor genética e insumos mejorados, y de la reducción de brechas productivas mediante una mayor y más eficiente aplicación de fertilizantes, es posible incrementar considerablemente los rendimientos para los principales cultivos de Argentina. Las dosis promedio de fertilización a nivel nacional no han sido suficientes para cubrir los requerimientos nutricionales de los cultivos y ha habido una gran dispersión entre regiones del país, tanto en dosis como en superficie fertilizada. Es necesario que las mismas se incrementen y puedan alcanzar a cubrir todos los requerimientos y, así, aumentar los rendimientos y reducir las brechas. Optimizando las aplicaciones es posible alcanzar incrementos en los rendimientos de hasta un 25% para maíz y soja, y de hasta un 40% para trigo, cebada, girasol y sorgo. De acuerdo a dicho trabajo, y tomando como línea de base los datos de fertilización de 2018/19 y suponiendo una superficie sembrada constante en grandes cultivos, ello requiere incrementar la fertilización con urea en un 55% (de 1,98 a 3,07 millones), de 87% en fosfato diamónico (de 1,62 millones a 3,03 millones de toneladas) y de 93% en tiosulfato de amonio (de 461 mil toneladas a 892.000 toneladas).

Incentivos derivados del modelo de contratos agropecuarios

En Argentina, actualmente, se calcula que el 70% de las tierras agrícolas se encuentran bajo alguna forma de arriendo (BCR, 2022), cuyos titulares son empresas de distinto tamaño y forma jurídica, incluso de tipo unipersonal. Es decir, la mayoría de los lotes no son explotados por el propietario de las tierras, sino que la producción es desarrollada por terceros. A su vez, es muy frecuente que los arrendatarios recurran a la contratación de servicios especializados provistos por empresas que aportan maquinaria, asesoramiento técnico y empresarial, mano de obra, etc. Tanto los arriendos como los contratos de provisión de servicios se suelen pagar, total o parcialmente, en unidades físicas –quintales del cultivo– conforme a las características de cada explotación (Bisang *et al.*, 2022). Este modelo se ha ido desarrollando desde finales del siglo XX, e intensificando en la actualidad.

¹²² Considera 6 cultivos: soja, maíz grano, girasol, sorgo granífero, trigo y cebada.

Por lo tanto, existen grandes empresas que poseen el capital y el *know how*, que generan sus ingresos con la base de producir de manera intensiva en capital y a grandes escalas. Esta actividad es regulada por la Ley Nacional N° 13.246 y sus respectivas modificatorias, y estipula una duración mínima del alquiler de 3 años, teniendo un máximo que según la modalidad se extiende hasta los 50 años. Sin embargo, actualmente la duración promedio de estos contratos se ha ido reduciendo dando lugar a negociaciones más cortas como forma de responder a los cambios climáticos y la volatilidad tanto de los precios de mercado como de las políticas económicas que impactan en la rentabilidad de las empresas contratistas e inducen modificaciones en el acuerdo entre las partes. Estas nuevas modalidades de contratación se apoyan en la figura de “contratos circunstanciales o accidentales” explicitados en el Código Civil y Comercial que permiten un acuerdo por hasta dos cosechas.

En el modelo de contratos agropecuarios, las empresas contratistas asumen un riesgo de corto plazo asociado a variables exógenas, que escapan a su control, fundamentalmente factores climáticos y derivadas del contexto económico nacional e internacional, mientras que el propietario de la tierra asume un tipo de riesgo de largo plazo, el de la potencial desvalorización de su bien de capital, el suelo. El hecho de que los intereses e incentivos entre estos actores no se encuentren alineados puede derivar en consecuencias sobre el manejo del suelo. Esta situación se profundiza con el acortamiento temporal de los acuerdos de explotación.

La gestión sostenible del recurso del suelo implica prácticas como la reposición de nutrientes a través de la fertilización, la aplicación de bioinsumos, la rotación de cultivos, la aplicación de tecnología en la producción y el manejo integral del agroecosistema (MAGyP, 2021). Esta gestión sostenible apunta a la resiliencia y el sostenimiento de la productividad es clave para evitar futuras crisis alimentarias. En este sentido, bajo el esquema de contratos de corta duración los incentivos para atender la gestión sostenible del suelo se reducen significativamente para el productor ya que estos efectos impactan recién en el mediano y largo plazo.

Recuadro 12. El fertirriego

El fertirriego es un sistema en el cual la aplicación del fertilizante a la tierra se da a través del propio sistema de riego instalado. Esta aplicación puede realizarse con fertilizantes sólidos (diluidos) o líquidos, y a través de sistemas de riego presurizado o a goteo.

El sistema muestra como principales ventajas la eficiencia en el uso de los recursos y los menores costos aparejados, ya que los fertilizantes son aplicados a través del sistema de riego preexistente, evitando el gasto en la utilización de tractores o pulverizadoras para distribuir el insumo, a la vez que se evitan los daños a las plantaciones por el paso de las maquinarias sobre los cultivos. Además, esta misma ventaja permite la división de la aplicación en distintos momentos, pudiendo hacer un mejor uso de los fertilizantes, evitando el exceso de aplicación.

Un cuidado que requieren estos sistemas es el conocimiento detallado de la cantidad de fertilizante que requiere el cultivo, ya que, como se aplicará a través de un sistema de riego, la distribución será más uniforme.

El rol de los seguros agropecuarios

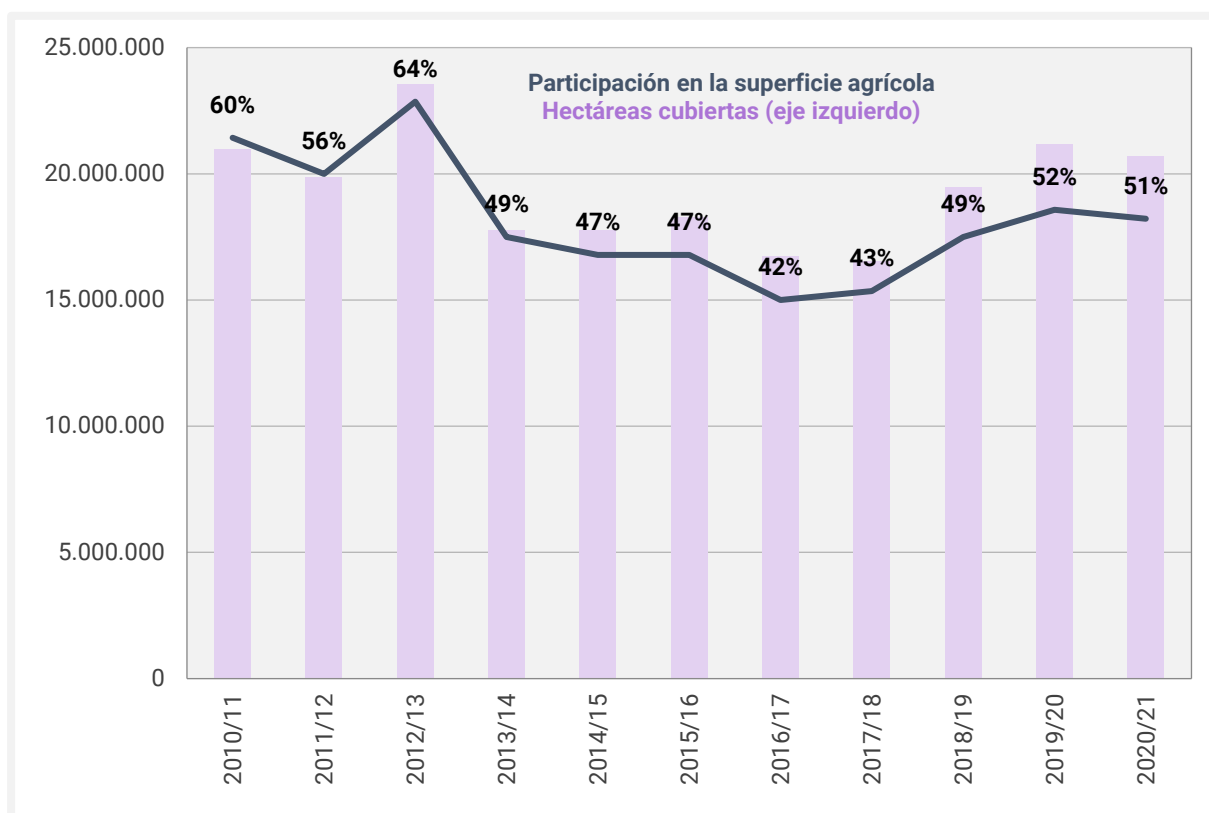
Ante la mayor frecuencia de inclemencias climáticas que afectan severamente la producción de alimentos, los seguros agropecuarios contra fenómenos como sequías e inundaciones pueden cumplir una doble función: i) cubrir total o parcialmente las potenciales pérdidas a los productores, considerando que se trata de una actividad altamente expuesta a condiciones del ambiente como temperaturas y lluvias, y ii) si las primas se diseñan siguiendo una fórmula polinómica que premie las buenas prácticas de manejo sostenible del suelo, sistemas de riego y adopción de tecnologías, puede lograrse un incentivo económico y paralelamente una fiscalización por parte de las aseguradoras sobre los planteos productivos.

En Argentina, los seguros agropecuarios tradicionales presentan actualmente una adopción considerable (gráfico 46). A partir de información de la Superintendencia de Seguros de la Nación (SSN) y la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR), puede verse que en el año 2021 se aseguraron por un valor mayor a los \$28.000 millones más de 20 millones de hectáreas producidas, representando el 51% de la superficie producida total. Si bien en los últimos años se ha incrementado tal porcentaje, vale tener en cuenta que el pico fue la campaña 2012/13 con más del 60%. Por otro lado, la cobertura aún se encuentra fuertemente concentrada en el segmento contra daños, más específicamente contra granizo (o granizo más adicionales), que representa más del 90% de la cartera. En contraste, todavía es baja la adopción de seguros contra fenómenos como sequías e inundaciones, que serán cada vez más frecuentes y persistentes por los efectos del cambio climático. Estos seguros, llamados paramétricos, realizan pagos a sus asegurados en función de la intensidad de un evento climático y el monto de la pérdida calculada con datos previamente previstos. Un ámbito habitual de aplicación de los seguros paramétricos es el relacionado con los riesgos como pueden ser lluvias excesivas o sequías. Por último, se encuentran los seguros multirriesgo, que cubren la totalidad de las eventualidades en todas las etapas de la producción agrícola.

El mercado de seguros en Argentina presenta un alto nivel de concentración, tanto por la participación empresarial como geográfica y por tipo de cultivo. En el 2021, las tres principales aseguradoras explicaron más de la mitad del valor de las primas de riesgo emitidas, las cuales se llevan a cabo en más del 85% entre las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. A su vez, los cultivos más asegurados son la soja, el maíz y trigo, en ese orden descendente, siendo que la soja presenta el 45% del valor de las primas emitidas.

La provisión y adopción de servicios de aseguradoras toma actualmente una mayor relevancia dada la alta variabilidad meteorológica, resultado del efecto del cambio climático, que como se dijo intensificará sequías e inundaciones, con impactos potencialmente severos en la productividad de las tierras y la producción de alimentos. Por ello es que se vuelve un desafío importante generar incentivos a los productores para que accedan a seguros de riesgo y que, a su vez, el diseño de esta industria fomente la inversión en los campos en fertilización, sistemas de riego y aplicación de distintos tipos de tecnología para la producción.

GRÁFICO 46. EVOLUCIÓN DE HECTÁREAS CUBIERTAS POR SEGUROS Y PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN LA SUPERFICIE AGRÍCOLA



Fuente: elaboración propia con base en BCR y SSN.

Las empresas de seguros guían sus asignaciones a partir de declaraciones de los productores sobre el valor del terreno, su alquiler, la inversión realizada para la campaña y el estimado de producción según el cultivo a desarrollar, y a partir de información pública sobre promedios de rendimientos, estado del suelo y productividad a escala departamental. Estos dos aspectos, es decir, la escala departamental (donde puede existir una fuerte heterogeneidad de suelos y productores), y la información brindada por el potencial asegurado, que en muchos casos incluye las sub-declaraciones con el fin de aminorar el impacto tributario, genera que las estimaciones sobre rindes y productividad en un territorio en específico sea menor al efectivo, perjudicando al productor más eficiente.

En este sentido, la difusión de información pública, detallada y precisa, y la utilización de herramientas tecnológicas como la georreferenciación de los establecimientos, o los servicios de monitoreo satelital habilitarían una mayor precisión, pudiendo generar incentivos positivos para los productores que ostenten mayor inversión tecnológica y productividad.

El incentivo a la formalización de las producciones y a la adopción de seguros suele ser mayor en los países que ofrecen líneas de subsidios para la contratación de una prima de riesgo. Este es el caso de los Estados Unidos, que desde 1938 cuenta con un Programa Federal de Seguro de Cosechas (FCIP por sus siglas en inglés), que tiene el objetivo de fomentar el acceso a los

seguros agrícolas para sus productores, a través de subsidios para el pago de la prima, o compensando pérdidas por la variación de los precios de los commodities. Estos subsidios los realiza el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) a través de una corporación específica para este fin, realizando transferencias a los proveedores de seguros (AIPs) en nombre de los asegurados para cubrir una proporción de la prima. Esta proporción del subsidio y monto varía según el tipo de prima (hoy la más utilizada es la cobertura de ingresos por variación de precios en comparación con la media histórica de los productos) y la escala de producción. Para ejemplificar, en caso de catástrofes naturales (CAT), la opción básica de seguros del Programa Federal cubre hasta el 100% de la prima. La Oficina de Presupuesto del Congreso estadounidense calcula que para el período 2021-25 se asignan más de 80.000 millones de dólares con este cometido (Rosch, 2021). Por otro lado, para medir las consecuencias, el Departamento de Agricultura (2014) calcula que entre 1997 y 2002, el aumento de un punto porcentual en los subsidios a las primas de riesgo, generó incrementos en la contratación de estas en un 0,86, 0,74 y 0,64 puntos porcentuales en las plantaciones de maíz, soja y trigo respectivamente. Entre el 85% y el 90% de las plantaciones de maíz, soja, algodón y trigo se encuentran aseguradas a través del FCIP.

Para medir el impacto generado en términos de las pérdidas de los agricultores evitadas, se toman como referencia los *pagos netos* (O'Donoghue, 2014). Estos son positivos cuando las indemnizaciones recibidas superan las primas pagadas por los agricultores. En el período 2010-2019, solo hubo dos casos en los que los agricultores no obtuvieron ganancias positivas. Uno de ellos fue el año fiscal 2010, en que los bajos rendimientos fueron compensados por precios más altos, lo que limitó las indemnizaciones en los planes de ingresos. En cambio, en años de sequía histórica como el 2012, se caracterizaron por rendimientos por debajo del promedio y grandes pagos de indemnizaciones.

En el año fiscal 2019, los agricultores pagaron casi 4.000 millones de USD en primas y recibieron casi 8.000 millones en pagos de indemnizaciones. Por su parte, las aseguradoras recibieron 3.200 millones de dólares en desembolsos federales, aproximadamente la mitad de los cuales fue para pólizas de venta y servicio (es decir, gastos de envío), y la otra mitad para ganancias técnicas de pólizas aseguradas por USDA.

Análisis de la oferta local de fertilizantes

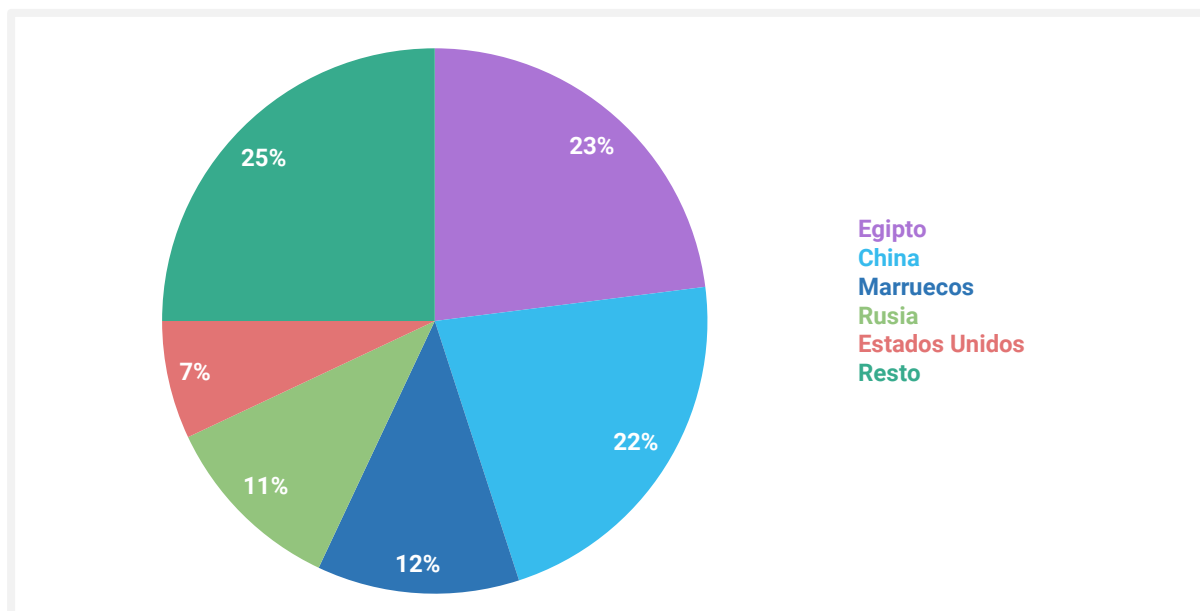
Como se mencionaba anteriormente (figura 19), los procesos de producción de los fertilizantes NPK comienzan con la obtención de los principios activos, que pueden ser o bien minerales – roca fosfórica y potasa– o gas natural, en el caso de la Urea. Actualmente, a nivel local, existe producción y formulación de los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y azufrados. Sin embargo, para los dos primeros, que son a su vez los nutrientes más demandados internamente, Argentina no cuenta con autoabastecimiento.

En relación con los nitrogenados, existe actualmente producción de urea y de amoníaco. La planta de la firma Profertil (controlada en iguales partes por Nutrien e YPF) ubicada en Bahía Blanca, Buenos Aires, cuenta con una capacidad anual de 1,3 millones de toneladas de urea y

790.000 toneladas de amoníaco y emplea directamente a unas 370 personas -cifra que viene en ascenso en los últimos años-. Hace cinco años, el nivel de producción de Profertil lograba abastecer las necesidades de urea locales hace cinco años, pero actualmente no llega a cubrir la demanda y Argentina debe proveerse a partir de importaciones.

Respecto a los azufrados, la firma Bunge Argentina, subsidiaria de Bunge Limited, posee tres plantas. Una de ellas está ubicada en la ciudad de Campana, Buenos Aires, en donde se produce tiosulfato de amonio con una capacidad máxima de 140.000 toneladas al año. Esta planta, adquirida por Bunge en el año 2009 a Petrobras, producía urea con baja escala, a razón de 180.000 tn/año y con costos altos por antigua tecnología. En el año 2014 Bunge la reconvierte para la producción de tiosulfato de amonio.

GRÁFICO 47. IMPORTACIONES DE FERTILIZANTES POR ORIGEN, COMO PORCENTAJE DEL VALOR FOB, AÑO 2021



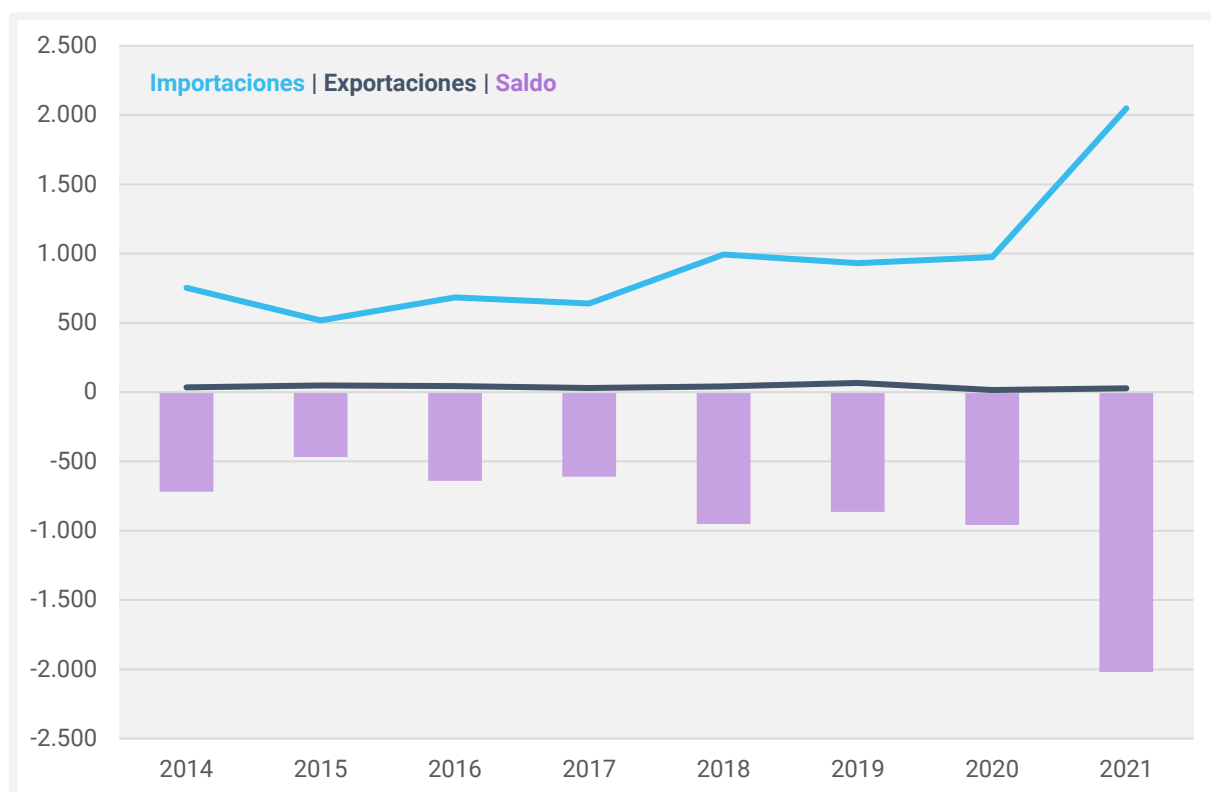
Fuente: elaboración propia con base en Aduana.

La producción nacional de fosfatados se limita a la formulación del superfosfato simple (SPS). La firma Bunge Argentina formula este nutriente en Puerto General San Martín, Santa Fe y en Ramallo, Buenos Aires. Entre ambas producen 470.000 toneladas de SPS; en una de ellas, la de Santa Fe, lo hacen asociados a la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) quienes poseen el 25% del negocio.¹²³ Actualmente la producción nacional abastece el 36% del mercado interno, mientras que el restante 64% es cubierto por importaciones fundamentalmente provenientes de Egipto, China, Marruecos, Rusia y Estados Unidos (gráfico 47).

¹²³ Información obtenida a partir de una entrevista con Bunge Argentina.

Las importaciones registran un crecimiento sostenido desde el año 2017 acorde con el mayor consumo registrado a partir de ese año y durante el período siguiente, hasta alcanzar el récord de 2021, que superó los USD 2.000 millones. 2022 va camino a ser un nuevo récord, con subas del 46% interanual en los primeros nueve meses del año, apalancadas por la suba de precios derivada de la guerra entre Rusia y Ucrania. Por su parte, las exportaciones de fertilizantes son marginales, y se mantuvieron históricamente por debajo de los USD 100 millones (gráfico 48).

GRÁFICO 48. EVOLUCIÓN DE LA BALANZA COMERCIAL DE FERTILIZANTES, EN MILLONES DE DÓLARES FOB, 2014-2021



Fuente: elaboración propia con base en registros de Aduana. Nota: Se tomaron en cuenta las posiciones arancelarias 3102; 3103; 3104; 3105 y 38249979200B.

Oportunidades para la producción local de urea a partir de los recursos no convencionales de Vaca Muerta

Este punto se desarrolla con mayor detalle en la sección petroquímica de la Misión 10 (Encadenamientos productivos en base al sector primario). No obstante, vale tener en cuenta que el potencial para el desarrollo de una industria nacional de fertilizantes nitrogenados es muy alto. La cuenca neuquina de Vaca Muerta es la segunda fuente global de recursos no convencionales (RNC) de gas natural y la cuarta de RNC de petróleo (Agencia de Información de Energía de los Estados Unidos, 2011). La abundancia de gas natural, en condiciones competitivas, podría habilitar un proceso virtuoso de inversiones petroquímicas derivados del metano, entre los que se encuentra la urea. Para disponer de las materias primas que disparen nuevos proyectos de

inversión se debe primero contar con la infraestructura adecuada para extraer y transportar el gas natural. Adicionalmente, el país debe desarrollar marcos normativos lo suficientemente atractivos –no solo con incentivos fiscales sino también con mecanismos que aseguren la estabilidad fiscal– ya que es imprescindible remarcar que Argentina compite por capital para estos proyectos con otras regiones con abundantes y competitivas materias primas.

En el caso argentino, un factor que da alta competitividad para la producción de nitrogenados está relacionada a los reducidos costos logísticos ya que, a diferencia del resto de las fábricas de urea a lo largo del mundo, los centros de consumo –las grandes áreas de siembra de cultivo de la Pampa Húmeda–, y los puertos se encuentran próximos a las plantas productivas, las cuales podrían duplicar o incluso triplicar su capacidad. Este hecho no es menor, si se toma en cuenta que varias de las principales fábricas del mundo que son proveedoras de urea a Argentina están en Nigeria, Argelia o Egipto, lo cual eleva el costo logístico de forma significativa, ya que las cargas deben transportarse a más de 5.000 kilómetros en barco. Una ventaja adicional relacionada con una posible ampliación de la capacidad productiva es que la misma dejaría saldos exportables en los meses de baja demanda, ya que la demanda de fertilizantes tiene una elevada estacionalidad.

Potencial local para la producción de cloruro de potasio

El territorio argentino cuenta con importantes depósitos de potasio distribuidos en distintas regiones y con características geológicas distintas. Previo al desenvolvimiento de las nuevas condiciones de mercado desatadas por la recuperación pos COVID y la guerra entre Rusia y Ucrania, el potasio no había constituido el target principal de las campañas exploratorias de minerales. Sin embargo, el creciente aumento en la exploración en los salares de la Puna argentina en búsqueda de litio ha dado como resultado un incremento del 15% en el inventario nacional de recursos identificados de potasio (Dirección Nacional de Promoción Minera, 2019).

Entre los métodos de obtención de litio a partir de salmueras, existe uno conocido como evaporítico. Esta técnica –a diferencia del método directo, que trabaja con un proceso químico de absorción selectiva– se caracteriza por obtener en el momento de la cosecha de sales un conjunto de minerales, entre los que se encuentra la potasa. De hecho, este método fue desarrollado originalmente para la separación de potasio destinado a la industria de fertilizantes, cuando el litio aún no tenía la importancia estratégica y económica dado su rol en la transición energética. Una de las pioneras en su uso destinado a la absorción de potasa fue la empresa Sociedad Química y Minera de Chile, actualmente una de las litieras de mayor tamaño a nivel global.

En Argentina, existen empresas dedicadas a la producción de litio que operan (o están en vías de, una vez que se concluyan los procesos inversores en curso) bajo el método evaporítico radicadas en el salar Olaroz-Cauchari de la Provincia de Jujuy. Si bien en ambos casos su *core business* es el litio -y no tenían inicialmente como punto de relevancia al potasio en su plan de negocios-, dadas las actuales condiciones de mercado analizan atentamente las posibilidades de comercializar la potasa como subproducto. En este sentido, la corriente de sales de potasio

que se obtiene de los salares locales es altamente comercializable ya que son sales con muy buena humedad y concentración, prácticamente sin otros iones.

Recuadro 13. El proyecto de Potasio Río Colorado

Potasio Río Colorado (PRC) es uno de los proyectos mineros más importantes de Argentina y se encuentra localizado en el sur de la provincia de Mendoza. Es una mina de potasio de 300 millones de toneladas de reservas probadas y certificadas. Tras haberle comprado el proyecto a la firma angloaustraliana Rio Tinto en 2009, la compañía brasileña Vale SA inició la construcción de la mina en 2011 y por diferentes circunstancias la paralizó en 2013, luego de haber invertido USD 2.500 millones.

El proyecto de Vale era de una enorme escala, al apuntar a producir 4,5 millones de toneladas anuales. Dado ese tamaño, se requería una solución logística de gran porte, que incluía una línea de ferrocarril nueva y la construcción de un puerto en Bahía Blanca. La empresa no pudo avanzar en la construcción del ferrocarril; esa, y otras circunstancias (caídas de precios, macroeconomía local inestable, etc.) fueron haciendo que el proyecto se frenara y Vale perdiera interés en su desarrollo.

En 2020, la provincia de Mendoza negoció con Vale la transferencia del proyecto, evitando su caída definitiva, lo que hubiera conducido a la pérdida de licencias ambientales, permisos de uso de agua y de valiosos activos físicos. En 2021, la provincia inició un proceso para buscar inversores, a partir de un proyecto más moderado en tamaño (1,5 millones de toneladas anuales). Esa escala más acotada supone menores demandas de infraestructura (por ejemplo, se evita tener que desarrollar el ferrocarril mencionado, que presentaba elevada complejidad y riesgo). El volumen del nuevo proyecto es compatible con la infraestructura existente (Ruta Nacional 40 y Ferrocarril San Martín para llegar al Atlántico y Ruta Nacional 40 y Paso Pehuenche para salir por Chile).

A pesar de esta escala menor, PRC permitiría sustituir importaciones de potasio, las cuales si bien hoy son poco relevantes, posiblemente crezcan en la próxima década de la mano de cierta degradación de suelos en Argentina. A su vez, PRC también tendrá elevada salida exportadora por montos que, dependiendo los precios, podrían rondar entre USD 500 y 1.000 millones anuales. Una vez puesto en producción, el yacimiento podría escalarse todavía más, incluso multiplicando por cinco el tamaño del proyecto actual.

Brasil es un gran mercado potencial para PRC. El país vecino es junto a Estados Unidos el principal importador mundial de fertilizantes potásicos, con el 16% de las importaciones globales en 2020 (equivalentes a USD 15.100 millones), y ha venido ganando peso en las importaciones globales en lo que va del siglo XXI de la mano de la expansión de su producción agropecuaria.

Actualmente existe interés de inversores para hundir capital en el proyecto y las expectativas son reactivar la mina en 2023. No obstante, resulta fundamental poder terminar la Ruta Nacional 40 entre Bardas Blancas (Mendoza) y la provincia de Neuquén. Se trata en total de unos 110 kilómetros, cuyas obras se encuentran paralizadas desde 2018.

Considerando que el mineral necesita un tratamiento posterior para ser transformado en Cloruro de Potasio (ClK) en grado fertilizante, es posible que las empresas dedicadas al litio vendan estos subproductos de potasio para que otras compañías los procesen. Si bien no es una tecnología de alta complejidad, la escala es un factor determinante. La complejidad del proceso depende de las características naturales del salar ya que de su composición dependerá la cantidad y el tipo de iones que es necesario eliminar.

Entre los factores que atentan contra la competitividad de la producción local de ClK se encuentra el elevado costo logístico que implica su comercialización, ya que tanto la potasa como el fertilizante deberían trasladarse hacia los centros de consumo internos (región centro-), a los países limítrofes, o a los puertos para la exportación. El hecho de que las fuentes se encuentren en espacios sin conexión por vía férrea, y con escasa infraestructura vial se suman al hecho que los salares se ubican a altura. En particular, el Salar de Olaroz se encuentra en la Puna, a más de 3.000 metros sobre el nivel del mar, con lo cual la logística de transporte tiene una alta importancia relativa en la estructura de costos.

Adicionalmente a la disponibilidad de potasa como subproducto del litio, Argentina cuenta con la Cuenca Potásica Huitriniana, la cual abarca un área ubicada entre el sur de Mendoza y el Norte de Neuquén de aproximadamente 4.000 km². Su extensión se presenta como la más importante de Latinoamérica y es una de las más extensas del mundo. Cuenta con una abundante presencia de la roca silvita, cuya traducción química es el ClK, localizada en el subsuelo de la cuenca, a unos 1.000 metros de profundidad. Para poder explotar su capacidad de extracción de sales de potasio, se diseñó el proyecto Potasio Río Colorado (PRC), cuyo potencial de desarrollo es muy elevado (ver recuadro 13).

ESPACIOS DE MEJORA Y PROPUESTAS DE POLÍTICAS PARA ADAPTAR LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS A LOS DESAFÍOS DEL SIGLO XXI



En función del diagnóstico y análisis realizado sobre los sectores incumbentes en los Ejes 1 y 2, se identificaron 46 espacios de mejora para los cuales se elaboró una propuesta de más de 70 líneas de acción. En el siguiente cuadro se listan dichos espacios de mejora y sus propuestas correspondientes.

CUADRO 23. ESPACIOS DE MEJORA IDENTIFICADOS Y LÍNEAS DE ACCIÓN PROPUESTAS

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Demanda			
Capacitación	<ul style="list-style-type: none"> Falta de perfiles profesionales especializados para implementación a campo. Aplicación de bioinsumos agrícolas inadecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis y revisión de Planes de Estudio de Ingeniería Agronómica Universidades Nacionales; fomento a la creación de oferta de posgrado especializada. Creación de una diplomatura destinada a la generación de una Red Nacional de Extensionistas para la agricultura avanzada. Desarrollo de una Plataforma Virtual de Aprendizaje para la aplicación de bioinsumos. Campañas de extensión INTA – Programa bioinsumos. 	Bioinsumos agrícolas
Sensibilización	<ul style="list-style-type: none"> Falta de información y/o desconfianza hacia las nuevas tecnologías 4.0 en potenciales adoptantes. Débil institucionalización de los espacios de validación de tecnologías 4.0 (dependiente de vinculaciones interpersonales previas). 	<ul style="list-style-type: none"> Creación de centros de demostración y testeo (por ejemplo, roadshows) para que potenciales usuarios de soluciones para el agro 4.0 puedan ver el desempeño de estas en tiempo real. Aprovechamiento de los espacios de sponsoreo público de eventos como ExpoAgro para visibilizar soluciones provistas por startups. Creación de una red de centros técnicos para brindar servicios de testeo y validación de tecnologías del agro 4.0. Organizaciones públicas como el INTA o privadas como CREA o AAPRESID podrían ser los espacios donde se lleven a cabo estas labores. 	Agro 4.0

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Demanda			
Incentivos	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo de aprendizaje para el nuevo paquete tecnológico para el agro 4.0. Tratamiento impositivo para los bioinsumos agrícolas semejante al de tecnologías de uso difundido y vasto conocimiento en el mercado. Escasa difusión y adopción de biocontroladores. 	<ul style="list-style-type: none"> Incentivos para la adopción de nuevas tecnologías 4.0, en línea con el modelo del Programa Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) de Córdoba. Diferenciación impositiva para la adopción de insumos biológicos de origen nacional y que cuenten con certificación. Financiamiento de planes estratégicos de incorporación creciente de bioinsumos para productores. 	<ul style="list-style-type: none"> Agro 4.0 Bioinsumos agrícolas
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> Mala conectividad en áreas rurales, lo que limita la plena utilización de herramientas 4.0. 	Elaboración de estudios para diagnosticar las necesidades técnicas y las mejores vías para su abordaje sobre los aspectos de infraestructura en telecomunicaciones (oportunidad también para el Consejo de Políticas de Infraestructura)	Agro 4.0
	La pequeña escala de la infraestructura de manejo genético (instalaciones para el manejo de hacienda y bienestar animal) y el atraso relativo de la actualización tecnológica de los bienes de capital vinculados a la cadena, incluso en relación a otros países de la región (sobre todo Brasil) condicionan la competitividad local.	Créditos accesibles para productores ganaderos y tamberos para la renovación de bienes de capital vinculados al manejo genético de modo de evitar la pérdida de mercados por menor competitividad en términos tecnológicos.	<ul style="list-style-type: none"> Bioinsumos ganaderos Biotecnología aplicada a la mejora de la genética animal

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Oferta			
Investigación	<ul style="list-style-type: none"> Carencia de grupos de investigación en bioherbicidas y pocas líneas de investigación en bionematicidas-bioinsecticidas. Pocos desarrollos de bioinsumos agrícolas para cultivos extensivos y estudios articulados con microbiología de suelos. Avances heterogéneos en términos de pruebas de concepto de los desarrollos de bioinsumos agrícolas. 	<ul style="list-style-type: none"> Subsidios de investigación para áreas de vacancia identificadas, con plus por asociatividad. Subsidios específicamente dirigidos a financiar pruebas de concepto, a través de ensayos a campo, incorporando al sector privado en la evaluación de los proyectos. 	Bioinsumos agrícolas
	<ul style="list-style-type: none"> No se relevaron desarrollos que apunten a lograr protocolos de inseminación asistida sin el uso de hormonas (sí se encontraron hormonas recombinantes, que permiten reducir la dosis utilizada, por su mayor potencia). 	<p>Evaluar la pertinencia de priorizar el financiamiento de investigaciones tendientes al desarrollo de soluciones que apunten a la reproducción asistida sin el uso de hormonas.</p>	<p>Biotecnología aplicada a la mejora de la genética animal</p>
Investigación y desarrollo	<p>Escasez de desarrollos en líneas de <i>food tech</i> que tendrían potencial para la sustitución de importaciones, como los aditivos y/o ingredientes del grupo de la harina fermentada o masa madre deshidratada; aditivos y/o ingredientes derivados del maíz y aditivos y/o ingredientes basados en extractos de levaduras; saborizantes biológicos y productos de economías regionales como la yerba mate.</p>	<p>Líneas de financiamiento para investigación y desarrollo con priorización en estas áreas estratégicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aditivos e ingredientes Alimentos innovadores

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Oferta			
Investigación y desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo aislado y descoordinado de los centros que trabajan en los mismos campos de I+D. Escasez de personal técnico o CPA, retrasos en infraestructura y falta de escala (falta de plantas piloto y capacidades insuficientes de las existentes) en los centros de investigación y desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> Subsidios para conformación de grupos asociativos en investigación y desarrollo. Financiamiento para modernización tecnológica y aumento de escala. Aumento del cupo de CPA. Matching funds con empresas privadas para la etapa de escalado. Rever "modelos de negocios" de las plantas existentes para maximizar su aprovechamiento. 	Transversal
	Dificultad de las instituciones de ciencia y tecnología que realizan I+D en Agro 4.0, para competir por la atracción y retención de personal calificado.	Analizar alternativas de diseño institucional que permitan crear un Centro de referencia, independizado de las remuneraciones y el sistema de evaluación de resultados del sistema científico.	Agro 4.0
Desarrollo	Dificultades para conducir ensayos a campo para el registro de bioinsumos agrícolas (costos, logística y capacidades técnicas).	Conformación de una Red de Universidades Nacionales (consorcios con Universidades de al menos tres regiones del país) para la realización de ensayos a campo y centros de demostración. Contemplar a mediano plazo la incorporación de entidades de países vecinos como Paraguay o Bolivia.	Bioinsumos agrícolas
	Falta de capital para impulsar desarrollos que permitan avanzar sobre efectividad, consistencia y dosificación de bioinsumos agrícolas.	Esquema de inversiones público-privadas para la etapa de escalado y para estudios de efectividad de los desarrollos.	Bioinsumos agrícolas

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Oferta			
Desarrollo	Poca vinculación entre empresas de insumos biotecnológicos y, sobre todo, de maquinaria agrícola, con <i>startups</i> de base en tecnologías de la información.	Consolidar los incentivos existentes y fortalecer su direccionamiento hacia el agro 4.0 para promover codesarrollos y procesos de innovación abierta a escala sectorial.	Agro 4.0
	Las grandes empresas globales del sector no eligen al país para radicar sus centros de SBC para el desarrollo de tecnologías para el agro 4.0.	Incentivar la creación de Centros de Servicios para el agro 4.0 por parte de grandes jugadores internacionales que quieran desarrollar tecnologías 4.0 en el país.	Agro 4.0
	Falta de claridad respecto al mecanismo para la importación de insumos biológicos en etapa de desarrollo, para un fin distinto del industrial/comercial. Ej. Importación de cepas de colecciones internacionales para controlar y/o comparar la eficacia de desarrollos propios.	Canal de importaciones de volumen mínimo dedicado a la I+D.	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores • Bioinsumos agrícolas • Bioinsumos ganaderos
	Difícil acceso por parte de <i>startups</i> conformadas por agentes externos a Conicet a los laboratorios públicos.	Figura de padrinazgo institucional por parte de Agencia de I+D que facilite el acceso de emprendedores privados a laboratorios públicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Bioinsumos agrícolas • Bioinsumos ganaderos • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores
Desarrollo y Transferencia	Falta de incentivos para investigaciones aplicadas, transferencia de tecnología y/o <i>spin off</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aggiornar</i> la evaluación del desempeño científico aún basada en parámetros bibliométricos. • Generar incentivos a nivel de posdoctorado para generar una mayor motivación hacia la investigación aplicada. 	Transversal

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Oferta			
Transferencia	Dificultad para las pymes para acceder a la amplia gama de desarrollos y servicios del subsistema nacional de ciencia y tecnología.	Plataforma que centralice las capacidades de los centros por tecnologías (Modelo EMBRAPII 4.0).	Transversal
	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de conocimiento de mercado para establecer estrategia de transferencia. Proyectos con necesidades de capital de riesgo que no condicen con las tesis de los fondos de capital de riesgo. Para los que sí, límites para su aceleración por falta de SERIES A. Falta de espacios especializados para la incubación de proyectos de agentes externos al sistema científico-tecnológico. 	Financiamiento de un Centro de Innovación Biotecnológica (espacio de <i>coworking</i> y servicios especializados –análisis de mercado, legal y de modelo de negocios– para investigadores, emprendedores, empresas y fondos de capital de riesgo). Posibilidad de cofinanciamiento con estados subnacionales.	<ul style="list-style-type: none"> Bioinsumos agrícolas Bioinsumos ganaderos Aditivos e ingredientes Alimentos innovadores Biotecnología aplicada a la genética animal Biotecnología aplicada a la genética vegetal
Surgimiento y desarrollo de emprendimientos	<ul style="list-style-type: none"> Falta de alineación entre los objetivos y modelos de vinculación de las instituciones de ciencia y tecnología y las empresas desarrolladoras de soluciones 4.0 (problemas con los tiempos, propiedad intelectual, etcétera). Inexistencia de espacios donde los emprendedores puedan recibir una guía (o mentoría) para el desarrollo tecnológico de emprendimientos de Agro 4.0. Bajo aprovechamiento de los bienes públicos generados por diversas instituciones de ciencia y tecnología nacionales –por ejemplo, datos meteorológicos, desarrollos en análisis de imágenes satelitales, modelos de simulación agronómica, etcétera–. Escasez de fondos de inversión para SERIE A en adelante 	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación de los modelos institucionales para la vinculación de las instituciones de ciencia y tecnología con los desarrolladores de soluciones 4.0. Conformación de una red de mentores (referentes con trayectoria en el desarrollo de tecnologías 4.0, tecnologías de la información, etcétera) para asistir y guiar a los nuevos emprendedores. Lanzamiento de convocatorias para que emprendedores propongan soluciones en "la última milla". Elaboración de un programa que genere incentivos para que productores del agro inviertan en fondos de inversión locales abocados al agro 4.0. 	Agro 4.0

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Oferta			
Producción	<ul style="list-style-type: none"> Pocas empresas especializadas en biocontrol. Pocas empresas especializadas en sexado de semen. 	Diferencial en los montos de las líneas de financiamiento para emprendimientos, como Capital Semilla, para el desarrollo de <i>startups</i> dedicadas al desarrollo y/o producción de estos productos y servicios.	<ul style="list-style-type: none"> Bioinsumos agrícolas Biotecnología aplicada a la mejora de la genética animal
	Falta de infraestructura para escalar bioprocesos (escalas mínimas altas), las <i>startups</i> no cuentan con plantas disponibles para utilizar, lo que motiva producción en el exterior.	<ul style="list-style-type: none"> Facilitación de alternativas de provisión en el exterior (inteligencia competitiva por parte de la Agencia de Inversión). Analizar a futuro la utilidad de subsidiar inversión en generación de capacidad de producción local. 	<ul style="list-style-type: none"> Aditivos e ingredientes Alimentos innovadores
Comercio exterior	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo de entrada individual a mercados extranjeros para pymes y <i>startups</i>. Existen ciertas barreras a la entrada de nuevos mercados internacionales vinculadas a la falta de articulación entre Argentina y otros países sobre los protocolos a cumplir por parte de las empresas de genética animal, junto a las diferencias entre las clasificaciones arancelarias de esos productos. 	<ul style="list-style-type: none"> Reforzar el trabajo de la Dirección de Innovación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca a través de la formulación de una estrategia con Cancillería para acelerar el desembarco de emprendimientos locales en el extranjero. Se aprovecharía así la experiencia positiva que en su momento se tuvo con el clúster de maquinaria agrícola. Articulación institucional con Organismos Nacionales de Protección Fitosanitaria de potenciales socios comerciales para homogeneizar protocolos vinculados a la exportación e importación de material genético, por un lado, y de las clasificaciones arancelarias (a través de las Cancillerías de ambos países), por el otro. 	<ul style="list-style-type: none"> Agro 4.0 Biotecnología aplicada a la mejora de la genética animal

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Oferta			
Comercio exterior	Débil inserción internacional de bioinsumos (costo ensayos y registros)	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de los derechos de exportación para bioinsumos. • Apoyo financiero para costear ensayos y registros en nuevos mercados. 	Bioinsumos agrícolas
Eje 1 - Marco regulatorio			
Normativa	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de clasificaciones específicas para distintos bioinsumos agrícolas • Falta de normativa nacional para bioinsumos agrícolas basados en macroorganismos 	<ul style="list-style-type: none"> • Esquema y comisión de evaluación específicas para bioinsumos. • Diseño de regulación para macroorganismos 	Bioinsumos agrícolas
	Heterogeneidad normativa a nivel regional para bioinsumos agrícolas, lo que implica cumplir con distintos requisitos para registrar el mismo producto en distintos países.	Promover la articulación con organismos de regulación del Mercosur para trabajar sobre la homogeneización en materia de registro.	Bioinsumos agrícolas
	Existen provincias que no tienen formalizados sus esquemas para la aplicación del Protocolo de Nagoya. En la mayoría de las jurisdicciones no se cuenta con los planteles profesionales adecuados para instrumentar y aplicar el protocolo.	Reforzar los equipos de trabajo de las áreas incumbentes en las distintas jurisdicciones con más perfiles idóneos (abogados y biólogos moleculares/ biotecnólogos).	<ul style="list-style-type: none"> • Bioinsumos agrícolas • Bioinsumos ganaderos • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores
	Los desarrollos basados en <i>molecular farming</i> que opten por no aprobar el OGM deben producirse en condiciones reguladas, lo cual es complejo y costoso.	Evaluar alternativas para el requerimiento de cultivar en condiciones controladas los cultivos para <i>molecular farming</i> con eventos transgénicos no aprobados, cuando no se evidencian riesgos potenciales.	<ul style="list-style-type: none"> • Biotecnología aplicada a la mejora de la genética vegetal • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Marco regulatorio			
Normativa	La normativa para la incorporación de aditivos innovadores al Código Alimentario Argentino (CAA) no es clara. No está claro dónde buscar los requisitos (ensayos a realizar para demostrar inocuidad y eficacia).	Desarrollar guías claras para cada tipo de aditivo o ingrediente innovador.	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores
Registro	Toda materia prima industrializada que se utilice en la elaboración de productos para alimentación animal debe estar registrada en un organismo oficial competente, aún cuando ya existen registros previos, lo cual desacelera el avance del desarrollo de nuevos productos.	Evaluar la factibilidad de crear un banco de materias primas seguras para la elaboración de productos para la alimentación animal que no requieran contar con registro para su utilización en la elaboración de productos para la alimentación animal.	Bioinsumos ganaderos
	<ul style="list-style-type: none"> • Escasez de personal técnico para la evaluación de las solicitudes de registro de: bioinsumos agrícolas, productos para salud, nutrición y reproducción animal. Para los productos veterinarios, la misma área que evalúa las solicitudes de registro, también realiza auditorías para la habilitación de plantas elaboradoras, certifica GMP y controla productos en el mercado. • Capacidad de evaluación sobredemandada en las Autoridades Sanitarias Jurisdiccionales para el registro de productos alimenticios y aditivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer los equipos de evaluadores de las solicitudes de registro de productos en las áreas correspondientes del SENASA (área de evaluación de la Dirección de Agroquímicos y Biológicos; área de evaluación de la Dirección de Productos Veterinarios; Centro Coordinador de Biológicos de la Dirección de Laboratorio Animal; Coordinación de Alimentos para Animales). • Para el caso de los productos veterinarios, una posibilidad para descomprimir la capacidad colapsada de evaluación y fiscalización, es la de delegar en las provincias la fiscalización para la habilitación de plantas elaboradoras. • Evaluar alternativas que reduzcan la carga administrativa asociada al esquema actual del registro de productos alimenticios y aditivos, potencialmente incrementando los controles de los productos en góndola. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bioinsumos agrícolas • Bioinsumos ganaderos • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Marco regulatorio			
Registro	Casi la totalidad de las solicitudes de registro de productos alimenticios tienen observaciones, predominantemente en cuestiones de rotulado, lo cual enlentece la evaluación de productos alimenticios y aditivos.	Capacitaciones para pymes de alimentos en aspectos relacionados con el rotulado. Instituciones como INTI e INTA cuentan con capacidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos e ingredientes • Alimentos Innovadores
	Incluir nuevos aditivos o ingredientes en el Código Alimentario Argentino (CAA) es un proceso lento y representa un cuello de botella importante para la expansión de los desarrollos de <i>food tech</i> , estas gestiones pueden demorar entre 1 y 2 años.	Revisar el esquema de evaluación y los circuitos administrativos actuales para la incorporación de aditivos e ingredientes biológicos al CAA, con la finalidad de agilizar la incorporación de productos destinados a la elaboración de alimentos saludables.	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores
	Falta de <i>expertise</i> local para la evaluación de aditivos e ingredientes funcionales innovadores que se obtienen a través de organismos genéticamente modificados (OGM): microorganismos modificados (ej. hongos utilizados para la producción de colorantes naturales); células vegetales cultivadas en suspensión (ej. para la producción de proteínas animales sin utilizar animales, destinadas a productos <i>plant based</i>); plantas modificadas cultivadas a campo (ej. para la producción de aditivos biológicos). Cuando un desarrollo no cuenta con antecedentes internacionales de registro, resulta complejo registrarlos en el país.	Capacitación del personal de evaluación en el estado de arte de productos innovadores para alimentación humana	<ul style="list-style-type: none"> • Aditivos e ingredientes • Alimentos innovadores

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Marco regulatorio			
Ensayos para registro	<ul style="list-style-type: none"> En el país no existe un relevamiento de los laboratorios que realizan ensayos para registro con validez internacional Existen vacíos en estas capacidades, por lo cual ciertos ensayos para registro se deben realizar en el exterior. 	<p>Relevar la oferta local actual (y sus vacíos) de ensayos con validez internacional para registro.</p> <p>Evaluar pertinencia de financiar la certificación de normas de calidad en laboratorios existentes para aumentar la oferta local de ensayos con validez internacional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Bioinsumos agrícolas Biotecnología aplicada a la mejora de la genética vegetal Bioinsumos ganaderos (productos veterinarios biotecnológicos)
	<ul style="list-style-type: none"> Escasez de boxes de bioseguridad en el país. Los boxes de bioseguridad del SENASA solo están disponibles para la realización de ensayos oficiales. Debido a la expansión de los productos biológicos para animales en los últimos años, la capacidad de los bioterios del SENASA resultará insuficiente en el corto plazo. 	<p>Evaluar la factibilidad de realizar inversión en infraestructura para el registro de productos veterinarios: boxes de bioseguridad y bioterios.</p>	<p>Bioinsumos ganaderos</p>
Propiedad de datos	Marco regulatorio en torno a la propiedad de los datos débil.	Elaboración de estudios para diagnosticar las fallas actuales del marco regulatorio en torno a la propiedad de los datos que se generan bajo el paradigma 4.0 en general y, si correspondiese, para el vertical del agro 4.0 en particular.	Agro 4.0

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Marco regulatorio			
Control	<ul style="list-style-type: none"> Comercialización de bioinsumos agrícolas sin registro comercial. Bioinsumos agrícolas en el mercado de baja calidad. Falta de controles rutinarios sobre productos veterinarios en uso (vacunas obligatorias, antibióticos prohibidos, etc.), solo se realizan ante el surgimiento de eventos de alarma. Escasos controles en góndola sobre productos alimenticios para humanos. 	<ul style="list-style-type: none"> Consideración de reestructuración de las áreas de evaluación y control: Realizar controles de comercialización de productos biológicos y fortalecer controles periódicos de calidad en plantas de producción. Fortalecer los esquemas de control sobre el uso de antimicrobianos y productos para la reproducción asistida. Fortalecer los esquemas de control en góndola para productos alimenticios. 	<ul style="list-style-type: none"> Bioinsumos agrícolas Bioinsumos ganaderos Aditivos e ingredientes Alimentos Innovadores
Marco institucional	Falta de estructura en ciertas áreas del SENASA, lo que dificulta la expansión y la adecuación a la demanda de registro de productos biológicos, que se encuentra en crecimiento en los últimos años (Ej. la Coordinación de Alimentos para Animales no tiene una estructura formal, lo cual dificulta su crecimiento y la toma de decisiones).	Evaluar la factibilidad de formalizar la estructura de la Coordinación de Alimentos para Animales del SENASA y su incorporación al organigrama.	Bioinsumos ganaderos

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 1 - Gobernanza			
Gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> Descoordinación de las acciones llevadas adelante por distintas áreas ministeriales, y entre el Estado Nacional y los estados provinciales. Falta de planificación y articulación de acciones para el desarrollo de los sectores biotecnológicos emergentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Consolidar una mesa de trabajo interinstitucional para cada sector (Agro 4.0, Bioinsumos ganaderos, Bioinsumos agrícolas, Biotecnología aplicada a la genética animal), haciendo hincapié no solo en la articulación entre los ministerios del Estado nacional, sino también en el eje Nación-Provincias y la complementación de las entidades facilitadoras del cambio tecnológico para concertar acciones y responsabilidades, y hacer seguimiento de su ejecución. Coordinación y seguimiento de un Plan Estratégico para cada sector, a través de una unidad interministerial en cada sector. A través de las capacidades existentes en los distintos ámbitos ministeriales, esta Unidad tendrá también a cargo las tareas de inteligencia competitiva (seguimiento de propuestas y prácticas regulatorias públicas y privadas, registros de patentes, lanzamientos a mercado, inversiones de capital de riesgo y estrategias de grandes empresas) y de facilitar la vinculación de las capacidades del sistema científico-tecnológico (laboratorios, ceparios, campos experimentales). 	<ul style="list-style-type: none"> Agro 4.0 Bioinsumos ganaderos Bioinsumos agrícolas Biotecnología aplicada a la genética animal
Ejes 1 y 2 - Demanda			
Información	<p>Escaso conocimiento de productores sobre impactos económicos de una óptima fertilización apoyados en mapas de suelo a nivel municipal/regional que eviten prácticas que redunden en excesos o déficits nutricionales con efectos adversos para la sostenibilidad del suelo y la productividad de los lotes.</p>	<p>A partir de convenios con INTA/Conicet/Universidades realizar mapas/muestreo de suelos en virtud de conocer las necesidades de fertilización a nivel lote/municipal/regional y las proyecciones e impacto de una fertilización óptima en los márgenes brutos. Esto contribuiría a mejorar la información de productores, promover un buen uso del suelo y alcanzar una mayor productividad/ha.</p> <p>Continuar la articulación técnica con el INTA e incrementar los servicios de apoyo a los productores, incluyendo acciones de sensibilización, capacitación y extensión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fertilizantes Bioinsumos agrícolas

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Ejes 1 y 2 - Demanda			
Información	Falta de información respecto de las condiciones hidrológicas regionales y de las probabilidades de ocurrencia –y magnitud del impacto en la producción agropecuaria– de fenómenos climáticos extremos.	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un mapa hidrológico que permita conocer acabadamente las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico tanto superficial como subterráneo. • Promover la investigación sobre diferentes variables climáticas como sequías, incremento de temperaturas, precipitaciones respecto de su riesgo de ocurrencia e, impacto en las producciones agropecuarias (en línea con medidas recomendadas en el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). • Programas de sensibilización a productores respecto de los impactos esperados y de la importancia de la adopción de tecnologías para la adaptación y la mitigación de los daños (en línea con medidas recomendadas en el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 	<ul style="list-style-type: none"> • Riego • Agro 4.0 • Biotecnología vegetal
Capacitación	Escasa capacidad para identificar y poner en marcha proyectos de infraestructura en irrigación.	Fomentar el desarrollo de capacidades en recursos humanos, a nivel técnico y universitario (ingenieros hídricos, técnicos hídricos y perfiles similares)	Riego

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Ejes 1 y 2 - Demanda			
Incentivos	El modelo de contratos agropecuarios entre contratistas-propietarios genera riesgos e incentivos no alineados. Mientras los primeros asumen un riesgo de corto plazo asociado a variables climáticas y económicas exógenas, los segundos asumen un riesgo de largo plazo, el de la potencial desvalorización de su bien de capital, el suelo. Los altos riesgos climáticos derivan en incentivos a minimizar los gastos en insumos, cuando no hay garantías de que tengan un retorno (sea por mayor rendimiento en cosecha o por cobertura de seguros). Los incentivos para atender la gestión sostenible de este recurso se reducen significativamente para el productor ya que estos impactan en el mediano y largo plazo.	Establecer una ley de fertilizantes tomando como base el Proyecto de Ley "Régimen de Conservación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos de uso agropecuario a través de la promoción del uso de fertilizantes" (2014). Se plantea reemplazar el esquema propuesto en su artículo 3° –que sugiere una deducción de ganancias del gasto en fertilización– proponiendo un reintegro o crédito fiscal al momento de la compra de fertilizantes o bioestimulantes. Esto obedece a que si el reintegro es realizado ex post y bajo la condición de que la inversión haya tenido impacto en rindes, no termina de constituirse en un incentivo ya que se trata de una inversión fuertemente asociada a riesgos climáticos como sequías, inundaciones o temperaturas extremas que pueden echar a perder la cosecha	<ul style="list-style-type: none"> • Riego • Fertilizantes • Bioinsumos agrícolas
	Baja adopción de seguros contra fenómenos derivados del cambio climático como sequías e inundaciones, que afectan severamente la producción de alimentos.	Implementación de programa de fomento a la adopción de <i>seguros de precisión</i> diseñados con primas diferenciadas para quienes incorporen en sus planteos productivos fertilización, análisis de suelo, sistemas de riego y aplicación de tecnologías.	<ul style="list-style-type: none"> • Fertilizantes • Riego • Biotecnología vegetal • Agro 4.0 • Bioinsumos

Continúa.

Continuación.

Área	Espacios de mejora	Líneas de acción	Sectores en los que impactan
Eje 2 - Oferta			
Producción	Potencial subexplotado de la disponibilidad de potasio a costo competitivo en la Cuenca Potásica Huitriniana y a bajo costo derivado de la explotación de litio en el NOA.	<ul style="list-style-type: none"> Priorización de obras de infraestructura asociadas a la producción de litio que impacten en la industrialización y posterior comercialización de la potasa. Evaluar la factibilidad de generar un esquema de iniciativas público-privadas para fondar obras de mejora. Priorización de obras en la RN40 que conecte la cuenca potásica Río Colorado con el puerto de Bahía Blanca para promover la salida exportadora del potasio. 	Fertilizantes
	Bajo aprovechamiento de las ventajas competitivas para la producción de urea dadas por proyecciones de disponibilidad de gas a bajo precio y bajos costos logísticos por cercanía de plantas a puertos para exportación	Promoción de un marco regulatorio favorable para la instalación de una segunda planta de urea. Priorización de obras de infraestructura asociadas a la logística de transporte de los insumos necesarios para su producción (gas, metano) hacia los centros de consumo y puertos.	

Metas a 2030

A partir de la implementación de las líneas de acción propuestas, se espera alcanzar las metas detalladas a continuación, en el cuadro 24.

CUADRO 24. METAS DE LA MISIÓN 6

Proyecto	N° de meta	Variable	Línea de base	Meta (año 2030)	Variación
Eje 1					
Proyecto 1: agro 4.0	6.1	Cantidad de empleos en empresas desarrolladoras de tecnologías 4.0 para el agro	1.400 (2021)	4.200	+200%
	6.2	Porcentaje de explotaciones agropecuarias que adoptan agricultura de precisión	3,8% (2018)	10%	+ 6,2 p.p.
Proyecto 2a: bioinsumos agrícolas	6.3	Porcentaje del total de las ventas de agroinsumos que son de origen biológico	2,9% (2020)	15%	+12,1 p.p.
	6.4	Cantidad de bioinsumos agrícolas registrados	689 (2020)	1050	+361
	6.5	Provisión nacional de bioinsumos agrícolas	98,2% (2020)	al menos 85%	como máximo -13,2 p.p.
	6.6	Exportaciones de bioinsumos agrícolas	USD 17,7 millones (2021)	USD 35,4 millones	+USD 17,7 millones
	6.7	Porcentaje de explotaciones agropecuarias que emplean control biológico de plagas	4,4% (2018)	10%	+5,6 p.p.
Proyecto 2b: bioinsumos ganaderos	6.8	Porcentaje del total de las ventas de productos veterinarios para grandes animales que son de origen biológico	31% (2020)	50%	+19 p.p.
	6.9	Cantidad de aditivos para alimentación animal registrados (incluyen pre- y probióticos)	333 (2022)	500	+167
Proyecto 3a: genética vegetal	6.10	Superficie sembrada con cultivos que incorporan atributos que elevan su capacidad de adaptación al cambio climático	52.959 (campaña 2021-2022) *	3.000.000 ha	+2.947.041 ha

Continúa.

Continuación.

Proyecto	N° de meta	Variable	Línea de base	Meta (año 2030)	Variación
Proyecto 3b: genética y reproducción animal	6.11	Cantidad de dosis de semen sexado producidas en el país	48.000 (año 2021)	72.000	+50%
Proyecto 4: aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas de origen biológico	6.12	Cantidad de empleos en empresas de aditivos e ingredientes que ofrecen productos de origen biológico.	1.620 (año 2021)	3.240	+1.620
Proyecto 6: fertilizantes	6.13	Capacidad instalada para la producción anual de nitrogenados (específicamente urea)	1.320.000 tn (2022) **	3.960.000 tn	+2.640.000 tn
	6.14	Capacidad instalada para la producción de potásicos	0 tn (2022) ***	2.000.000 tn	+2.000.000 tn
	6.15	Consumo de urea	1.980.583 tn (2018-2019)	3.072.740 tn	+1.319.137 tn
	6.16	Consumo de PDA	1.616.030 tn (2018-2019)	3.025.729 tn	+ 1.409.699 tn
	6.17	Consumo de TSA	460.844 tn (2018-2019)	891.565 tn	+496.146 tn
Proyecto 5: riego	6.18	Superficie de cultivo bajo riego	2.100.000 ha (2015)	4.000.000 ha	+1.900.000 ha

Fuentes: Aduana, Censo Nacional Agropecuario 2018 – INDEC, Cámara Argentina de la Industria de Productos Veterinarios (CAPROVE), SENASA, Cámara Argentina de Biotecnología de la Reproducción e Inseminación Artificial (CABIA), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2021, los datos corresponden a cinco cultivos: trigo, soja, maíz, girasol y cebada), FAO (2015b).

Notas: para dimensionar el sector de aditivos e ingredientes con funciones tecnológicas, se partió del relevamiento realizado por Talamoni y Queipo, 2022. Este listado de empresas se amplió mediante la utilización de motores de búsqueda en internet. Luego, estas empresas fueron clasificadas, quedándonos sólo con aquellas empresas que ofrecen productos biológicos. La información de empleo proviene de SIPA. (*) Superficie sembrada con trigo HB4 tolerante a la sequía, en la campaña 2021-2022, según un informe del Instituto Nacional de Semillas (INASE). (**) Capacidad productiva de la planta de urea de la firma Profertil, ubicada en Bahía Blanca, Buenos Aires. (***) Argentina no cuenta con producción local de potásicos. Poniendo en marcha Potasio Río Colorado (aproximadamente 1,5 millones de toneladas en su versión actual) y aprovechamientos en base a litio podría pensarse en una capacidad de 2 millones.

ANEXOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





Anexo 1. Posiciones arancelarias utilizadas en el Eje 1

Eslabón	Etapa	NCM	Descripción
Ganadería	Nutrición	230990	Preparaciones de los tipos usados para alimentación de animales: Los demás (excepto perros y gatos acondicionados para venta por menor)
		300230	Vacunas para la medicina veterinaria
	Sanidad	29072900110A	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Dietilestilbestrol, dienolestrol y hexestrol; sales de estos productos // --Los demás // -Polifenoles; fenoles-alcoholes: // fenoles; fenoles-alcoholes.
		29153952100J	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // De dienolestrol // Acetatos de benzestrol, dienolestrol, hexestrol, mestilbol o estilbestrol // Los demás // Ésteres del ácido acético: // Ácidos monocarboxílicos acíclicos saturados y sus anhídridos, halogenuros, peróxidos y peroxiácidos; sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados.
		29153953100R	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // De hexestrol // Acetatos de benzestrol, dienolestrol, hexestrol, mestilbol o estilbestrol // Los demás // Ésteres del ácido acético: // Ácidos monocarboxílicos acíclicos saturados y sus anhídridos, halogenuros, peróxidos y peroxiácidos; sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados.
		29155030110Y	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Dipropionato de dietilestilbestrol y de hexestrol // Ésteres // Ácido propiónico, sus sales y sus ésteres // Ácidos monocarboxílicos acíclicos saturados y sus anhídridos, halogenuros, peróxidos y peroxiácidos; sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados.
		29157019110A	Destinado a medicina veterinaria (R.G.2146/06 AFIP) // Dipalmitato de dietilestilbestrol // Los demás // Ácido palmítico, sus sales y sus ésteres // Ácido palmítico, ácido esteárico, sus sales y sus ésteres // Ácidos monocarboxílicos acíclicos saturados y sus anhídridos, halogenuros, peróxidos y peroxiácidos; sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados.

Continúa.



Continuación.

Eslabón	Etapa	NCM	Descripción
Ganadería	Sanidad	29209049110L	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Disulfato de dietilestilbestrol // Los demás // Sulfatos // Los demás // Ésteres de los demás ácidos inorgánicos de los no metales (excepto los ésteres de halogenuros de hidrógeno) y sus sales; sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados.
		29209090110R	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Difosfato de dietilestilbestrol y de hexestrol // Los demás // Los demás // Ésteres de los demás ácidos inorgánicos de los no metales (excepto los ésteres de halogenuros de hidrógeno) y sus sales; sus derivados halogenados, sulfonados, nitrados o nitrosados.
		29321990210Z	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Furoato de dietilestilbestrol // Los demás // --Los demás // - Compuestos cuya estructura contenga un ciclo furano (incluso hidrogenado), sin condensar: // Compuestos heterocíclicos con heteroátomo(s) de oxígeno exclusivamente.
		30039039110Q	Destinado a medicina veterinaria (R.2507/93 ex-ANA) // Que contengan difosfato o disulfato de dietilestilbestrol, o difosfato de hexestrol // Los demás // Que contengan productos de las partidas 29.16 a 29.20, sin productos de las subpartidas 3003.90.1 y 3003.90.2 // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados entre sí, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, sin dosificar ni acondicionar para la venta al por menor.
		30039069110V	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Que contenga furoato de dietilestilbestrol // Los demás // Que contengan productos de las partidas 29.30 a 29.32, sin productos de las subpartidas 3003.90.1 a 3003.90.5 // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados entre sí, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, sin dosificar ni acondicionar para la venta al por menor.
		30039095510Q	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Dietilestilbestrol o su dipropionato // Busulfano; dexormaplatino; dietilestilbestrol o su dipropionato; enloplatino; iproplatino; lobaplatino; miboplatino; miltefosina; mitotano; ormaplatino; procarbazona o su clorhidrato; propofol; sebriplatino; zeniplatino // Los demás // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados entre sí, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, sin dosificar ni acondicionar para la venta al por menor.

Continúa.



Continuación.

Eslabón	Etapa	NCM	Descripción
Ganadería	Sanidad	30039099310K	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Que contengan palmitato de dietilestilbestrol, o que contengan hexestrol, su dipropionato o su diacetato, o diacetato de dienestrol // Los demás // Los demás // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados entre sí, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, sin dosificar ni acondicionar para la venta al por menor.
		30049029110Z	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Que contengan difosfato o disulfato de dietilestilbestrol, o difosfato de hexestrol // Los demás // Que contengan productos de las partidas 29.16 a 29.20, sin productos de la subpartida 3004.90.1 // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados o sin mezclar, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, dosificados (incluidos los destinados a ser administrados por vía transdérmica) o acondicionados para la venta al por menor.
		30049059110D	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Que contengan furoato de dietilestilbestrol // Los demás // Que contengan productos de las partidas 29.30 a 29.32, sin productos de las subpartidas 3004.90.1 a 3004.90.4 // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados o sin mezclar, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, dosificados (incluidos los destinados a ser administrados por vía transdérmica) o acondicionados para la venta al por menor.
		30049095510J	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Dietilestilbestrol o su dipropionato // Busulfano; dexormaplatino; dietilestilbestrol o su dipropionato; enloplatino; iproplatino; lobaplatino; miboplatino; miltefosina; mitotano; ormaplatino; procarbazona o su clorhidrato; propofol; sebrilatino; zeniplatino // Los demás // Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados o sin mezclar, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, dosificados (incluidos los destinados a ser administrados por vía transdérmica) o acondicionados para la venta al por menor.

Continúa.



Continuación.

Eslabón	Etapa	NCM	Descripción
Ganadería	Sanidad	30049099310D	Destinado a medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP) // Que contengan palmitato de dietilestilbestrol, o que contengan hexestrol, su dipropionato o su diacetato, o diacetato de dienoestrol // Los demás // Los demás // -Los demás // Medicamentos (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados o sin mezclar, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, dosificados (incluidos los destinados a ser administrados por vía transdérmica) o acondicionados para la venta al por menor.
		300490994	Antiparasitarios usados en medicina veterinaria
		30021229200A	Plasma deshidratado bovino y hemoglobina deshidratada bovina
		30029010200L	Reactivos de origen microbiano para diagnóstico Destinados a medicina veterinaria (R.2012/93 ex-ANA)
		30043917320L	Acetato de buserelina De uso en medicina veterinaria (R.2012/93 ex-ANA)
		30042011100B	Cloranfenicol, su palmitato, su succinato o su hemisuccinato Para medicina veterinaria (R.G. 2146/06 AFIP)
		3004906991	Medicamentos Para medicina veterinaria (excepto los productos de las partidas 30.02, 30.05 o 30.06) constituidos por productos mezclados o sin mezclar, preparados para usos terapéuticos o profilácticos, dosificados (incluidos los destinados a ser administrados por vía transdérmica) o acondicionados para la venta al por menor.
Ganadería	Reproducción y genética	05111000	Semen de bovino
		05119910	Embriones de animales
		05119920	Semen animal, excluido de bovino
Aditivos alimentarios	Enzimas	350710	Enzimas: Cuajo
		350790	Enzimas: Las demás
	Aromatizantes	330210	Mezclas de sustancias odoríferas. De las utilizadas en la industria alimenticia
		291510	Ácido fórmico, sus sales y sus ésteres:
		291520	Ácido acético y sus sales; anhídrido acético

Continúa.



Continuación.

Eslabón	Etapas	NCM	Descripción
Aditivos alimentarios	Aromatizantes	291530	Ésteres del ácido acético:
		291540	Ácidos mono-, di- o tricloroacéticos, sus sales y sus ésteres
		291550	Ácido propiónico, sus sales y sus ésteres
		291560	Ácidos butanoicos, ácidos pentanoicos, sus sales y sus ésteres
		291570	Ácido palmítico, ácido esteárico, sus sales y sus ésteres
		291590	Los demás
	Levaduras	210210	Levaduras Vivas
		210220	Levaduras Muertas
		210230	Polvos preparados para esponjar masas
	Ingredientes (nutrientes)	293620	Provitaminas y vitaminas sin mezclar
		293690	Provitaminas y vitaminas: Las demás
	Espesantes	130210	Jugos y extractos vegetales:
		130220	Materias pécticas, pectinatos y pectatos
		130230	Mucílagos y espesativos derivados de los vegetales, incluso modificados:
		350510	Dextrina y demás almidones y féculas modificados
	Saborizantes	291811	Ácido láctico, sus sales y sus ésteres
		291813	Sales y ésteres del ácido tartárico
		291816	Ácido glucónico, sus sales y sus ésteres
		291819	Ácidos de esta p.a.: Los demás
		291210	Aldehídos acíclicos sin otras funciones oxigenadas:
		291220	Aldehídos cíclicos sin otras funciones oxigenadas:
		291240	Aldehídos-alcoholes, aldehídos-ésteres, aldehídos-fenoles y aldehídos con otras funciones oxigenadas
		291250	Polímeros cíclicos de los aldehídos
		291260	Paraformaldehído
		293214	Sucralosa

Continúa.



Continuación.

Eslabón	Etapas	NCM	Descripción
Aditivos alimentarios	Colorantes	320410	Materias colorantes orgánicas sintéticas y preparaciones
		320420	Productos orgánicos sintéticos de los tipos utilizados para el avivado fluorescente
		320300	Materiales colorantes de origen vegetal o animal
		320411	Colorantes dispersos y preparaciones a base de ellos
Bioinsumos		30029099120J	Cultivos de microorganismos Aptos para la humidificación del suelo (R.2013 ex-ANA)
		30029099130M	Cultivos de microorganismos <i>Bacillus thuringiensis</i> (R.2013/93 ex-ANA)
		30029099170A	Cultivos de microorganismos Material biológico comprendido en la Resolución N° 1789/06 MS

Fuente: elaboración propia con base en Aduana.

Anexo 2. Antibióticos como promotores de crecimiento y alternativas más saludables¹²⁴

A fines de la década de 1940, se comenzaron a utilizar antibióticos en la dieta de los animales, con el objetivo de aumentar la producción de carne, huevos y leche. En 1951 la FDA (United States Food and Drug Administration) aprobó el uso de antibióticos en alimentos para animales sin necesidad de prescripción veterinaria. El mecanismo de acción de los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento (AGP, por su sigla en inglés “antibiotic-based growth promoters”) puede ser explicado de varias maneras.

Sin embargo, con el correr del tiempo esta práctica comenzó a ser cuestionada desde el punto de vista de la salud pública por sus implicancias en la generación de resistencia a los antimicrobianos usados en terapéutica. La resistencia a los antimicrobianos que afecta a la salud de consumidores humanos no está asociada mayormente a los residuos de antibióticos que pudieran quedar en la carne o en los huevos, sino al desarrollo de bacterias resistentes en los mismos animales, las cuales pueden dar lugar a fallos terapéuticos en tratamientos veterinarios. También existe el riesgo de transferencia de esas bacterias resistentes de los animales al hombre, o de genes portadores de la resistencia de bacterias animales a bacterias humanas. La administración de dosis subterapéuticas durante largo tiempo, crea condiciones ideales para la propagación de bacterias resistentes (los antibióticos en dosis subterapéuticas actúan como factor de selección al suprimir los microorganismos sensibles y permitir de esta manera la proliferación de cepas resistentes). En salud humana, el problema de la resistencia a los antimicrobianos se intensifica en pacientes inmunodeprimidos, niños y ancianos. Cuando un patógeno multiresistente ataca a un paciente con estas características los antimicrobianos usados habitualmente no son efectivos y deben reemplazarse por otros más nuevos y de mayor costo. En algunos casos el reemplazo no es posible y puede ocasionarse la muerte del paciente.

Por todo esto, en el año 2003 la Unión Europea comenzó con directivas para la prohibición del uso de los AGP. En nuestro país, recién en el año 2015, mediante la Resolución SENASA 591/15, se creó el Programa Nacional de Vigilancia de Resistencia a los Antimicrobianos en animales de consumo humano, atendiendo a lo dispuesto en la Resolución Conjunta 834 del Ministerio de Salud y 391 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, en la cual se establece la Estrategia Argentina para el Control de la Resistencia a los Antimicrobianos. El programa pretende determinar y monitorear de forma sostenida en el tiempo, la prevalencia de resistencia a los diferentes antimicrobianos en bacterias comensales y zoonóticas, con el objeto de evaluar posibles medidas que permitan retrasar o impedir la emergencia y diseminación de bacterias resistentes y, de esta manera, minimizar su riesgo en la salud pública y animal.

Las enzimas exógenas, mejoran el nivel de digestión de ciertos componentes, incrementado sustancialmente el nivel de aprovechamiento de los nutrientes. Esto es beneficioso

¹²⁴ Basado en Ardoino (2017).

especialmente para la asimilación de nutrientes para los cuales los animales no poseen enzimas endógenas.

Los probióticos son microorganismos que se incluyen en la dieta. Puede tratarse de un solo microorganismo o una mezcla de varios. Su mecanismo de acción en general se basa en el principio de la exclusión competitiva, ocupando en el intestino del animal un lugar que no puede ser ocupado por un patógeno o por un microorganismo indeseable (evitan el consumo de nutrientes o crean un medio desfavorable para su desarrollo). Los probióticos juegan un rol importante moderando infecciones bacterianas entéricas.

Los prebióticos son ingredientes no digeribles con efectos selectivos sobre la microflora intestinal. El mecanismo de acción de los prebióticos como reemplazo de los AGP en general se basa en el hecho de ser componentes no digeribles con una acción de estimulación selectiva del crecimiento o la actividad metabólica de especies determinadas de la microflora intestinal.

Los aditivos fitogénicos se definen como todos aquellos aditivos derivados de plantas. En el último tiempo han atraído la atención como potencial reemplazo a los AGP.

Bibliografía

- Allen, H. K., Trachsel, J., Looft, T., y Casey, T. A. (2014). *Finding alternatives to antibiotics. Annals of the New York Academy of Sciences*, 1323(1), 91-100.
- Alltech Gut Health Platform (2021). Disponible en <https://www.alltech.com/gut-health>
- American Veterinary Medical Association (2017). *Veterinary Feed Directive (VFD) Basics*. Disponible en <https://www.avma.org/resources-tools/one-health/antimicrobial-use-and-antimicrobial-resistance/veterinary-feed-directive-basics>
- Anlló, G., Añon, M. C., Bassó, S., Bellinzoni, R., Bisang, R., Cardillo, S., y Regunaga, M. (2016). *Biotecnología argentina al año 2030: llave estratégica para un modelo de desarrollo tecno-productivo*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Proyecto BIRF 7599/AR). Buenos Aires.
- Anlló, G., Bisang, R. y Stubrin, L. (2011). *Las empresas privadas de biotecnología en Argentina*. CEPAL – Colección Documentos de proyectos. Santiago de Chile.
- Anlló, G. y Bisang, R. (2015). Integración y comercio N°39, Año 19, Agosto 2015. Publicación propiedad del Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo (BID-INTAL).
- Arduino, S.M. (2017). Antimicrobianos como promotores de crecimiento (AGP) en alimentos balanceados para aves: uso, resistencia bacteriana, nuevas alternativas y opciones de reemplazo. CIENCIA VETERINARIA (Enero-Junio 2017) DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/cienvet-20171914> 50. ISSN 1515-1883 | E-ISSN 1853-8495.
- Asociación Argentina de Capital Privado, Emprendedor y Semilla (2021). *Venture Capital's Impact on AgriFoodTech Sector Development in Argentina*.
- Bairoch, A (2000). The ENZYME database in 2000. *Nucleic Acids Res.* 28:304-305.
- Baynes, J. W. (2019). Ribonucleic Acid, *Medical Biochemistry*, Chapter 21, 275-287
- Banco Mundial (2019). Consumo de Fertilizantes. Participación de la Agricultura en el PIB. Participación del empleo agrícola.
- Barrera Ramírez, L. M. (2004). Citometría de flujo: vínculo entre la investigación básica y la aplicación clínica. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, Insti. Nal. Enf. Resp. Mex. 2004, vol.17(1)*, pp. 42-55. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-75852004000100007
- Beneo (2020). *Naturally-sourced feed ingredients for animal nutrition*. Disponible en <https://www.beneo.com/ingredients/animal-nutrition>

Bisang, R., Carciofi, R., Piñeiro, M., y Tejeda Rodríguez, A. (2022). Cambios estructurales de la producción agroindustrial argentina. En *Agroindustria: Transformaciones recientes y su papel en el desarrollo argentino*. Teseo. Disponible en <https://www.teseopress.com/agroindustria/>

Bisang, R., Stubrin, L., Anlló, G. (2011). *Las empresas de biotecnología en Argentina*. CEPAL – Colección Documentos de Proyectos.

Bolsa de Comercio de Rosario (2021). Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/seguimiento-de-cultivos/resumen-del-informe-region-nucleo/resumen-del-informe-88>

Bonny, S. (2017). Corporate concentration and technological change in the global seed industry. *Sustainability* 2017, 9(9), pp. 16-32. <https://doi.org/10.3390/su9091632>

Brizuela, G., Cova, M., Monzón, J. y Varona, P. (2022). *Ley 27.642 de Promoción de la Alimentación Saludable. Recomendaciones de políticas de fomento a la reformulación de alimentos*. Documento N° 35. Serie de Documentos Argentina Productiva 2030. Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo, Ministerio de Economía de la Nación.

Bueno-Marí, R., Gouveia Almeida, A. P., y Navarro, J. C. (2015). Emerging zoonoses: eco-epidemiology, involved mechanisms and public health implications. *Frontiers*.

Bush, K., Courvalin, P., Dantas, G., Davies, J., Eisenstein, B., Huovinen, P., Jacoby G., Kishony, R., Kreiswirth, B., Kutter, E., Lerner, S., Levy, S., Lewis, K., Lomovskaya, O., Miller, J., Mobashery, S., Piddock, L., Projan, S., Thomas, C., ... y Zgurskaya, H. I. (2011). Tackling antibiotic resistance. *Nature Reviews Microbiology*, 9(12), pp. 894-896. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2693>.

Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., y Ferreira, I. C. F. R. (2014). Adding Molecules to Food, Pros and Cons: A Review on Synthetic and Natural Food Additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 377–399. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12065>

CONICET (2019). *Tecnología contra la sequía trasciende fronteras*. Disponible en <https://www.conicet.gov.ar/una-tecnologia-contra-la-sequia-que-trasciende-fronteras/>

Consejo de los Profesionales del Agro, Alimentos y Agroindustria (2020). Bioinsumos Agropecuarios. Herramientas para una producción sustentable. *Revista Bimestral*, 168.

Deconinck, K. (2020). Concentration in seed and biotech markets: extent, causes and impacts. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), pp. 129-147. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102319-100751>

Dirección Nacional de Promoción Minera (2019). *Informe Potasio*. Secretaria de Política Minera del Ministerio de Producción y Trabajo. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_especial_de_potasio_-_noviembre_2019.pdf

Dong, O. X. y Ronald, P. C. (2019). *Genetic Engineering for Disease Resistance in Plants: Recent Progress and Future Perspectives*. *Plant Physiology*, 180(1), pp. 26-38. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01224>

Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. (1993). *La economía del cambio técnico y el comercio internacional*. CONACYT, SECOFI, México.

Dunham – Trimmer International Biointelligence (2018). Global Biocontrol market. Overview, Trends & Drivers. Naciones Unidas (2022). Growing hunger, high food prices in Africa don't have to become worse tragedy. *Africa Renewal*. Naciones Unidas. Disponible en <https://www.un.org/africarenewal/magazine/may-2022/growing-hunger-high-food-prices-africa-dont-have-become-worse-tragedy>.

Dupont (2019). *DuPont Opens World-Class Probiotics Fermentation Unit*. Disponible en <https://www.dupont.com/news/dupont-opens-world-class-probiotics-fermentation-unit.html>

European Commission (2005). *Ban on antibiotics as growth promoters in animal feed enters into effect*. Disponible en https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_05_1687

FAO (2022a). *El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf>

FAO (2022b). Repercusiones del conflicto entre Ucrania y la Federación de Rusia en la seguridad alimentaria mundial y asuntos conexos en relación con el mandato de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Consejo. 170° período de sesiones. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO (2018). *Guidelines on irrigation investment projects*. Rome. 122 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO (2017). *Trabajo estratégico de la FAO para Incrementar la Resiliencia de los Medios de Vida*.

FAO (2015a). *The second report of the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture.

FAO (2015b). *Estudio del potencial de ampliación del riego en argentina*.

FAO (2011). *World Livestock. Livestock in food security*.

FDA (2019). *2018 Summary Report On Antimicrobials Sold or Distributed for Use in Food-Producing Animals*. United States Food and Drug Administration. Disponible en <https://www.fda.gov/media/133411/download>.

Fernández, L., Escobedo, S., Gutiérrez, D., Portilla, S., Martínez, B., García, P., y Rodríguez, A. (2017). *Bacteriophages in the dairy environment: From enemies to allies*. *Antibiotics*, 6(4), 27.

Fertilizar Asociación Civil (2022). Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización.

Gelski, J. (2019). Nielsen: Sustainable food products on the rise. *Meat + Poultry*. Noviembre 2019. Disponible en: <https://www.meatpoultry.com/articles/20722-nielsen-sustainable-food-products-on-the-rise>

Global Market Insights (2022). *Fertilizers Market*.

Gonzalo, M., Brizuela, G., Curbelo, F., López, S. y Ascúa, R. (2022). *El rol estatal en el desarrollo de la industria de capital de riesgo. Referencias internacionales, Argentina y el FONDCE*. Documento N° 37. Serie de Documentos Argentina Productiva 2030. Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo, Ministerio de Economía de la Nación.

Grand View Research (2022). Global Prebiotics Market Size, Share & Trends Report, 2030. Disponible en <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/prebiotics-market>

Grand View Research (2021a). Prebiotics Market Size, Share & Trends Analysis Report By Ingredients (FOS, Inulin, GOS, MOS), By Application (Food & Beverages, Dietary Supplements, Animal Feed), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030. Market Analysis Report ID: 978-1-68038-089-7. California.

Grand View Research (2021b). Food additives market, growth and trends.

Grand View Research (2020). Food Additives Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Flavors & Enhancers, Sweeteners, Enzymes, Emulsifiers), By Source (Natural, Synthetic), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2028.

Gruère, G., Ashley, C., y Cadilhon, J. J. (2021). The case for action on financing agriculture water.

Gutman, G. y Lavarello, P. (2014). *Biotecnología industrial en Argentina: estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*. CEUR-CONICET, Gran Aldea ed., Buenos Aires.

Hrozencik, R. A., y Aillery, M. (2021). Trends in US irrigated agriculture: increasing resilience under water supply scarcity.

IITA (2019). *Major breakthrough for farmers and scientists as Nigerian biotech body approves commercial release of genetically modified Cowpea*. Disponible en <https://www.iita.org/news-item/major-breakthrough-for-farmers-and-scientists-as-nigerian-biotech-body-approves-commercial-release-of-genetically-modified-cowpea/>

INASE (2019). El mercado mundial y nacional de semillas. La concentración de la producción semillera y sus efectos. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

INDEC (2022). *Complejos exportadores. Año 2021. Comercio Exterior Vol. 6 (N°14)*. Disponible en https://www.indec.gov.ar/uploads/informesdeprensa/complejos_03_22BE7DF71128.pdf

INTA (2022). *Vacuna VEDEVAX*. <https://www.argentina.gob.ar/inta/tecnologias/vacuna-vedevax>

INTA (2014). *La leucosis bovina en América Latina y el Caribe. Informe del Estado del Arte*. Disponible en https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/16338_-_Leucosis_-_Estado_del_Arte.pdf

INTA Informa (12 de noviembre de 2020). *Bioinnovo aumentará la producción de la vacuna contra la Diarrea Viral Bovina*. Disponibles en <https://intainforma.inta.gob.ar/bioinnovo-aumentara-la-produccion-de-la-vacuna-contra-la-diarrea-viral-bovina/>.

Invest Chile (2022). *BENEO invierte más de US\$50 millones para expandirse en Chile*. Disponible en <https://blog.investchile.gob.cl/bloges/inversion-beneo-planta-chile>

Investor Center Press Release (2019). Disponible en <https://investor.ashland.com/static-files/5c4d0828-365a-47cf-8d27-53a49df2090a>

ISAAA (2018). *Biotech Crops Continue to Help Meet the Challenges of Increased Population and Climate Change*. Disponible en <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/default.asp>

Lachman, J., Gómez-Roca, S. y López, A. (2022a). *Resultados del segundo relevamiento a empresas desarrolladoras de equipos e implementos para la agricultura de precisión*. Documento de Trabajo, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas, Instituto Interdisciplinario de Economía Política (IIEP-BAIRES). En prensa.

Lachman, J., Braude H., Monzón J., López S. y Gómez-Roca S. (2022b). *El potencial del agro 4.0 en Argentina. Diagnóstico y propuestas de políticas públicas para su promoción*. Documento N° 28. Serie de Documentos Argentina Productiva 2030. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

Lachman, J., López, A., Tinghitella, G., y Gómez-Roca, S. (2021). *Las Agtech en Argentina: desarrollo reciente, situación actual y perspectivas (N° 2021-57)*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas, Instituto Interdisciplinario de Economía Política (IIEP-BAIRES).

Lancet Countdown (2022). *Lancet Countdown Report 2022*. Disponible en <https://www.lancetcountdown.org/about-us/interact-with-the-key-findings/>.

Laxminarayan, R., Van Boeckel, T. y Teillant, A. (2015). *The Economic Costs of Withdrawing Antimicrobial Growth Promoters from the Livestock Sector*. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers - Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponible en www.oecd-ilibrary.org/content/workingpaper/5js64kst5wvl-en.

Lepczyński, A.; Herosimczyk, A.; Barszcz, M.; Ożgo, M.; Michałek, K.; Grabowska, M.; Tuśnio, A.; Szczerbińska, D.; Skomiał, J. (2021). Diet supplemented either with dried chicory root or chicory inulin significantly influence kidney and liver mineral content and antioxidative capacity in growing pigs. *Science Direct* 15(2), pp. 100-129. doi: 10.1016/j.animal.2020.100129.

Lódola A., Morra F., Picon N. (2019). Cadenas de Valor Agroalimentarias. Evolución en el nuevo contexto macroeconómico 2016/2019. Laboratorio de Desarrollo Sectorial y Territorial (LaDeSeT) • Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Lódola, A. y Picón, N. (2021). *Cadenas Agroalimentarias en Argentina: Volúmenes y precios en el siglo XXI*. Lab Doc N° 11, junio. Laboratorio de Desarrollo Sectorial y Territorial (LaDeSeT), Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Markets&Markets (2021). *Animal Antibiotics and Antimicrobials Market by Product (Tetracycline, Penicillin, Sulfonamide, Macrolide, Cephalosporin, Lincosamide), Mode of Delivery (Premixes, Oral Solution, Injection), Animal (Food producing & Companion) - Global Forecast to 2026*. Markets&Markets Report.

Mazzucato M. (2018). Mission-oriented innovation policies: Challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), pp. 803-815

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Argentina (2021). *200 millones de Toneladas de Cereales, Oleaginosas y Legumbres. Informe de fertilidad y nutrición de suelos*. Dipsonible en <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-fertilidad-nutricion-suelos-200mt-magyp.pdf>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2021). *Plan de la Ganadería Argentina 2022-2023*. Disponible en <https://magyp.gob.ar/ganar>.

Michael O. Okpara. Microbial Enzymes and Their Applications in Food Industry: A Mini-Review. *Advances in Enzyme Research*, Vol.10 No.1, 2022.

MINCyT (2021). Encuesta I+D del sector empresario. Actividades biotecnológicas en Argentina. Años 2013.2019. Dirección Nacional de Información Científica (DNIC), Subsecretaría de Estudios y Prospectiva, Secretaría de Planeamiento y Políticas, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación.

Mordor Industry Report (2021). Food Additives Market - Growth, Trends, Covid-19 impact, and forecasts (2022-2027).

Mordor Intelligence (2022a). Mercado de prebióticos para piensos: crecimiento, tendencias, impacto de COVID-19 y pronósticos (2022 - 2027). Disponible en <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-prebiotics-market-industry>

Mordor Intelligence (2022b). *Compound feed market: Growth, trends, Covid-19 impact, and forecasts (2022-2027)*. Industry Report, India.

Mordor Intelligence (2022c). *Seed Market: Growth, trends, Covid-19 impact, and forecasts (2022-2027)*. Industry Report. India. Disponible en <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/seeds-industry>.

Mordor Intelligence (2021a). Food enzymes market. Growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2022 - 2027). Industry Report., India.

Mordor Intelligence (2021b). South America food enzymes market: Growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2022 - 2027). Industry Report., India.

Mordor Intelligence (2021c). Animal genetics market: Growth, trends, Covid-19 impact, and forecasts (2022-2027). Industry Report, India.

Mordor Intelligence (2019a). Global Biological Control Market. Growth, Trends and Forecasts.

Mordor Intelligence (2019b). Global Biofungicide Market. Growth, Trends and Forecasts.

Mordor Intelligence (2019c). Global Biofertilizer Market. Growth, Trends and Forecasts.

Mordor Intelligence (2019d). Global Biopesticide Market. Growth, Trends and Forecasts.

Mordor Intelligence (2019e). Global Biostimulant Market. Growth, Trends and Forecasts

Novozyme (2021). Novozymes enters agricultural biocontrol with enzymes. Noticia. <https://www.novozymes.com/en/news/news-archive/2021/2/novozymes-enters-agricultural-biocontrol-with-enzymes>.

OECD-FAO (2022). *Agricultural Outlook 2022-2031*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>

OECD-FAO (2021). *Perspectivas Agrícolas 2021-2030*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>.

O'Donoghue. (2014). *The Effects of Premium Subsidies on Demand for Crop Insurance*. Economic Research Report No. (ERR-169) 33 pp. Economic Research Service (USDA).

O'Farrell, J., Pizzo, F., Freytes, C., Demeco, L. y Anesie, A.J. (2022). *Biotecnología agrícola en la Argentina. Productos, técnicas y capacidades productivas hacia una agricultura sustentable*. Documento de trabajo. Fundar.

Ogle, M. (2013). Riots, rage, resistance: a brief history of how antibiotics arrived on the farm. *Scientific American*, 3.

OMS (2016). Plan de Acción Mundial sobre la Resistencia a los Antimicrobianos. Organización Mundial de la Salud. Disponible en <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255204/9789243509761-spa.pdf>

Organización Mundial de Sanidad Animal (2018). *Iniciativas mundiales: Una Sola Salud*.

Organización Mundial de Sanidad Animal (2021). *Iniciativas mundiales: Una Sola Salud*.

Pecora, A. y Pérez Aguirreburualde, M. P. (2017). *Actualización en diarrea viral bovina, herramientas diagnósticas y estrategias de prevención*. Ediciones INTA.

Pellegrini, P. A. (2011). Dinámicas de innovación en biotecnología vegetal. Estudios de caso en empresas de Argentina y Francia. *Redes*, 17(32), 39-63.

PNUMA (2020). *Prevenir la próxima pandemia: Zoonosis y cómo romper la cadena de transmisión*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en <http://www.unep.org/es/resources/report/preventing-future-zoonotic-disease-outbreaks-protecting-environment-animals-and>

Quadrona, A. (2020). Biotecnología e innovación en Argentina. Una aproximación desde la industria semillera. *Argumentos. Revista de Crítica Social*, 22.

Rajalahti, R. (2021). *Agricultural Innovation in Developing East Asia*. Washington, DC: World Bank.

Reca, L.E. (2013). Aspectos de la fertilización química y de la producción de granos en el mundo y en Argentina 1961-2010. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.

ReTAA (2021). Informe N° 54: Balance de Nutrientes 2020/2021.

Rosch, S. (2021). *Federal Crop Insurance: A Primer*. Congressional Research Service. CRS Reports. Disponible en <https://sgp.fas.org/crs/misc/R46686.pdf>

Shallcross, L. J., Howard, S. J., Fowler, T., y Davies, S. C. (2015). Tackling the threat of antimicrobial resistance: from policy to sustainable action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1670), 20140082. doi: 10.1098/rstb.2014.0082.

Sonnino, A., y Ruane, J. (2013). La innovación en agricultura como herramienta de la política de seguridad alimentaria: el caso de las biotecnologías agrícolas. En E. Hodson y T. Zamudio (eds.) *Biotecnologías e innovación: el compromiso social de la ciencia*. (25-52). Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Starobinsky, G., Monzón, J., Di Marzo Broggi, E. y Braude, E. (2021). *Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina*. Documentos de Trabajo del CCE N° 17. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

Sztulwark, S. y Girard, M. (2020). La edición génica y la estructura económica de la agrobiotecnología mundial. Una mirada desde los países adoptantes. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS* 15.44.

Talamoni S. y Queipo G. (2022). *El mercado de los aditivos alimentarios: posibilidades de desarrollo de la industria nacional*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2022.

Teillant, A., Laxminarayan, R. y Boeckel, T (2015). *The Economic Costs of Withdrawing Antimicrobial Growth Promoters from the Livestock Sector*. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers - Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponible en www.oecd-ilibrary.org/content/workingpaper/5js64kst5wvl-en.

Trasande L., Shaffer R.M. y Sathyanarayana S. (2018). Food Additives and Child Health. *Pediatrics*, 142(2), e20181410. doi: 10.1542/peds.2018-1410.

Uffo, O. (2011). Producción animal y biotecnologías pecuarias: nuevos retos. *Revista Salud Animal* 33(1), pp. 8-14.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

Vaiknoras, K. (2021). *Drought-tolerant rice varieties benefit farmers even in non-drought years*. FIDA. Disponible en <https://www.ifad.org/ru/web/latest/-/les-vari%C3%A9s-de-riz-r%C3%A9sistantes-%C3%A0-la-s%C3%A9cheresse-un-atout-pour-les-agriculteurs-m%C3%A9me-les-ann%C3%A9es-sans-s%C3%A9cheresse>.

Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., Teillant, A. y Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), pp. 5649-5654. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>.

Van Boeckel, T. P., Glennon, E. E., Chen, D., Gilbert, M., Robinson, T. P., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Bonhoeffer, S. y Laxminarayan, R. (2017). Reducing antimicrobial use in food animals. *Science*, 357(6358), pp. 1350-1352. DOI: 10.1126/science.aao1495.

Van Boeckel, T. P., Pires, J., Silvester, R., Zhao, C., Song, J., Criscuolo, N. G., Gilbert, M., Bonhoeffer, S. ... y Laxminarayan, R. (2019). Global trends in antimicrobial resistance in animals in low-and middle-income countries. *Science*, 365(6459) DOI: 10.1126/science.aaw1944.

Van Esse, H. P., Reuber, T. L., y Van der Does, D. (2020). Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New Phytologist*, 225(1), 70-86. <https://doi.org/10.1111/nph.15967>

Vecdis. (2021). *La explosión del foodtech*. Disponible en <https://vecdis.es/2021/09/03/la-explosion-del-foodtech/>.

Wing, I. S., De Cian, E., y Mistry, M. N. (2021). Global vulnerability of crop yields to climate change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 109, 102462.

ARGENTINA PRODUCTIVA 2030



Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Industria
y Desarrollo Productivo