

Biotecnología agrícola en la Argentina

Productos, técnicas y capacidades productivas hacia una agricultura sustentable



Pensar los recursos naturales como motor de la innovación

Juan O'Farrell
Floencia Pizzo
Carlos Freytes
Lucía Demeco
Ana Julia Aneise

Biotecnología agrícola en la Argentina

Productos, técnicas y capacidades productivas hacia una agricultura sustentable

Juan O'Farrell
Florecia Pizzo
Carlos Freytes
Lucía Demeco
Ana Julia Aneise

Pensar los recursos naturales
como motor de la innovación



Índice

Biotecnología agrícola en la Argentina

Productos, técnicas y capacidades productivas hacia una agricultura sustentable

4	Introducción
5	¿Qué es la biotecnología agrícola?
6	Semillas
8	Bioinsumos
9	Capacidades productivas de las empresas biotecnológicas agrícolas en Argentina
14	Potencial comercial y desafíos de la innovación en semillas
16	Potencial de mercado de la biotecnología aplicada a las semillas
19	División de tareas entre firmas multinacionales y locales
19	Impacto en la productividad y la sustentabilidad
22	Reflexiones finales
23	Bibliografía

Introducción

La biotecnología agrícola tiene el potencial para mejorar la productividad y algunos aspectos de la sustentabilidad del modelo de producción agrícola y, al mismo tiempo, promover eslabonamientos desde la agricultura hacia actividades intensivas en conocimiento capaces de generar derrames hacia otros sectores, y así aportar a la diversificación de la estructura productiva. Además de este potencial, la biotecnología —como otros insumos agrícolas— enfrenta crecientes requerimientos de trazabilidad y sustentabilidad ambiental, tanto internacionales —a través de regulaciones ambientales y cambios en la demanda— como locales —desde la sociedad civil—. En este marco, creemos que el cumplimiento de estos objetivos demanda un proceso intensivo de construcción institucional y de diseño de políticas públicas. Este es el punto de partida y motivación de este primer documento y de un segundo, que es su continuación y complemento¹.

Las crecientes aplicaciones posibles de la biotecnología aumentan su potencial para aportar a una estrategia de diversificación productiva. Los avances científicos y tecnológicos en relación con el tratamiento de materiales, entre los que también están la nanotecnología y la bioelectrónica, expandieron la frontera tecnológica y abrieron la posibilidad de que los países sean más activos en el acceso, la producción y la transformación de los recursos naturales (Pérez, 2010; Andersen et al., 2015). Al tratarse de una tecnología de propósito general, la biotecnología tiene potencial para generar derrames tecnológicos y eslabonamientos laterales, en los cuales empresas, productos, tecnologías y conocimiento directamente asociados a la agricultura migran hacia otras actividades, como la alimentación, la salud, la energía y la industria textil, entre otras. Hay además una cuestión de *timing* a destacar: como señalan especialistas en la dinámica del cambio tecnológico, así como las tecnologías digitales dominan el paradigma tecnológico actual, algunas de ellas, como la biotecnología, van a ser las protagonistas del próximo, lo que abre una ventana de oportunidad para explotar las ventajas de “subirse” a un nuevo desarrollo tecnológico en etapas iniciales (Pérez, 2001 y 2010).

La justificación de una estrategia de diversificación productiva que se apalanque sobre los recursos naturales en general, y sobre la agricultura en particular, radica también en las importantes ventajas con las que cuenta el país para ello. Primero, por el volumen que tiene el sector agropecuario, para el cual la biotecnología constituye uno de los principales insumos². La Argentina se mantiene entre los principales productores y exportadores de productos agrícolas a nivel global (UNCTAD/FAO, 2017)³. Segundo, por la dotación de factores, especialmente en términos de clima y suelos, pero también en la genética de semillas. Tercero, por el dinamismo tecnológico y la calidad de la demanda de los agricultores, lo cual tiende a aumentar la competencia de los proveedores de insumos. La calidad de los eslabonamientos entre usuarios y productores de bienes y servicios es fundamental, porque la innovación emerge de la confrontación entre las necesidades de los usuarios y las oportunidades tecnológicas (Andersen et al., 2015). En otras palabras, a la hora de desarrollar e introducir nuevos productos y tecnologías no solo son relevantes las capacidades de la firma innovadora (proveedora), sino también la calidad de la demanda y las capacidades de los usuarios. Por último, como desarrollaremos extensamente en este trabajo, el país cuenta con ventajas dadas por una base no despreciable de empresas y capacidades productivas en biotecnología y, como demostramos en el segundo documento, con una base científica de amplia trayectoria y recursos en biología molecular, biotecnología y ciencias agrarias.

El documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se define el concepto de biotecnología agrícola, y se realiza una clasificación de las distintas técnicas biotecnológicas que se aplican



¹ “Pilares de la innovación de la biotecnología agrícola en Argentina” (O’Farrell et al., 2022) disponible en [Fundar](#).

² El sector agropecuario representa un 15,3% del valor agregado del Producto Bruto Interno (PBI), y un 11% de la ocupación, y casi el 60% de las exportaciones totales, repartido entre los productos primarios agrícolas (22,1%) y las manufacturas de origen agropecuario (MOA), compuestas mayormente por aceites, harinas y pellets de soja, maíz y trigo (37,2%).

³ Es el tercer productor de soja transgénica del mundo, después de Estados Unidos y Brasil, y junto con Brasil representa la mitad de la producción y exportación de soja del mundo, dos tercios de la exportación de *pellets* de soja y 60% de la exportación de aceite de soja (O’Farrell, 2020).

para la producción de distintos insumos agrícolas. En la sección 3, se realiza un relevamiento de las capacidades existentes utilizando los datos relevados en la Encuesta Nacional de Empresas de Biotecnología llevada adelante por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCyT, 2021). En particular, se analizan la cantidad de empresas biotecnológicas, su tamaño y orígenes de capitales, y sus aportes económicos en términos de empleo, ventas, e inversión en actividades de I+D⁴. Dada su importancia relativa en el sector analizado, se avanza en la sección 4 en el estudio de un insumo específico de la biotecnología agrícola, que es la producción de semillas. Específicamente, se analiza el tamaño del mercado global de semillas y biotecnología, la división de tareas entre empresas locales y multinacionales, y el impacto de la biotecnología en la productividad y sustentabilidad del agro en Argentina. Por último, en la sección 5, se desarrollan reflexiones finales sobre el estado actual de la biotecnología agrícola y su potencialidad a futuro.

¿Qué es la biotecnología agrícola?

El foco de este documento son las empresas de base biotecnológica que proveen de insumos al sector agrícola. Esto incluye a empresas que aplican y comercializan distintos productos y servicios biotecnológicos a la agricultura, orientados a mejorar el rendimiento y la sustentabilidad de los cultivos. Según la definición de biotecnología de la OCDE —la más extendida y la utilizada en las encuestas de biotecnología citadas en este documento⁵—, la biotecnología es “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de los mismos, con el objeto de alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimiento, bienes y servicios” (OCDE, 2006). Más allá de los límites disputados sobre las técnicas o productos de la biotecnología⁶, en este estudio nos enfocamos en dos tipos de productos que, ya sea por su protagonismo comercial (pasado o actual) o por su potencial, deberían ser objeto de políticas orientadas a mejorar la productividad y la sustentabilidad de la producción agrícola y a crear eslabonamientos en actividades intensivas asociadas al agro. Estos productos son las semillas modificadas mediante técnicas de la biotecnología moderna y los bioinsumos desarrollados con base en la utilización de micro y macroorganismos biológicos.

Técnicas, funciones y productos de la biotecnología agrícola

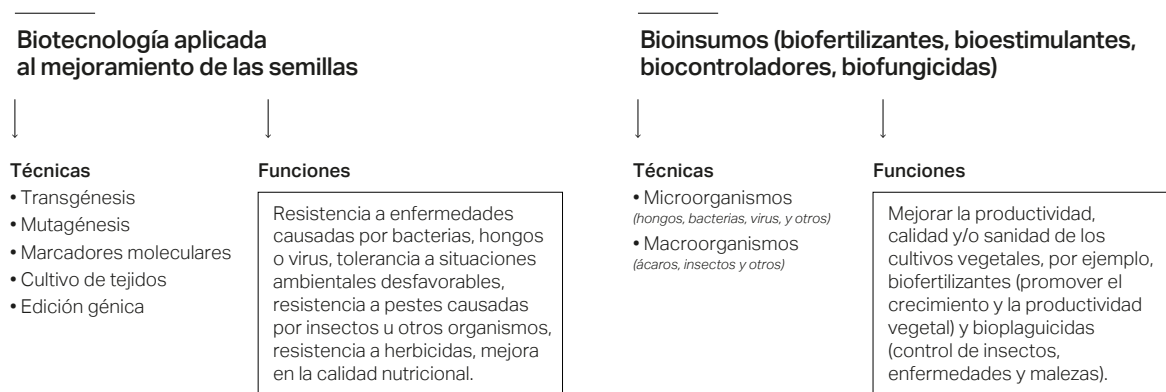


Figura 1

⁴ La información relevada en este documento analiza las empresas biotecnológicas del sector agrícola en función de la disponibilidad y desagregación de los datos provistos en la Encuesta de Empresas Biotecnológicas publicada en diciembre de 2021 en base a datos de 2019 (Mincyt, 2021). Cuando esto no es factible, el análisis es ejecutado en términos agregados para la biotecnología en su conjunto.

⁵ Además de las recomendadas por la OCDE (2005), la encuesta incorpora dos técnicas biotecnológicas adicionales, células madres y mutagénesis, en función de las especificidades locales que presenta la actividad empresarial.

⁶ Por ejemplo, desde algunas perspectivas, la utilización de macroorganismos para la elaboración de bioinsumos no constituye una forma de “biotecnología moderna”. En este sentido, una distinción que suele hacerse es entre la biotecnología entendida de manera amplia como la utilización de organismos vivos para obtener nuevos bienes, y la “biotecnología moderna”, que incorpora herramientas complementarias, de mayor base científica, precisión y sofisticación tecnológica, como por ejemplo la transgénesis, el cultivo de tejidos, los marcadores moleculares, la mutagénesis y la edición génica. Para una discusión de esta distinción aplicada a las empresas biotecnológicas argentinas, ver Bisang et al. (2011).

Semillas

Las diferentes técnicas de mejoramiento genético de las semillas juegan un papel fundamental en la productividad y sustentabilidad de la agricultura. Entre otras cosas, el mejoramiento vegetal puede resultar en mayores rendimientos de los cultivos, en un uso más eficiente de la tierra y el agua, y en mejoras en la calidad de los alimentos. Esto se puede lograr de varias maneras: por ejemplo, a través de la generación de resistencia a enfermedades causadas por bacterias, hongos o virus, el mejoramiento de la habilidad para tolerar situaciones ambientales desfavorables, y/o el incremento de la resistencia a plagas causadas por insectos u otros organismos, entre otros (Bisang et al, 2011). Algunas de estas funciones cobran especial interés ante los desafíos de la agricultura dadas las consecuencias actuales y futuras del cambio climático. De hecho, esto explica que uno de los nichos más activos de solicitud de patentes de los últimos años sea el desarrollo de tolerancia a situaciones de estrés hídrico en las semillas (Lowenstein, 2014).

Las diferentes técnicas de mejoramiento genético de las semillas juegan un papel fundamental en la productividad y sustentabilidad de la agricultura: el mejoramiento vegetal puede resultar en mayores rendimientos de los cultivos, en un uso más eficiente de la tierra y el agua, y en mejoras en la calidad de los alimentos.

La técnica con mayor impacto en la agricultura argentina es la transgénesis, una forma específica de la ingeniería genética. La ingeniería genética se utiliza para identificar secuencias de genes con ciertos rasgos deseables y transferirlos en las variedades de plantas existentes. Se la llama transgénesis cuando los genes son de otras especies. Hasta la fecha, el desarrollo de semillas transgénicas con impacto en el mercado se centró en rasgos como la resistencia a herbicidas e insectos. En Argentina, los cultivos en los cuales se avanzó más rápido son la soja, el maíz y el algodón. El caso más conocido en el país es el de la semilla de soja RR, la cual contiene un gen con resistencia al herbicida RoundUp Ready (RR), cuyo principio activo es el glifosato. Como analizaremos a continuación, dados los elevados costos regulatorios, de aprobación y de patentamiento de eventos transgénicos, el rubro está concentrado en pocas empresas multinacionales, la mayoría de ellas provenientes del sector químico.

Sin embargo, existen otras técnicas biotecnológicas para el mejoramiento de semillas utilizadas incluso por empresas locales, como la mutagénesis, que involucra forzar una variación genética dentro una misma especie en la búsqueda de rasgos deseados. Un problema de esta técnica es que es altamente inespecífica y suele estar asociada a largos y complejos procesos de selección del fenotipo deseado. Tanto la transgénesis como la mutagénesis y el mejoramiento cruzado⁷ utilizan herramientas de la biología molecular, como por ejemplo los marcadores moleculares (Marín y Stubrin, 2017). Podemos entender entonces a las semillas transgénicas como un "ensamble" de distintos componentes producidos por diferentes técnicas: un evento transgénico, un número de otras características —resistencias a nuevas enfermedades, indeterminación, duración del ciclo de madurez— logradas por tecnologías como el cruzamiento asistido por herramientas de la biotecnología o mutagénesis, y todas las otras características incluidas en las semillas que derivan de años de mejoras del germoplasma por parte de los agricultores, las empresas y las instituciones públicas (Marín y Stubrin, 2017).

La biotecnología está evolucionando rápidamente y en los últimos años se realizaron avances importantes en la investigación y desarrollo de nuevas técnicas, entre las cuales se destaca la edición génica. La edición génica es una nueva herramienta de la ingeniería genética con múltiples aplicaciones en los mismos campos de la transgénesis, pero con mayor simplicidad, seguridad y menor

⁷ El mejoramiento cruzado consiste en elegir, de la variación genética existente, las plantas individuales que contienen rasgos deseados, cruzarlas, y luego seleccionar las características buscadas (Marín y Stubrin, 2017).

costo (Jouve de la Barreda, 2020). Permite editar, modificar o eliminar secuencias específicas del ADN para alterar la expresión de genes específicos (silenciarlos o sobre-expresarlos) o reemplazar alelos (introduciendo alelos favorables). Esto constituye un avance significativo en las tecnologías de modificación: se estima que puede reducir drásticamente los tiempos del mejoramiento y producir una ventaja radical en la generación de animales y plantas mejoradas, debido a su menor costo y mayor accesibilidad (Feingold et al., 2018)⁸.

Desde su descubrimiento, la edición génica —mediante el sistema CRISPR/Cas9⁹— se ha aplicado en un número creciente de especies vegetales de interés agronómico, como el arroz, tomate, maíz, trigo, cebada, papa y soja, es decir, los principales cereales y oleaginosas, hortalizas y cultivos industriales (Alfonso Lozano, 2019). Las investigaciones lograron la modificación de diversos rasgos de interés agrícola como la resistencia a herbicidas, la tolerancia a enfermedades y sequía y la modificación de la composición química y/o nutricional de los productos de cosecha. En este último aspecto, es interesante remarcar que hay una tendencia al mejoramiento de rasgos fenotípicos en beneficio del consumidor (calidad nutricional, composición química), el procesamiento de la materia prima (calidad industrial), la sostenibilidad de los sistemas a través de una mayor eficiencia en el uso de recursos (mayor tolerancia a estrés biótico y abiótico) y un menor uso de agroquímicos (Feingold et al., 2018). Los avances de la edición génica se encuentran en la etapa de investigación y desarrollo, con un crecimiento exponencial en publicaciones científicas, pero sin impacto hasta ahora a nivel comercial. En 2010, cuando era aún incipiente, se contabilizaron 52 artículos en SCOPUS. En 2018, luego de una expansión muy importante a partir de 2013, casi 2000 documentos estaban relacionados con esta temática (Albornoz, 2020).

En el mundo y en la región, la edición génica mediada por CRISPR/Cas9 ha sido adoptada rápidamente y se encuentran en desarrollo numerosos proyectos en cultivos de importancia productiva. Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, los institutos de tecnología agrícola de la Argentina, Brasil, Uruguay y Chile están trabajando en la eficiencia del uso del agua y la resistencia a la sequía en soja, papa, arroz, frijol, sorgo, maíz y pasturas, así como en el incremento de la resistencia genética de la soja, trigo, arroz y especies forrajeras frente a enfermedades fúngicas, desarrollos que pueden impactar positivamente en una disminución del uso de agroquímicos, que es una preocupación de las comunidades urbanas y periurbanas. En adición a estos ejemplos, nuestra región también posee grupos de investigación con trabajos en especies frutales, papa, soja, caña de azúcar, alfalfa y setaria (Massa, González y Feingold, 2020).

El potencial impacto comercial de la edición génica, así como las posibilidades de empresas locales de adoptarla, va a depender en gran parte de cómo evolucione el marco regulatorio. En la actualidad, el registro y la liberación de variedades obtenidas a partir de estos métodos es similar al de las variedades generadas por el mejoramiento tradicional, lo que hace que, una vez desarrollado el material, las variedades que portan mutaciones útiles puedan salir al mercado rápida y económicamente (Massa, González y Feingold, 2020).

⁸ Una ventaja respecto a las técnicas mencionadas anteriormente es su alta especificidad. Así, la edición génica permite la mutación de regiones específicas del genoma a través de una nucleasa específica de ADN —orientada por una guía proteica (ZFN, TALEN) o de ARN (CRISPR)— que provoca cortes en una doble cadena. Estos cortes son reparados por la propia maquinaria celular con la posibilidad de introducir errores (delecciones o inserciones) que alteran regiones promotoras o el marco de lectura, provocando el virtual “apagado” del gen en cuestión. Alternativamente, es también factible la eliminación de toda la secuencia codificante de un gen (Feingold et al., 2018).

⁹ El método CRISPR/Cas9 es considerado el de mayor potencialidad por su facilidad de aplicación. En su origen, fue identificado en bacterias como un sistema inmune adaptativo capaz de eliminar el ADN procedente de infecciones virales. Luego se demostró que dicho sistema inmune se basaba en la existencia de una nucleasa, Cas9, guiada por un ARN capaz de reconocer una secuencia específica flanqueada por una serie de secuencias cortas palindrómicas repetidas regularmente o “CRISPR”. Posteriormente, se probó que esa metodología podía editar cualquier gen de cualquier organismo mediante el diseño de un ARN de guiado adecuado.

Bioinsumos

Los bioinsumos utilizados en la actividad agrícola son productos biológicos producidos a partir de microorganismos o macroorganismos, extractos o compuestos bioactivos derivados de ellos, que tienen la capacidad de mejorar la productividad, calidad y/o sanidad de los cultivos vegetales¹⁰.

Los bioinsumos pueden ser clasificados en función de su origen o de su efecto sobre la planta. En relación con su origen, se pueden distinguir los de origen microbiano —incluyendo hongos, bacterias, virus y otros—, y los producidos con base en macroorganismos, como ácaros e insectos benéficos (esto es, predadores y parasitoides). A modo ilustrativo, un ejemplo de bioinsumo realizado sobre la base de macroorganismos es el bioplaguicida producido a partir de la cría masiva y liberación de la mosca de la fruta estéril utilizando la técnica del insecto estéril¹¹, el cual es aplicado en cultivos de peras y manzanas para el control de plagas tales como la carpocapsa. En cuanto a su efecto sobre la planta, los bioinsumos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: biofertilizantes y bioplaguicidas. Los biofertilizantes tienen por objeto promover el crecimiento y la productividad vegetal, y consisten en bioestimulantes del crecimiento, inoculantes microbianos, bioestabilizadores, incluyendo también en este grupo a los abonos orgánicos, humus y guano. Los bioplaguicidas —también conocidos como biocontroladores— se utilizan para el control de plagas (insectos, enfermedades y malezas) e incluyen a los microbiocidas, los bioinductores de la defensa vegetal contra plagas y enfermedades, y los biorepelentes.

Los bioinsumos son considerados más sustentables que los agroquímicos convencionales por ser menos invasivos de la biodiversidad natural, corresponderse con servicios ecosistémicos, hacer más eficiente la utilización de recursos para la producción y, en algunos casos, propiciar la fijación de carbono en el suelo y retención de nutrientes. En un marco de creciente demanda mundial por productos más amigables para los ecosistemas y seguros para la salud, los bioinsumos tienen gran potencialidad para officiar de sustitutos y/o complementos de los insumos de síntesis química.

Los bioinsumos son considerados más sustentables que los agroquímicos convencionales por ser menos invasivos de la biodiversidad natural, corresponderse con servicios ecosistémicos, hacer más eficiente la utilización de recursos para la producción y, en algunos casos, propiciar la fijación de carbono en el suelo y retención de nutrientes.

En consonancia con estos beneficios ambientales, existe una serie de factores a nivel global que impulsan y justifican la tendencia a la creciente utilización de bioinsumos: el incremento de la producción orgánica, el aumento en el costo de la aplicación de los agroquímicos, el desarrollo de resistencia de los insectos frente a estos químicos, y una creciente conciencia sobre los riesgos laborales causados por los agroquímicos, entre otros (Lecuona, 2020).

Si consideramos el contexto actual y las proyecciones de mercado, el desarrollo de los bioinsumos en la Argentina tiene el potencial de impactar positivamente en el aumento de la industrialización nacional, el agregado de valor en origen, y el cuidado del ambiente. Representa, de esta manera, una vía latente para el desarrollo de una agricultura sustentable en nuestro país que tiene por otra parte potencial de desarrollo a nivel federal, y no solo en la zona núcleo. En el Norte argentino, por ejemplo, existen capacidades en ciencias básicas y aplicadas para el desarrollo de bioinsumos, con una variedad de sistemas productivos, cultivos y plagas que pueden hacer factible el desarrollo de biofertilizantes, bioinsecticidas, biofunguicidas, entre otros (Bocchetto et al., 2021).



¹⁰ [Resolución MinAgro 29-2016.](#)

¹¹ El método consiste en la cría masiva de insectos de una especie a los que se esteriliza para que luego, al ser liberados en la naturaleza y en gran número, puedan competir y aparearse con las hembras silvestres de su especie.

Capacidades productivas de las empresas biotecnológicas agrícolas en Argentina

La biotecnología agrícola juega un rol destacable en el desarrollo productivo de la Argentina, que se refleja en la existencia de un número significativo de empresas de biotecnología. Sin embargo, se observa que las ventas están concentradas en pocas firmas multinacionales y que las empresas locales encuentran significativos obstáculos a la hora de generar innovaciones y ganar protagonismo en el mercado de insumos.

Una dificultad a la hora de dimensionar el peso de la biotecnología es que, al tratarse de un conjunto de técnicas y no de un sector económico, no es posible recurrir a las fuentes de datos sectoriales tradicionales. La principal fuente utilizada aquí es, entonces, la Encuesta Nacional de Empresas de Biotecnología, llevada adelante por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, con datos de 2019 (MinCyT, 2021). Estos datos surgen de la Encuesta sobre I+D del Sector Empresario Argentino (ESID) la cual cada dos años incluye un módulo específico de actividades de biotecnología en el formulario¹². Una limitación adicional radica en que esta metodología difiere de la utilizada por las encuestas anteriores, que provienen de un padrón de empresas de biotecnología conformado en 2008 y actualizado en sucesivas rondas —hasta la de 2015— mediante mecanismos de imputación de la información (los cuales resultan en una muestra más grande de empresas).

Más allá de las diferentes metodologías, se puede afirmar que Argentina está posicionada entre los 15 primeros países del mundo en número de empresas de biotecnología, con una cantidad de firmas similar a la existente en países cuyo producto por habitante supera considerablemente al argentino. En el país se registran 139 empresas de biotecnología, según los datos publicados en la última Encuesta Nacional de Empresas de Biotecnología (MinCyT, 2021). Las encuestas anteriores reportaron una cantidad de empresas significativamente mayor: 178 en el año 2013 y 201 en el año 2015. Sin embargo, la reducción en la cantidad de firmas responde a los cambios metodológicos mencionados y no refleja la evolución real del sector¹³. El informe de la última encuesta aclara que la significativa variación en la cantidad de empresas radica en que “en los operativos 2013 y 2015 se incluyen firmas que, sin haber sido captadas a través del operativo de relevamiento, fueron consideradas como biotecnológicas y analizadas a través de mecanismos de imputación de la información” (MinCyT, 2021)¹⁴. Más allá de estas diferencias metodológicas, un indicador del dinamismo del sector está dado por la cantidad de *start-ups* que se incorporaron en los últimos años a la Cámara Argentina de Biotecnología (CAB), la cual ya cuenta con 63 *start-ups* asociadas¹⁵. Otra muestra del dinamismo reciente de la actividad es que la mayor parte de las empresas son jóvenes: la mitad fueron creadas a partir del año 2000, y un 16 % (22 empresas) nacieron después de 2015 (MinCyT, 2021).

Si bien este conjunto de empresas ubica a la Argentina en un lugar destacado a nivel internacional (posición 13°), el tamaño del sector biotecnológico sigue siendo pequeño en términos comparados. Los cuatro líderes mundiales en cuanto a cantidad de empresas biotecnológicas son Estados Unidos, que cuenta con un total de 2470 firmas, Francia con 2265, España con 1198, y Corea con 966 (OCDE, 2021)¹⁶.

¹² Actualmente, la ESID releva 2000 empresas por año, incluyendo la totalidad de las firmas que realizan I+D ya identificadas (Directorio) y otras empresas que probablemente estuvieron realizando actividades de I+D en el período de referencia (Potenciales). No se basa en un muestreo aleatorio del sector empresario, sino que se dirige a empresas de las que se tiene alguna evidencia o indicio de que realizan I+D, apuntando a constituirse en un censo de las empresas que realizan estas actividades en Argentina.

¹³ Por estas diferencias metodológicas decidimos no incluir la evolución entre 2013 y 2019, y reportar solo la de 2017 y 2019, ambas provenientes de las respuestas a la ESID.

¹⁴ De acuerdo con los responsables de la última encuesta, los mecanismos de imputación utilizados hasta 2015 incorporan una cantidad de empresas pequeñas y medianas productoras de inoculantes, lo cual tiene un efecto muy significativo en la cantidad de empresas pero no así en los niveles de ventas o de inversión.

¹⁵ Datos de la Cámara Argentina de Biotecnología (CAB) a abril del 2022.

¹⁶ Cabe destacar que este ranking está basado en el conjunto de países para los cuales la OCDE recolecta información, y no en la totalidad de países que cuentan con firmas biotecnológicas en el mundo.

Cantidad de empresas biotecnológicas por país (2019)

Ranking	País	Cantidad de empresas biotecnológicas
1	Estados Unidos	2470
2	Francia	2265
3	España	1198
4	Corea	966
5	Alemania	844
6	Italia	751
7	Suiza	345
8	Bélgica	327
9	Canadá	320
10	Noruega	305
11	Portugal	222
12	Polonia	181
13	Argentina	139
14	Irlanda	136
15	República Checa	124
16	Dinamarca	119
17	Lituana	104
18	Estonia	37
19	Eslovenia	27
20	Latvia	7

Tabla 1

Fuente: elaboración propia sobre la base de OCDE (2021) y a la Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021).

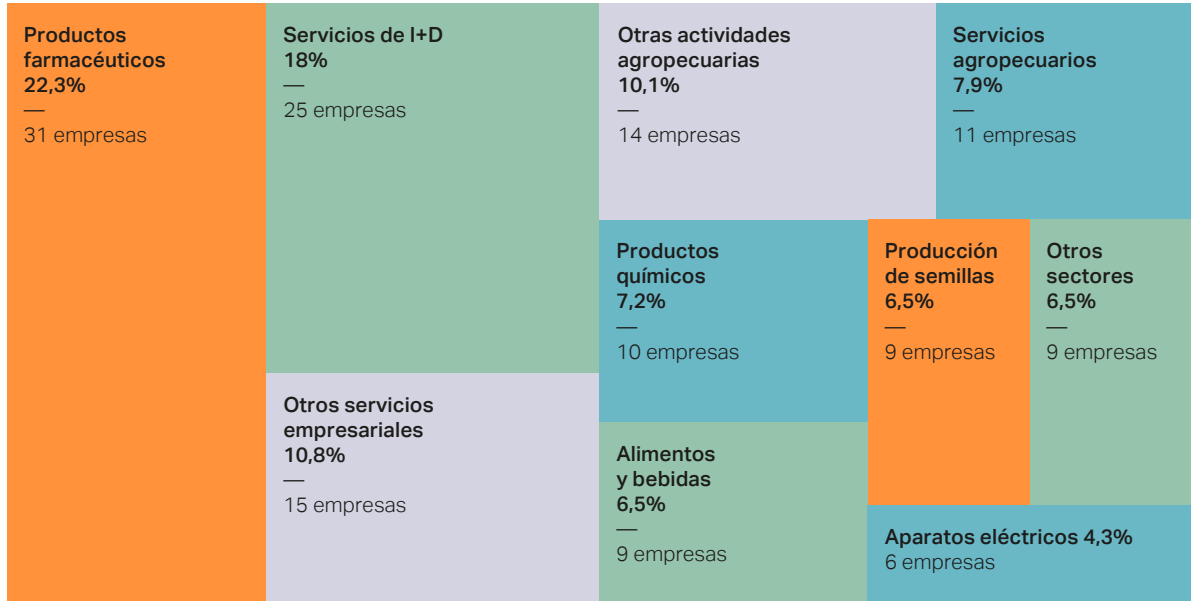
De las 139 empresas de biotecnología argentinas relevadas en [la Encuesta nacional de empresas biotecnológicas \(Mincyt 2021\)](#), 34 se dedican al sector agropecuario¹⁷: nueve de ellas se dedican a la producción de semillas, 11 a la provisión de servicios agropecuarios y 14 a otras actividades agropecuarias, lo que representa, en su conjunto, un 24,4% de la totalidad de firmas biotecnológicas. La actividad con mayor cantidad de empresas que le sigue a la agropecuaria es la producción de insumos farmacéuticos (22,3%) y servicios de I+D (18%)¹⁸.

¹⁷ Cabe remarcar que el sector pecuario excede al objeto de estudio de este documento, que es el sector agrícola. Se incluye esta desagregación ya que es la que presenta la última Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021).

¹⁸ La distribución sectorial de las empresas de biotecnología es similar a la registrada en la encuesta publicada en 2016. Sin embargo, como la desagregación y las categorías utilizadas difieren no se puede reconstruir la evolución de la distribución sectorial. Según la Encuesta de Biotecnología Agrícola (MinCyT, 2016), en el año 2014 existían 56 empresas biotecnológicas agrícolas (28% del total) según las siguientes categorías: micropropagación vegetal (6%), producción de semillas (9%) e inoculantes (13%).

Empresas biotecnológicas por sector (%) (2019)

Gráfico 1

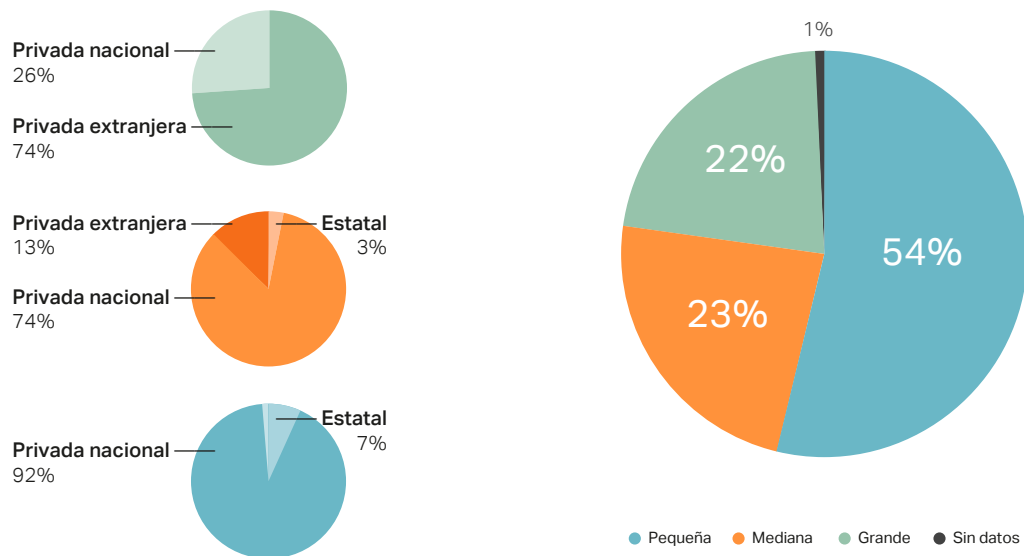


Fuente: elaboración propia sobre la base de la Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021).

En términos de su tamaño, las evaluaciones señalan que las firmas capaces de competir internacionalmente son limitadas (Anlló et al., 2016): aproximadamente el 54% de las empresas biotecnológicas son pequeñas, mientras que solo un 23% y 22% de ellas presenta un tamaño mediano y grande, respectivamente¹⁹. A su vez, en lo que refiere al origen del capital, de la totalidad de empresas encuestadas en Argentina, un 86% de las empresas biotecnológicas encuestadas son privadas nacionales, un 9% son privadas extranjeras, y un 4% estatales²⁰. Esta descomposición de empresas en función del origen de su capital puede desagregarse a nivel tamaño de firma (Gráfico 2).

Empresas biotecnológicas por tamaño y origen de capitales (2019)

Gráfico 2



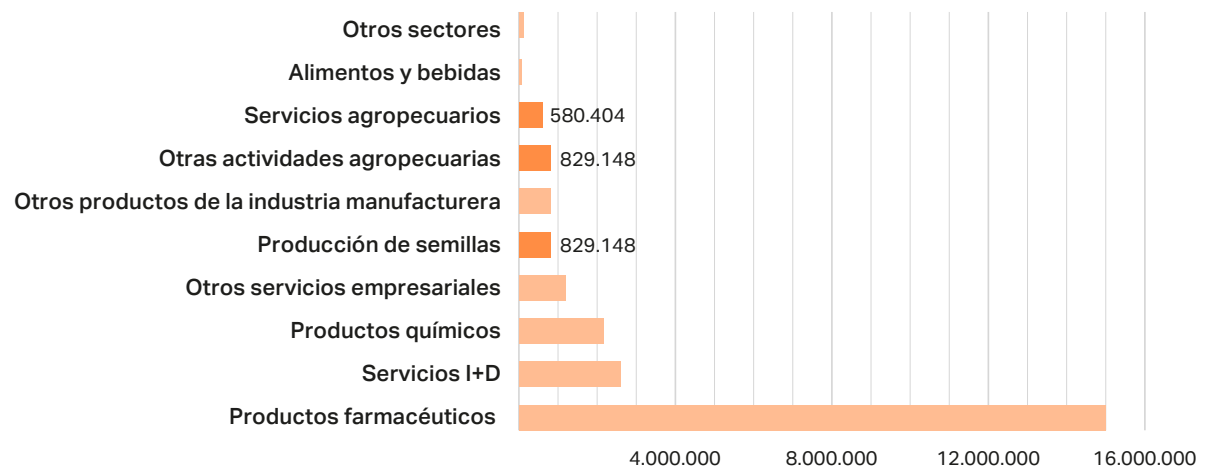
Fuente: elaboración propia sobre la base de la Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021).

¹⁹ El 1% restante corresponde a datos faltantes.
²⁰ El 1% restante corresponde a datos faltantes.

La inversión privada en investigación y desarrollo es uno de los principales factores explicativos de la capacidad de innovación de las empresas, especialmente en actividades intensivas en conocimiento como es la biotecnología. Como puede observarse en el Gráfico 3, la inversión privada en I+D es liderada por la industria farmacéutica²¹. Por su parte, la inversión en I+D en biotecnología orientada a actividades agropecuarias también mostró niveles relevantes, alcanzando en 2019 el 9% de la inversión total. La producción de semillas y otras actividades agropecuarias registraron cada una USD 829.148 de inversión privada en I+D y los servicios agropecuarios unos USD 580.404. Pese a que el país cuenta con una base importante de capacidades de I+D de las empresas de biotecnología producto de su temprano desarrollo en el país²², los montos de I+D invertidos en biotecnología agrícola están lejos de los niveles globales. En lo que respecta al empleo, en el año 2019 se registraron 709 puestos de trabajo dedicados exclusivamente a actividades biotecnológicas de I+D, el 75% de los cuales trabaja en empresas de capital nacional (530 puestos de trabajo).

Inversión en I+D en dólares según sector (2019)²³

Gráfico 3



Fuente: elaboración propia sobre la base de la Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021) y el Banco Central de la República Argentina (BCRA).

A su vez, en lo referido a las ventas, las empresas biotecnológicas que realizan actividades de I+D en el país alcanzaron en 2019 los 770,2 millones de dólares en ventas de bienes y servicios biotecnológicos. Sin embargo, la participación del sector agrícola es relativamente pequeña en comparación al resto de los sectores: en total, representan un 0,9% de la totalidad de ventas biotecnológicas²⁴. Específicamente, la producción de semillas alcanzó un total de 4,5 millones de dólares, otras actividades agropecuarias USD 2,4 millones, y servicios agropecuarios USD 269,5 mil. En contraposición, la industria farmacéutica alcanzó un total de ventas de 538,4 millones de dólares, lo que representa un 70% de la totalidad de ventas biotecnológicas.

²¹ En la encuesta realizada con datos de 2014, la industria semillera era la que lideraba el ranking en inversión privada en I+D, triplicando el valor invertido en salud humana y multiplicando por 22 lo invertido en insumos industriales. Los valores de inversión en I+D en biotecnología orientada a actividades agrícolas, sin embargo, cayeron considerablemente desde el 2014 a la actualidad. Esto, en parte, puede ser explicado por la estrategia de grandes empresas multinacionales semilleras y productoras de agroquímicos que, desde 2017, dejaron de informar actividades de I+D biotecnológico en el país (MinCyT, 2021).

²² A diferencia de lo ocurrido en otras actividades, la Argentina ingresó tempranamente al conjunto de países líderes en desarrollos biotecnológicos con la producción de enzimas microbianas, semillas transgénicas de soja y maíz, la micropropagación de cultivos, los reactivos de diagnóstico y el interferón, que fueron los primeros productos lanzados al mercado por empresas locales (Anlló et al, 2016).

²³ Los valores se obtuvieron como el cociente entre los montos publicados por la encuesta en pesos corrientes y el tipo de cambio nominal anual, calculado como el promedio de las cotizaciones diarias publicadas por el BCRA (Comunicación "A" 3500).

²⁴ La llamativa escasa participación del sector agrícola en las ventas biotecnológicas totales en comparación a los datos de 2014 se explica porque un conjunto de empresas multinacionales productoras de semillas y agroquímicos dejaron de reportar actividades biotecnológicas y, por tanto, no participaron en la encuesta. Se trata de empresas que controlan la mayor parte del mercado local de semillas, con la excepción de las semillas de soja. De hecho, con esas empresas participando de la encuesta en 2014, el sector agrícola semillero tenía una participación del 70,54% en las ventas biotecnológicas totales.

Ventas de bienes y servicios biotecnológicos por sector (2019)

Tabla 2

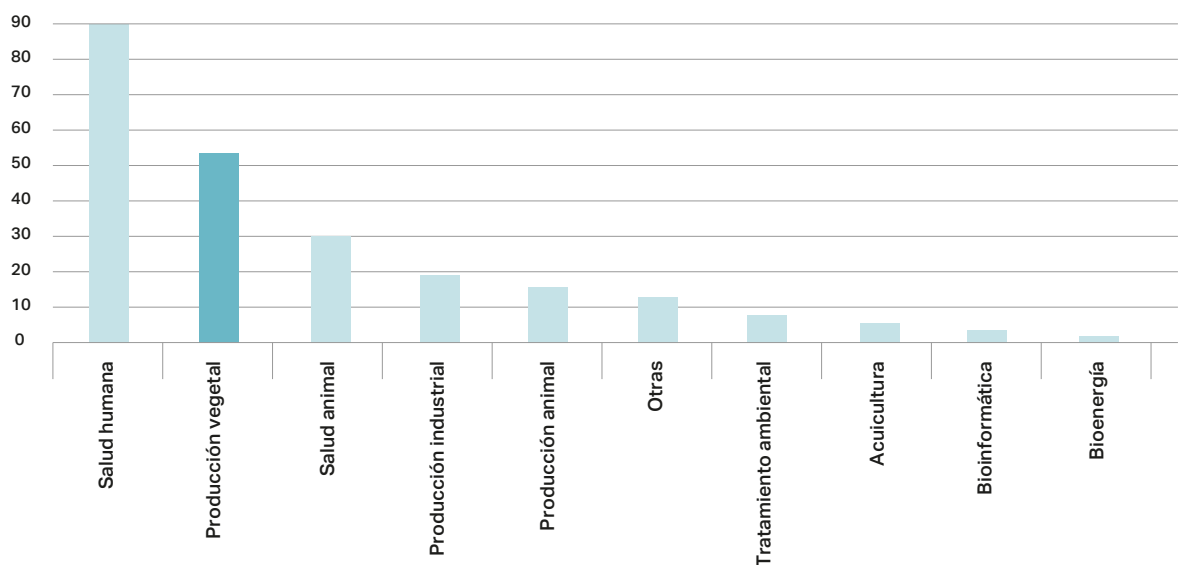
Sector	Ventas (millones de USD)	Participación (en %)
Servicios agropecuarios	0,3	0,0
Otros sectores	0,4	0,0
Otras actividades agropecuarias	2,4	0,3
Servicios I+D	3,2	0,4
Producción de semillas	4,5	0,6
Otros servicios empresariales	11,0	1,4
Productos químicos	15,2	2,0
Otros productos de la industria manufacturera	36,0	4,7
Alimentos y bebidas	158,9	20,6
Productos farmacéuticos	538,4	69,9
Total	770,2	100

Fuente: elaboración propia sobre la base de la Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021) y BCRA.

Adicionalmente, para evaluar la participación de los distintos sectores en las inversiones en I+D referidas anteriormente, es factible analizar la cantidad de proyectos en I+D ejecutados por área de aplicación. En este aspecto, el sector agrícola tiene un papel muy activo: el área de aplicación de producción vegetal acumula una totalidad de 52 proyectos, lo que representa una participación del 22,3%. Esto posiciona a la producción vegetal como la segunda área de aplicación de proyectos en I+D del total de empresas biotecnológicas. El área de aplicación con mayor cantidad de proyectos es la farmacéutica, con una participación del 38,6%.

Cantidad de proyectos en I+D por área de aplicación (2019)

Gráfico 4



Potencial comercial y desafíos de la innovación en semillas



Fuente: elaboración propia sobre la base de la Encuesta Nacional de Empresas Biotecnológicas (MinCyT, 2021)

Potencial comercial y desafíos de la innovación en semillas

El sector semillero es uno de los más importantes de la biotecnología agrícola, tanto por el nivel de ventas como por su impacto productivo y de comercio exterior. En esta última sección nos focalizamos entonces en tres dimensiones clave para entender los desafíos de la biotecnología aplicada a las semillas: (i) el potencial comercial local y exportador para el cual aportamos evidencia sobre el volumen de los mercados; (ii) la división de tareas entre empresas multinacionales y locales en el desarrollo de biotecnología y semillas; y (iii) el impacto de la introducción de la transgénesis en términos de productividad y sustentabilidad de la agricultura.

Potencial de mercado de la biotecnología aplicada a las semillas

La justificación de una política que promueva el desarrollo de empresas locales de biotecnología radica, en parte, en el potencial que tiene el mercado de semillas biotecnológicas tanto a nivel nacional como internacional. La promoción de esta actividad podría ayudar a diversificar la matriz exportadora, sumando volumen a las ventas externas de un producto intensivo en conocimiento, como son las semillas en la actualidad.

La justificación de una política que promueva el desarrollo de empresas locales de biotecnología radica en el potencial que tiene el mercado de semillas biotecnológicas: la promoción de esta actividad podría ayudar a diversificar la matriz exportadora, sumando volumen a las ventas externas de un producto intensivo en conocimiento.

En primer lugar, el mercado global de semillas muestra un dinamismo y expansión creciente. Si incluimos a las semillas genéticamente modificadas y a las convencionales, además del mercado de eventos transgénicos, este llegó a un total de ventas de 52 mil millones de dólares en 2014, con protagonismo de semillas de maíz (20 mil millones de dólares) y de soja (7 mil millones), y se estima que en 2019 el total ascendió a 70 mil millones de dólares (Deconinck, 2020).

Estos datos muestran que existe una oportunidad significativa en términos de mercados de exportación que podría ser aprovechado por empresas locales. Sin embargo, a pesar de tener un sector semillero con una larga trayectoria, su inserción internacional es todavía moderada, comparado con otros países y con otros sectores, y la mayor proporción de las semillas producidas en Argentina es destinada al mercado interno. En el año 2019, el país exportó un total de 62.065 toneladas de semillas destinadas a la siembra por un monto de 233 millones de dólares, lo que significó una participación minúscula dentro del comercio mundial (0,9% del volumen y 1,6% de las ventas)²⁵.

Además, la biotecnología juega un rol cada vez más importante en este mercado. Según [un informe de ISAAA](#), en 2018 el 78% del área total cultivada de soja en el mundo utilizaba semillas genéticamente modificadas (95,9 de 123,5 millones de hectáreas), mientras que este porcentaje era del 30% para el maíz (58,9 de 197,2 millones de hectáreas), 76% para el algodón (24,9 de 32,9 millones de hectáreas cultivadas) y 29% para la canola (10,1 de 34,7 millones de hectáreas). La soja transgénica constituye el 50% del área total cultivada con semillas genéticamente modificadas, es producida en nueve países (Estados Unidos, Brasil, Argentina, Paraguay, Canadá, Uruguay, Bolivia, Sudáfrica y Chile) y

²⁵ International Seed Federation. Seed statistics: "Exports of seed for sowing by country - Calendar year 2019". Disponible en: <https://worldseed.org/resources/seed-statistics/>

su importación está aprobada en 18 países. El maíz transgénico, por su parte, es producido en catorce países (entre ellos Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá y Paraguay) y está aprobado para importación en 15 países. Con alrededor de 24 millones de hectáreas sembradas, Argentina está posicionada como el tercer productor mundial de cultivos transgénicos, después de Estados Unidos y Brasil (ArgenBio, 2022).

Principales países productores de cultivos transgénicos (2019)

Tabla 3

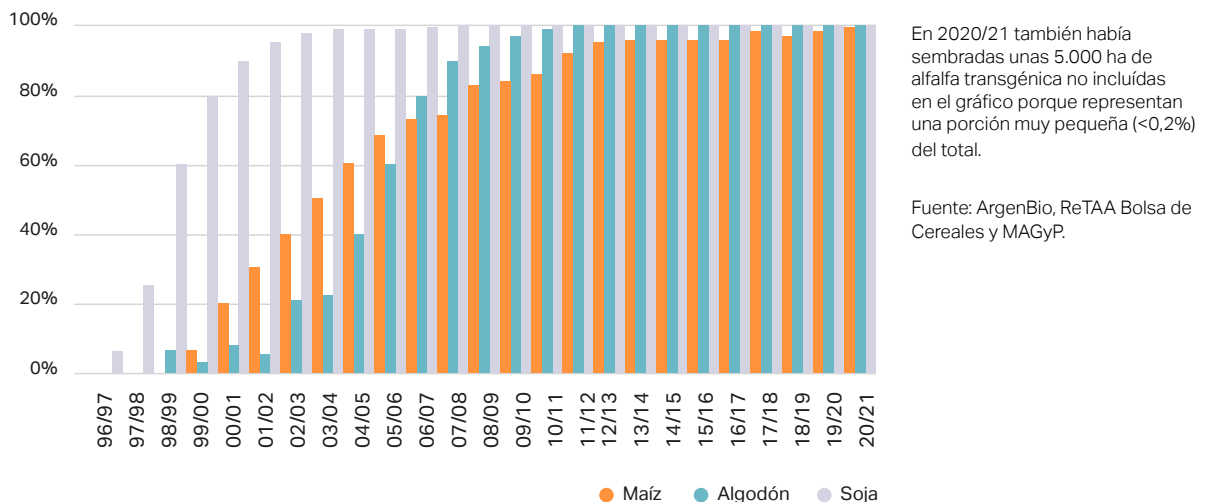
País	Área (millones de ha.)	Principales cultivos transgénicos
Estados Unidos	71,5	Maíz, soja, algodón, alfalfa, canola, remolacha azucarera, papa, papaya, calabacín amarillo, manzana.
Brasil	52,8	Soja, maíz, algodón, caña de azucar.
Argentina	24	Soja, maíz, algodón, alfalfa.

Fuente: Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio), 2022.

En segundo lugar, dadas sus dimensiones y dinamismo, el mercado local representa una oportunidad para el desarrollo de empresas locales. Los principales cultivos transgénicos sembrados en Argentina son soja, maíz y algodón, con distintas combinaciones de tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos. Desde hace más de una década, prácticamente el 100% de la superficie de soja en Argentina se siembra con variedades transgénicas tolerantes a herbicidas. En el norte del país, donde la presión de insectos plaga es muy elevada, una proporción importante de las variedades de soja sembradas combinan la tolerancia a herbicidas con la resistencia a insectos. Para el caso del maíz, más del 97% de la superficie se siembra con maíz transgénico. La mayoría corresponde a híbridos con características combinadas de tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos y una fracción muy menor a híbridos con tolerancia a herbicida o resistencia a insectos por separado. En algodón, prácticamente el 100% de la superficie sembrada corresponde a variedades transgénicas con características combinadas de resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas (ArgenBio, 2022).

Argentina: evolución de la superficie de cultivos transgénicos (como % de total de cada cultivo)

Gráfico 5



División de tareas entre firmas multinacionales y locales

A pesar de algunas excepciones importantes de empresas locales que lograron dominar algunos segmentos e incluso internacionalizarse, tanto a nivel nacional como internacional el mercado de semillas y de biotecnología aplicada a semillas es controlado mayormente por empresas multinacionales. Más específicamente, el proceso de innovación y desarrollo de semillas en Argentina se caracteriza por una clara división de trabajo entre firmas multinacionales y locales, con un claro protagonismo de las primeras en el desarrollo y comercialización de eventos transgénicos patentables, en particular, y en la biotecnología, en general²⁶.

A pesar de algunas excepciones importantes de empresas locales que lograron dominar algunos segmentos e incluso internacionalizarse, tanto a nivel nacional como internacional el mercado de semillas y de biotecnología aplicada a semillas es controlado mayormente por empresas multinacionales.

La mayoría de estas multinacionales tiene sus orígenes en la industria farmacéutica, química o alimentaria e ingresaron en el sector de semillas a partir de la adquisición de firmas más pequeñas. Desde el año 2015, la concentración de esta actividad se profundizó a partir de fusiones y adquisiciones a nivel global (Clapp, 2018; INASE, 2019)²⁷. El resultado de este proceso es un mercado mundial de semillas e insumos agrícolas controlado por cuatro megaempresas: Corteva Agrisciences, Syngenta Group, Bayer Cropscience y BASF.²⁸ Estas empresas poseen el tamaño y los recursos para enfrentar las grandes inversiones en I+D destinadas a identificar y aislar genes que pueden ser usados para desarrollar semillas transgénicas y, aún más importante, pueden afrontar el costo de las regulaciones y aprobaciones necesarias para la comercialización de semillas genéticamente modificadas²⁹. Son estos motivos los que permiten a las firmas multinacionales, y en particular a las cuatro megaempresas mencionadas, dominar el mercado de eventos transgénicos en el mundo.

El rol protagónico que han ocupado las firmas multinacionales en el desarrollo de semillas transgénicas en el mercado argentino queda en evidencia si se analiza el origen de eventos transgénicos registrados en el país³⁰. Entre 1996 y 2020, se aprobaron un total de 62 eventos transgénicos, 54 de los cuales fueron solicitados por empresas multinacionales. Las empresas locales, en este aspecto, han cumplido un rol marginal: solo 8 eventos transgénicos fueron solicitados por dos firmas nacionales, Tecnoplant e INDEAR. En los hechos, sin embargo, se puede argüir que solo 3 de los 8 eventos identificados representan desarrollos estrictamente locales, dado que, para algunos casos se trata de "eventos apilados" (como se explica más adelante, con características ya desarrolladas por multinacionales o empresas locales) y en otros casos, los eventos fueron desarrollados por empresas multinacionales y cedidos a firmas locales que figuran como solicitantes. Uno de los desarrollos locales más importantes, surgidos de la alianza entre INDEAR y el CONICET, es una semilla de soja transgénica resistente a sequía y tolerante a glufosinato (HB4), aprobada en 2015 en la Argentina y luego en Brasil y Estados Unidos, los dos productores de soja más grandes del mundo. En abril de 2022 consiguió finalmente la aprobación de China, el principal comprador de soja a nivel mundial.

²⁶ La descripción que sigue está basada en Marín y Stubrin (2017) y actualizada a partir de los procesos de fusiones y adquisiciones que se dieron a partir de 2015.

²⁷ En 2015, Dow y DuPont anunciaron que se fusionarían para formar DowDuPont, que a partir de 2019 se constituyó como Corteva Agriscience; en febrero de 2016 ChemChina compró Syngenta y en 2020 después de fusionarse con Sinochem formaron Syngenta Group; y en septiembre de 2016 Bayer compró Monsanto y formó Bayer Cropscience.

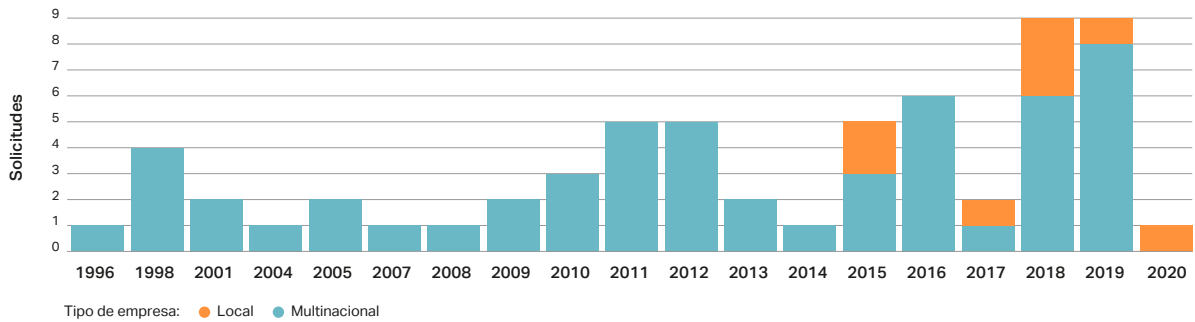
²⁸ Para un análisis de estudios recientes sobre concentración en el mercado de semillas, a nivel global y por países, en términos de ventas y de patentes ver Deconinck (2020), INASE (2019) y Clapp (2018).

²⁹ Este tema es analizado en mayor profundidad en el Documento "Pilares de la innovación de la biotecnología agrícola en Argentina" (O'Farrell et al, 2022) publicado en [Fundar](#).

³⁰ Otro indicador en el mismo sentido son los resultados reportados en la sección 3 de este documento: cuando estas empresas multinacionales dejan de reportar actividades de I+D, la participación de las empresas que hacen biotecnología agrícola en el total de las ventas de las empresas biotecnológicas que hacen I+D se desploma del 70,4% al 0,9%. Estas cifras son ilustrativas de la posición dominante que tienen estas empresas en el mercado local.

Gráfico 6

Evolución de la cantidad de eventos transgénicos registrados en Argentina según tipo de empresa (1996-2020)



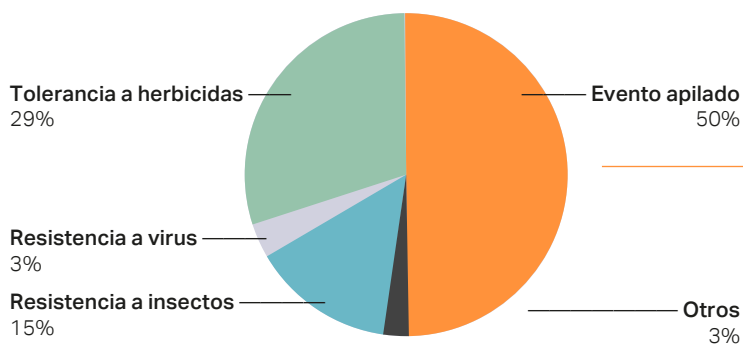
Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (disponible [aquí](#)).

En lo que refiere a su distribución por cultivo, el 54.84% de los eventos transgénicos registrados en el país corresponde al maíz, seguido por la soja (25,81%), el algodón (11,29%), la papa (3,23%), la alfalfa, el cártamo, y el trigo, con una participación de 1,61% cada uno. Adicionalmente, entre los rasgos sobresale la tolerancia a herbicidas con un 29%, seguido por 15% de resistencia a insectos, y 3% de resistencia a virosis. El 50% restante corresponde a combinaciones de distintos tipos de características introducidas, comúnmente denominadas "eventos apilados". Dentro de este 50%, la mayor parte es representada por la combinación de tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos (84%), seguido de la combinación entre resistencia a sequía y a herbicida (10%), y resistencia a herbicida en conjunto con otras cualidades deseadas (6%).

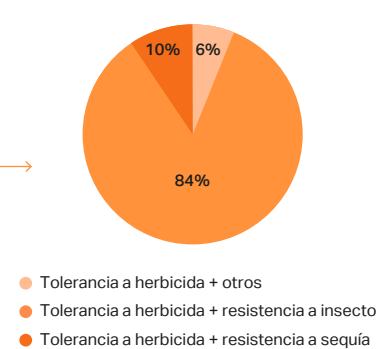
Porcentaje de eventos transgénicos registrados en Argentina según característica introducida (1996-2020)

Gráfico 7

Característica introducida en evento transgénico



Tipo de evento apilado



Fuente: elaboración propia sobre la base de información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (disponible [aquí](#)).

A pesar de que los eventos transgénicos han sido desarrollados mayoritariamente por unas pocas empresas multinacionales, el país cuenta con una larga trayectoria de firmas locales que también han jugado un rol importante en el proceso de innovación en semillas. En particular, han tenido un papel activo en el desarrollo de este insumo a partir del uso de otras técnicas biotecnológicas distintas a la transgénesis, como el mejoramiento convencional asistido por herramientas de la biotecnología moderna que incluyen, por ejemplo, a los marcadores moleculares, bioinformática y la mutagénesis. Este es el aspecto en el que la división del trabajo en la producción de semillas queda claramente evidenciado: las firmas nacionales, junto con el trabajo de agricultores y de instituciones públicas como el INTA, se especializan

en el desarrollo de mejoras en germoplasma que permiten dar respuesta a las necesidades locales y que no pueden ser satisfechas con tecnologías tan costosas como la transgénesis (Marín y Stubrin, 2017).

La tasa de innovación creciente de las empresas nacionales puede medirse a partir de la cantidad de nuevas variedades vegetales inscriptas en el Registro Nacional de Cultivares (RNC), que incluye todos los cultivares que se identifican por primera vez, y habilita a que se los comercialice³¹. Si se analiza el número de variedades de cultivares registradas para los principales cultivos en la Argentina entre 1996 y 2020 (soja, maíz, trigo y girasol), la participación de empresas domésticas fue del 53,3%³². En el ranking de las 20 empresas con mayores registros de cultivares, 9 de ellas son firmas nacionales. De hecho, la empresa que registró más variedades en Argentina es la empresa nacional Don Mario, con 293 solicitudes. En lo que refiere a los cultivos, se puede observar una marcada tendencia de crecimiento en el registro de nuevas variedades para el maíz y para la soja, pero no así para el trigo y el girasol, especies cuyos registros tienden a permanecer constantes a lo largo del tiempo:

Cultivares registrados en Argentina según especie (1980-2021)

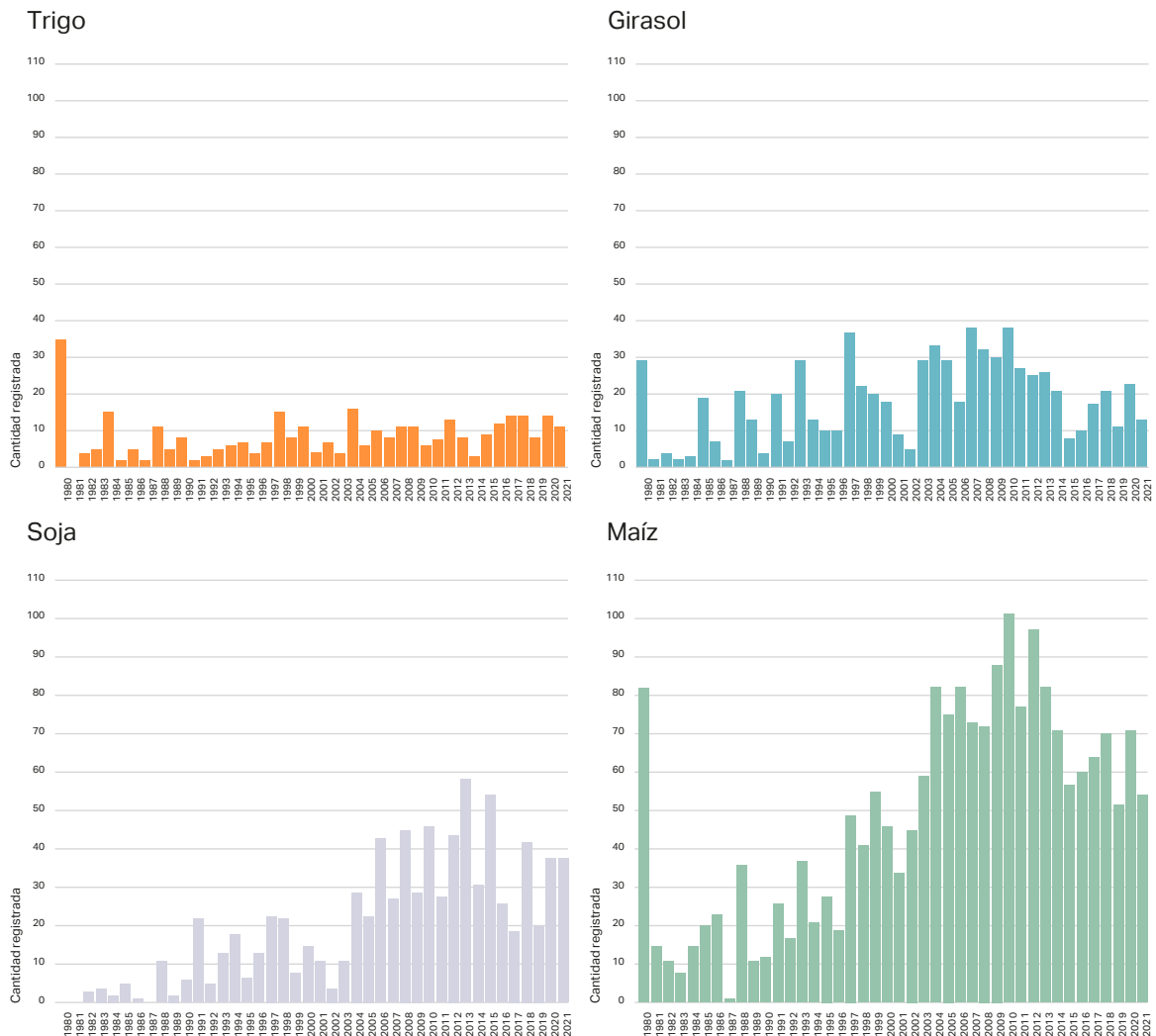


Gráfico 8

Fuente: elaboración propia sobre la base del Registro Nacional de Cultivares (disponible [aquí](#)).

³¹ Este registro contiene tanto a las variedades desarrolladas con técnicas biotecnológicas como con técnicas convencionales.

³² El porcentaje fue calculado en función de la cantidad de nuevos cultivares para las especies mencionadas cuyos solicitantes están identificados en la base de datos del RNC. Aquellos registros cuyas firmas solicitantes no se encuentran identificadas fueron excluidas del cálculo. En total, de los 4011 cultivares registrados para los cultivos principales, 124 corresponden a *missing data*, 2072 a nacionales, y 1815 a extranjeras.

Impactos en la productividad y la sustentabilidad

Como se mencionó anteriormente, la biotecnología agrícola juega un papel fundamental en la productividad y la sustentabilidad de la agricultura. En este aspecto, los aportes de las técnicas de mejoramiento genético de las semillas son considerables: en términos de productividad, este conjunto de técnicas puede resultar en mayores rendimientos de los cultivos y en un uso más eficiente de la tierra y el agua; en términos de sustentabilidad, el mejoramiento genético de semillas puede contribuir a mejoras en la calidad de los alimentos, como así también aportar a los desafíos que enfrenta la agricultura en términos de cambio climático, expresado, por ejemplo, en la tolerancia de ciertos cultivos a situaciones de estrés hídrico.

¿De qué manera afectaron a la producción agrícola los desarrollos biotecnológicos de las últimas décadas en la Argentina? ¿Qué análisis se puede realizar acerca de sus aportes a la sustentabilidad del modelo productivo del país? Considerar el impacto de la biotecnología agrícola en la Argentina implica necesariamente evaluar las implicancias de la difusión de las semillas transgénicas, dado que son uno de los principales productos que aportó la biotecnología. La introducción de los organismos genéticamente modificados (OGM) en la Argentina tuvo numerosos impactos marcadamente positivos, como el aumento significativo en los rindes, la producción global y las ganancias de los productores. Sin embargo, al evaluar su impacto ambiental y social, el balance se vuelve ambiguo y no unívocamente positivo, sobre todo por problemáticas asociadas a la degradación de los suelos, el uso excesivo de agroquímicos y la pérdida de biodiversidad.

Impactos positivos: aumento en los rindes, producción y ganancias

La adopción de cultivos transgénicos en la Argentina representó un proceso de incorporación tecnológica sin precedentes. En tan solo una década, las variedades de semillas genéticamente modificadas superaron el 80% del área cultivada de cada especie —soja, maíz y algodón— (Trigo, 2016). Un caso emblemático es el de la soja tolerante al glifosato que, entre 1990 y 2015, quintuplicó su producción, triplicó su área de tierra sembrada (fundamentalmente como resultado de la sustitución de otros cultivos y pasturas por la soja GM, pero también por la introducción de la rotación soja-trigo) y aumentó en un 46% su rendimiento por hectárea (Marín, A., Stubrin, L. y Van Zwanenberg, s.f.). El beneficio bruto total de dicha expansión fue apropiado mayoritariamente por los productores agrícolas (65,9%), seguidos por el Estado Nacional (27,4% a través de derechos de exportación, vigentes a partir de 2002) y el sector proveedor de tecnología (6,7%) (Trigo, 2016)³³.

La adopción de cultivos transgénicos en la Argentina representó un proceso de incorporación tecnológica sin precedentes. En tan solo una década, las variedades de semillas genéticamente modificadas superaron el 80% del área cultivada de cada especie —soja, maíz y algodón—.

Dado que la biotecnología es un sector para el cual la importancia del fomento estatal a través de incentivos, inversión y diseño de marcos regulatorios es significativo, la identificación fehaciente y certera de las causas del aumento en los rendimientos del cultivo de la soja resulta relevante en términos

³³ Se trata de un estudio realizado por Trigo (2016) para el período 1996-2015, tomando como herramienta analítica el modelo matemático Sigma desarrollado por el INTA. Ese modelo reconstruye, mediante ejercicios de simulación, la realidad que se observa en el agro argentino, con una marcada heterogeneidad de realidades tecnoproductivas no atribuibles a diferencias agroecológicas sino a factores socio-económico-institucionales. Para el cálculo del beneficio bruto medido en dólares se tomó el precio FOB Buenos Aires promedio de cada año y la producción obtenida en cada campaña atribuible a la expansión del área sembrada con soja por adopción de materiales de soja GM, y para la distribución se utilizaron datos de Márgenes Agropecuarios, Costamagna, 2004, Indec y corridas de simulación de Sigma v2.0 (Trigo, 2016).

de la formulación de política pública. En este sentido, la explicación más extendida sobre el fuerte aumento en la producción, los beneficios para los productores y la productividad agrícola apunta a la incorporación de semillas genéticamente modificadas (Penna y Lema, 2003; Trigo y Cap, 2003; Trigo, 2016). Sin embargo, estudios recientes han cuestionado esta atribución, argumentando que otros tipos de innovación no transgénica sobre semillas, como la mutagénesis y la hibridación de semillas, ofrecen una explicación igual de plausible para la mejora indirecta en la productividad que normalmente le es atribuida a los transgénicos. Desde este punto de vista, este tipo de técnicas tuvieron en la práctica un efecto mucho mayor sobre la productividad de los cultivos de soja que las de la ingeniería genética, particularmente la transgénesis (Marín, Stubrin y Van Zwanenberg, 2014; Marín, Van Zwanenberg y Cremaschi, 2021; Marín et al., s.f.)³⁴.

Impactos negativos: degradación de suelos, malezas resistentes y pérdida de biodiversidad

Al incorporar al análisis la dimensión ambiental, el balance respecto a la introducción de la biotecnología en la producción agrícola deja de ser inequívocamente favorable. Entre los efectos positivos se destacan mejoras como la menor utilización de maquinaria —lo cual implica un ahorro de combustibles fósiles—, un mejor cuidado de los suelos y la posibilidad de disminuir el uso de agroquímicos que presentan un grado mayor de toxicidad³⁵. Entre los efectos adversos se hallan la pérdida de biodiversidad, la proliferación de malezas resistentes a herbicidas, la degradación de suelos, efectos nocivos sobre la salud humana y animal por mala aplicación de agroquímicos y una incipiente vulnerabilidad comercial de Argentina vinculada a tendencias globales sobre los modelos agroalimentarios. Sin embargo, algunos de estos efectos pueden deberse al mal uso de las tecnologías, y varias de sus consecuencias pueden revertirse mediante cambios en los procesos productivos.

Al incorporar al análisis la dimensión ambiental, el balance respecto a la introducción de la biotecnología en la producción agrícola deja de ser inequívocamente favorable: la pérdida de biodiversidad, la proliferación de malezas resistentes a herbicidas, la degradación de suelos son algunos de los efectos nocivos reconocibles.

En primer lugar, la expansión y transformación de la agricultura desde mediados de los años 90 ha provocado una drástica reducción de la diversidad biológica de las áreas más cultivadas de la región pampeana, lo que se vincula al uso intensivo de herbicidas. La aplicación de agroquímicos en cantidades récord a nivel global³⁶ fue posible gracias a la concentración de la actividad vegetal en unos pocos meses de la primavera-verano y su supresión el resto del año, aun cuando existen condiciones propicias para el crecimiento de las plantas. Esto es posible por el alto precio y rendimiento del cultivo de la soja. Adicionalmente, la mayor utilización de tecnologías para el control de plagas y enfermedades tuvo como correlato la activación de mecanismos evolutivos por parte de malezas e insectos, que desarrollan una creciente resistencia a herbicidas y plaguicidas. Este fenómeno se configura como consecuencia de un modelo agrícola simplificado y en expansión, basado en tecnologías de bajo costo, amplia difusión y generalmente mal utilizadas (Satorre y Andrade, 2020). En función de este diagnóstico, miembros de la comunidad científica y técnica han señalado

³⁴ Estos análisis aducen que los estudios existentes fracasan en identificar los aportes a la productividad de técnicas no transgénicas y atribuyen toda mejora a la introducción de OGM, lo cual se sustenta en el supuesto, injustificado, de que la modificación genética de semillas constituye la más sofisticada tecnología para incrementar la productividad agrícola. Ver Marín, Stubrin y Van Zwanenberg (2014).

³⁵ La información ha sido relevada en el marco del trabajo de campo de este estudio. Se entrevistó a un investigador especializado en impactos ambientales de la agricultura.

³⁶ 750 gramos de herbicida por hectárea cada año, según datos de Faostat (Jobbagy et al., 2021); la aplicación de plaguicidas por hectárea en la Argentina es más del doble del promedio mundial (FAO, 2020).

la necesidad encontrar maneras más eficientes y alternativas de control de las adversidades bióticas de los cultivos (Andrade, 2020)³⁷.

Además, la incorrecta aplicación de herbicidas y plaguicidas en zonas residenciales ha generado casos de afectación a la salud humana, lo que ha motivado numerosos juicios y fallos judiciales por enfermedades y malformaciones de poblaciones rurales cercanas³⁸. Aun cuando la toxicidad específica de los agroquímicos aplicados en la llanura ha disminuido, la concentración de glifosato y sus sustancias derivadas encontrada en el ambiente sigue causando preocupación en la comunidad científica y representa una situación acuciante en la Argentina. Frente a este escenario, y a medida que avanza el escrutinio de ciencias epidemiológicas y ambientales sobre el glifosato, se vuelve necesaria la búsqueda de esquemas de producción alternativos que permitan reducir o evitar el uso masivo de herbicidas (Jobbagy et al., 2021).

Finalmente, el sector agrícola enfrenta incipientes desafíos comerciales vinculados a las tendencias internacionales en un marco de mayor acción climática y ambiental. Desde sus orígenes, la expansión de los transgénicos se vió afectada por la desconfianza y el rechazo por parte de consumidores, especialmente en Europa, lo que se tradujo en prohibiciones, moratorias y sistemas de etiquetado. A esto se le agregan los cada vez más exigentes requisitos comerciales en cuanto a la utilización de agroquímicos. Si no se quieren perder mercados de exportación, el desarrollo de productos biotecnológicos y las decisiones sobre cuales adoptar en Argentina deberían incorporar estas dinámicas. En este contexto, aún incierto, el desafío para la Argentina es generar transformaciones viables y virtuosas en el agro que permitan el logro simultáneo de tres funciones: producción de bienes comercializables, contribuciones al bienestar de la población local y protección de la biodiversidad (Jobbagy et al., 2021).

Estos problemas y desafíos se volvieron una de las principales inquietudes de los productores agrícolas y sus asociaciones técnicas, que en los últimos años se expresaron en evaluaciones autocríticas por parte de algunas de las asociaciones promotoras de la difusión del paquete tecnológico, que reconocen cierto agotamiento del modelo productivo y la necesidad de recurrir a prácticas y tecnologías más sustentables³⁹. Esto abre una agenda urgente para el diseño de políticas de innovación y desarrollo productivo que apunten a generar transformaciones organizacionales y desarrollos de insumos que fortalezcan la productividad, pero con una mirada integral sobre los impactos ambientales y los requisitos de los consumidores y de los países importadores.



37 Otra consecuencia del modelo agrícola argentino de las últimas décadas, no directamente relacionada al paquete tecnológico de semillas transgénicas, ha sido la degradación de la tierra por pérdida de nutrientes en el suelo. En la región pampeana, la pérdida de materia orgánica original ha sido en promedio del 27%, y alcanza valores superiores al 50% en aquellos suelos con prolongada historia agrícola (Sainz Rozas et al., 2011).

38 Ver [La Corte Suprema confirma el fallo de Ituzaingó: los agroquímicos SI nos enferman](#)

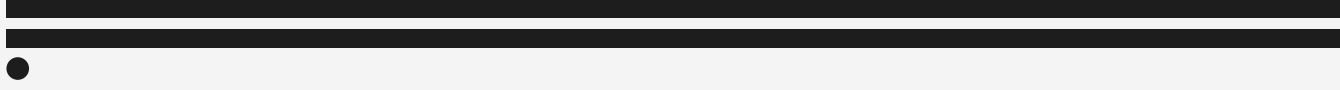
39 Ver [Agricultura Siempre Verde: beneficios y desafíos de mantener suelos vivos](#)

Reflexiones finales

En este trabajo recorrimos los principales productos y técnicas de la biotecnología agrícola en la Argentina, y mostramos los claroscuros de las capacidades productivas y tecnológicas de las empresas del sector en el país. La Argentina cuenta con una cantidad significativa de empresas y una importante trayectoria, y se sitúa muy por encima de otros países de ingreso per cápita similar, aunque lejos de los países líderes. El sector mostró dinamismo en términos de incremento en la cantidad de empresas, pero las ventas están mayormente concentradas en pocas empresas multinacionales. Con el apoyo del sistema público de ciencia y tecnología, algunas empresas locales lograron desarrollos que compiten en la frontera tecnológica. Además, la mayoría de las empresas locales son pequeñas, lo que representa un problema teniendo en cuenta que la biotecnología requiere de grandes proyectos de inversión a largo plazo y altos costos regulatorios. En el sector de semillas, el proceso de innovación muestra una clara división de trabajo entre firmas multinacionales y locales, con las primeras controlando el eslabón más rentable de eventos transgénicos, que, dados sus altos costos regulatorios, se mantiene fuera del alcance de las empresas locales. Estas juegan un rol determinante en la adaptación de las semillas a los territorios, a través del mejoramiento convencional asistido por herramientas de la biotecnología moderna que incluyen, por ejemplo, a los marcadores moleculares, bioinformática y la mutagénesis. El sector de los bioinsumos está creciendo rápidamente y representa un nicho con mucho potencial para las empresas locales.

Teniendo en consideración el potencial de la biotecnología agrícola en el país, en el segundo documento de esta serie analizamos los factores que afectan las capacidades de innovación de las empresas de biotecnología agrícola, entre ellas, la solidez del sistema científico tecnológico, la vinculación entre los actores del sistema, las cuestiones vinculadas con la regulación y las políticas de promoción y financiamiento. Este análisis, junto con la descripción detallada de casos y experiencias, contribuye al desarrollo de una serie de propuestas que señalan las potencialidades de este sector en la economía argentina del futuro cercano.

Bibliografía



- Albornoz, I. (2020). *AgTech. El nuevo paquete tecnológico del sector agropecuario. Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS-OEI)*, Nro 13.
- Alfonso Lozano, M. (2019). *El desafío de la edición génica en plantas*. Departamento Nutrición Vegetal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Andrade, Fernando Héctor (2020). *Los desafíos de la agricultura global*. Ediciones INTA. Disponible en <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9137>.
- Andersen, A., Johnson, B., Marín, A., Kaplan, D.; Stubrin, L., Lundvall, B. y Kaplinsky, R. (2015). *Natural resources, innovation and development*. Aalborg Universitetsforlag. <https://doi.org/10.5278/VBN/MISC/NRID>
- Anlló, G., Añon, M. C., Bassó, S., Bellinzoni, R., Bisang, R., Cardillo, S., y Regunaga, M. (2016). *Bioteconología 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.
- ArgenBio (2022). *Cultivos transgénicos*. Disponible en: <https://www.argenbio.org/cultivos-transgenicos>
- Banco Central de la República Argentina. Estadísticas cambiarias: Tipos de Cambio. Comunicación "A" 3500. Disponible en: http://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Tipos_de_cambios.asp
- Bisang, Stubrin y Anlló (2011). *Las empresas de biotecnología en Argentina*, Documentos de proyectos, CEPAL.
- Bocchetto, R., Gauna, D., Bravo, G., González, C., Rearte, M., Molina Tirado, L., Hilbert, J., Eisenberg, P., Lecuona, R., Taraborrelli, D., Papagno, S., Vaudagna, S. (2021). *Bioeconomía del Norte Argentino: situación actual, potencialidades y futuros posibles*. Proyecto "Bioeconomía Argentina: Construyendo un Futuro Inteligente y Sustentable para el Norte Argentino 2030". MINCyT-INTAINTI-UNNE-UNSaUNSE. Síntesis para Tomadores de Decisiones. Buenos Aires.
- Clapp, J. (2018) *Mega-Mergers on the Menu: Corporate Concentration and the Politics of Sustainability in the Global Food System*, Global Environmental Politics, Volume 18, Number 2, May 2018, pp. 12-33.
- Deconinck, K. (2020). *Concentration in Seed and Biotech Markets: Extent, Causes, and Impacts*. Annual Review of Resource Economics, Vol. 12, Issue 1, pp. 129-147, 2020. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-resource-102319-100751>
- MinCyT (2021). *Encuesta I+D del sector empresario. Actividades biotecnológicas en Argentina. Años 2013 - 2019*. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/12/actividades_biotecnologicas_en_argentina_2013-2019.pdf
- Feingold, S.E., Bonnacerrere, V., Nepomuceno, A., Hinrichsen, P., Cardozo Tellez, L., Molinari, H., Barba, P., Eyherabide, G., Ceretta, S. y Dujack, C. (2018). *Edición génica: una oportunidad para la región. RIA / Vol. 44 / Nro 3*
- INASE (2019). *El mercado mundial y nacional de semillas. La concentración de la producción semillera y sus efectos*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Jobbagy, E., Piñeiro, G., Aguiar, S. y Garibaldi, L., (2021). *Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos*.
- Jouve de la Barreda, N. (2020). *De la transgénesis a la edición génica. Aplicaciones y consideraciones bioéticas*. Cuadernos de Bioética. 2020; 31(103): 387-401
- Lecuona, R. (2020). *Bioinsumos agropecuarios: presente y futuro*. <http://cpia.org.ar/agropost/nota/12>
- Lowenstein, V. (2014) *Propiedad intelectual y semillas: los registros que hablan*, Revista Realidad Económica, 388, 4a. Jornada Horacio Giberti Que las semillas no sean ajenas, noviembre-diciembre 2014.
- Marín, A. Stubrin, L. y Van Zwanenberg, P. (2014). *Developing capabilities in the seed industry: which direction to follow?* Working Paper Series, SWPS 2014-12. Conicet/ Cenit Argentina.
- Marín, A. y Stubrin, L. (2017). *Oportunidades y desafíos para convertirse en un innovador mundial en Recursos Naturales. El caso de las empresas de semillas en Argentina*. Desarrollo Económico, vol. 56, N° 220.
- Marín, A., Stubrin, L. y Van Zwanenberg, P (s.f.). *The technological basis of the soya boom in Argentina: a case of genetic engineering boosterism?*
- Marín, A., Van Zwanenberg, P. y Cremaschi, A. (2021). *Bioleft: A collaborative, open source seed breeding initiative for sustainable agriculture*.
- Massa, G. A., González, M. N. y Feingold, S. E. (2020). *Avances y desafíos para la edición génica para el mejoramiento de plantas*. *Rev. Farm.* vol. 162-N°2: 36-42.
- MinCyT (2016). *Las empresas de biotecnología en Argentina*. Documento de Trabajo. Noviembre de 2016. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/est_bio_las-empresas-de-biotecnologia-en-argentina-2016.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2022). *OGM vegetal: Eventos con autorización comercial*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/agricultura/aliamentos-y-bioeconomia/ogm-vegetal-eventos-con-autorizacion-comercial>
- O'Farrell, Juan (2020). *Te espero en Rotterdam: Poder Empresario y Desarrollo Dependiente en la agricultura argentina durante el boom de los commodities*. Tesis doctoral, doctorado en Ciencia Política, Universidad Torcuato Di Tella (UTDT). Buenos Aires.
- O'Farrell, Juan; Pizzo, Florencia; Freytes, Carlos; Demeco, Lucía y Aneise, Ana Julia (2022). *Pilares de la innovación de la biotecnología agrícola en Argentina hacia una agricultura sustentable. Pensar los recursos naturales como motor de la innovación*. Buenos Aires: Fundar. Disponible en <https://www.fundar.org>
- OECD (2005): "A Framework for Biotechnology Statistics", OECD Working Party of National Experts on Science and Technology Indicators.

- OCDE (2006). *OECD Biotechnology Statistics 2006*, by Brigitte van Beuzekom and Anthony Arundel.
- OCDE (2021). *Key Biotechnology Indicator: Biotechnology firms*. Ver en: <https://www.oecd.org/innovation/inno/key-biotechnologyindicators.htm>. Consultado en Abril 2022.
- Penna, J. A. & Lema, D. (2003). *Adoption of herbicide tolerant soybeans in Argentina: an economic analysis*. En Kalaitzandonakes, N. G. (Ed.).
- Pérez, Carlota (2001) *Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil* (Documento de Proyectos, Estudios e Investigaciones). Santiago de Chile: CEPAL. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/34861-cambio-tecnologico-oportunidades-desarrollo-como-blanco-movil>
- Pérez, Carlota (2010). *Una visión para América Latina: dinamismo tecnológico e inclusión social mediante una estrategia basada en los recursos naturales*. Revista Cepal N°100. 123-145.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H., Angelini, H. (2011). *Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extra pampeana Argentina*. Ciencia del Suelo 29: 29-37.
- Satorre, E. y Andrade, F. (2020). *Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años*. Ciencia Hoy. En Prensa
- Trigo, E. y Cap, E. J. (2003). *The impact of introduction of transgenic crops in Argentinean culture*. AgBioForum, 6(3), 73-90.
- Trigo, E. (2016). *Veinte años de cultivos genéticamente modificados en Argentina*. ArgenBio.
- UNCTAD/FAO (2017). *Commodities and Development Report 2017, Commodity Markets, Economic Growth and Development*, United Nations and Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Acerca del equipo autoral

Juan O'Farrell

Coordinador del Área de Recursos naturales. Economista y doctor en Ciencia Política de la UTDT y magíster en Gobernanza y Desarrollo de la Universidad de Sussex (GB). Se especializa en la economía política de los recursos naturales, la tecnología y el trabajo.

Carlos Freytes

Director del Área de Recursos naturales. Doctor en Ciencia Política por la Universidad Northwestern y magíster en Ciencia Política y Sociología por FLACSO-Buenos Aires. Se especializa en la gobernanza de recursos naturales y la evaluación de políticas públicas.

Lucía Demeco

Analista del Área de Recursos naturales de Fundar. Licenciada en Ciencia Política y maestranda en Economía Aplicada de la UTDT. Sus áreas de interés incluyen el desarrollo económico, la evaluación de políticas públicas, y la economía política del sector agrícola.

Ana Julia Aneise

Analista del Área de Recursos naturales de Fundar. Licenciada en Economía (UBA) y maestranda en Economía y Derecho del Cambio Climático (FLACSO). Su área de interés se centra en el diseño de políticas para una transición justa hacia el desarrollo sostenible y bajo en emisiones.

El equipo autoral quiere agradecer los valiosos aportes de María Victoria Anuati, María Victoria Gobet y Laura Cappelletti.

Dirección ejecutiva: Martín Reydó

Coordinación editorial: Gonzalo Fernández Rozas

Diseño: Jimena Zeitune y Jaqueline Schaab

Fundar es un centro de estudios y diseño de políticas públicas que promueve una agenda de desarrollo sustentable e inclusivo para la Argentina. Para enriquecer el debate público es necesario tener un debate interno: por ello lo promovemos en el proceso de elaboración de cualquiera de nuestros documentos. Confiamos en que cada trabajo que publicamos expresa algo de lo que deseamos proyectar y construir para nuestro país. Fundar no es un logo: es una firma.

Esta obra se encuentra sujeta a una [licencia Creative Commons 4.0 Atribución-NoComercial-SinDerivadas Licencia Pública Internacional \(CC-BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Queremos que nuestros trabajos lleguen a la mayor cantidad de personas en cualquier medio o formato, por eso celebramos su uso y difusión sin fines comerciales.

En Fundar creemos que el lenguaje es un territorio de disputa política y cultural. Por ello, sugerimos que se tengan en cuenta algunos recursos para evitar sesgos excluyentes en el discurso. No imponemos ningún uso en particular ni establecemos ninguna actitud normativa. Entendemos que el lenguaje inclusivo es una forma de ampliar el repertorio lingüístico, es decir una herramienta para que cada persona encuentre la forma más adecuada de expresar sus ideas.

Modo de citar

O'Farrell, Juan; Pizzo, Florencia; Freytes, Carlos; Demeco, Lucía y Aneise, Ana Julia (2022). Biotecnología agrícola en la Argentina. Productos, técnicas y capacidades productivas hacia una agricultura sustentable. *Pensar los recursos naturales como motor de la innovación*. Buenos Aires: Fundar. Disponible en <https://www.fundar.ar>

