

Transición paradigmática en la industria agro-biotecnológica mundial*

Sebastián Sztulwark**

Universidad Nacional de General Sarmiento y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Valentina Locher***

Universidad Nacional de Entre Ríos y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Pablo Wahren****

Universidad Nacional de General Sarmiento y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Melisa Girard*****

Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina

<https://doi.org/10.15446/ede.v33n63.107479>

Resumen

En este artículo se realiza una caracterización del proceso de transición paradigmática que se está viviendo en la industria agro-biotecnológica mundial. El resultado principal del análisis realizado señala que la trayectoria de innovación que se viene desplegando en esta industria a partir de la emergencia de la edición génica como innovación fundamental implica un corte relativo respecto de lo ocurrido con la transgénesis vegetal. En el marco de un conjunto de factores de continuidad, emergen elementos de cambio que tienden a promover una reducción de las barreras tecnológicas e institucionales para el desarrollo de nuevos productos. Esta reconfiguración de las condiciones productivas existentes representa, a su vez, una oportunidad para el repo-

* **Artículo recibido:** 27 de febrero de 2023 / **Aceptado:** 18 de agosto de 2023 / **Modificado:** 6 de septiembre de 2023. El artículo es el resultado de una investigación realizada en el marco del proyecto de investigación PICT 2018-03700, financiado por la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación de Argentina.

** Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional de General Sarmiento (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Correo electrónico: sztulwark@campus.ungs.edu.ar
 <https://orcid.org/0000-0002-5993-7370>

*** Investigadora asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional de Entre Ríos, Instituto de Estudios Sociales de (Paraná, Argentina). Correo electrónico: valentina.locher@uner.edu.ar
 <https://orcid.org/0000-0003-0993-3002>

**** Docente en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires (Buenos Aires, Argentina). Correo electrónico: pablowahren@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0005-0222-1637>

***** Investigadora docente de la Universidad Nacional de General Sarmiento (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Correo electrónico: mgirard@campus.ungs.edu.ar  <https://orcid.org/0009-0002-3557-8622>

Cómo citar/ How to cite this item:

Sztulwark, S., Locher, V., Wahren, O., & Girard, M. (2023). Transición paradigmática en la industria agro-biotecnológica mundial. *Ensayos de Economía*, 33(63), 145-165. <https://doi.org/10.15446/ede.v33n63.107479>

sicionamiento de los países que tradicionalmente han jugado un papel subordinado en la dinámica innovativa de esta industria.

Palabras clave: innovación fundamental; biotecnología agrícola; transición paradigmática; estructura mundial.

JEL: L65; O33; O34; Q16.

Paradigmatic Transition in The Global Agrobiotechnology Industry

Abstract

In this article, we characterize the process of paradigmatic transition that is taking place in the global agrobiotechnology industry. As a main result, the study shows that the trajectory of innovation that is being deployed in this industry from the emergency of the genetic edition as a fundamental innovation implies a relative cut regarding that of the plant transgenesis. Despite some continuity factors, elements of change are emerging and tend to promote a reduction in the technological and institutional barriers to the development of new products. This reconfiguration of the productive conditions also represents an opportunity for countries that have traditionally played a subordinate role in the industry's innovative dynamic.

Keywords: Fundamental innovation; agrobiotechnology; paradigmatic transition; world structure.

Introducción

Los notables avances científicos producidos en el campo de la biología molecular durante las décadas de 1960 y 1970 del siglo XX presagiaban un gran protagonismo de la biotecnología en la dinámica innovativa de la economía mundial (OECD, 2009; Pérez, 2010). Sin embargo, y a diferencia de lo ocurrido con las tecnologías de la información y la comunicación, su impacto fue más limitado, no solo en su extensión sectorial, acotado principalmente a algunos segmentos de las industrias farmacéutica, de ingredientes alimenticios y de insumos agrícolas, sino —sobre todo— por su capacidad para revolucionar los productos y procesos existentes en esas industrias. La biotecnología, a pesar de sus innegables potencialidades productivas, se enfrentó con algunas dificultades para trascender su carácter de gran promesa de la innovación mundial (Tylecote, 2019).

En el caso de las aplicaciones al sector agrícola, el principal elemento de novedad estuvo asociado a las técnicas de transgénesis vegetal orientadas al desarrollo de semillas modificadas genéticamente. En efecto, a partir de mediados de la década de 1990 comenzó la difusión comercial de los cultivos transgénicos, que marcaron un hito tecnológico en la agricultura mundial (ISAAA, 2017). Su principal contribución económica se dio a través de la modificación de algunos rasgos agronómicos de las semillas que habilitaron una reducción de los costos de producción y una simplificación del manejo agrícola (Brookes & Barfoot, 2006). Su difusión, a su vez, implicó un proceso de reestructuración de ciertas innovaciones complementarias en la propia industria de insumos, como el caso de los productos agroquímicos o del mejoramiento vegetal convencional, pero también una serie de transformaciones más generales en las condiciones tecnológicas, organizacionales e institucionales del modelo de producción agrícola dominante a nivel mundial (Bisang, 2022; Kalaitzandonakes & Zahring, 2018).

Si bien la difusión de las semillas transgénicas tuvo un efecto estructurante sobre la dinámica tecnológica de la industria de mejoramiento vegetal, su impacto productivo tuvo un carácter limitado. En primer lugar, su difusión se concentró en unos pocos rasgos productivos —tolerancia a herbicida y resistencia a insectos), en un número reducido de cultivos (principalmente soja, maíz y algodón— y en un conjunto acotado de empresas de muy pocos países que lograron establecer el comando comercial sobre esta innovación¹. En segundo lugar, la liberación comercial de esos productos se dio en el marco de un largo y costoso proceso de desregulación, que actuó como una barrera a la entrada para los actores que no lograron alcanzar cierto umbral crítico en su escala de acumulación. En tercer lugar, en torno de su producto emblemático, la soja tolerante a herbicidas, se produjeron problemas de sustentabilidad —vinculados a la erosión de los suelos— y de resistencia de malezas. En cuarto lugar, en términos de propiedad intelectual se produjo en muchos países una superposición de los marcos institucionales —patentes y ley de semillas— que tendieron a generar una alta incertidumbre respecto de las condiciones de apropiación de las rentas de innovación. Finalmente, su difusión estuvo limitada por una percepción pública adversa respecto del consumo de alimentos transgénicos (Feingold et al., 2018; Fukuda-Parr, 2006; Rapela, 2020).

En la última década, una novedad tecnológica pareció reactivar el potencial de la biotecnología para impactar de un modo más profundo sobre las industrias cuya innovación fundamental es de base biológica. Se trata de las técnicas de edición génica, que permiten realizar modificaciones en la secuencia de ADN dirigidas a genes específicos para alterar su expresión —silenciarlos o sobre-expresarlos—, reemplazar alelos o introducir transgenes en sitios específicos del genoma (Feingold et al., 2018). Sobre la base de estas técnicas se podría avanzar, al menos potencialmente, hacia procesos de transformación vegetal más precisos, con plazos de desarrollo más cortos y a un costo significativamente menor que los asociados a la transgénesis vegetal (González et al., 2021; Tylecote, 2019). Estas técnicas permiten, además, realizar el mejoramiento sin necesidad de introducir genes foráneos, lo que podría desligar a estos productos de la percepción adversa que existe respecto a los transgénicos. Se trata, sin embargo, de una situación en la que no existe un paradigma tecnológico consolidado, sino más bien un proceso de transición en el que conviven el relativo agotamiento de la transgénesis como innovación fundamental de la industria con el desarrollo emergente de la edición génica cuyo efecto sobre la estructura es aún más potencial que real (Sztulwark & Girard, 2020).

El objetivo de este artículo es realizar una caracterización del proceso de transición paradigmática que está viviendo la industria agro-biotecnológica mundial a partir de la difusión, durante la última década, de la edición génica como innovación emergente. Su relevancia radica en la comprensión de un proceso de transformación tecno-económica de una industria que tiene un considerable impacto mundial y cuya dinámica afecta de manera significativa a los países que tienen una amplia base agrícola. Los elementos aportados en este artículo, a su vez, pueden ser de utilidad para el

1 Efectivamente, cuatro grandes empresas —Bayer, Basf, Corteva y Syngenta— dominan la industria de semillas y agroquímicos a nivel mundial.

diseño de una respuesta nacional en aquellos países que tradicionalmente han jugado un papel de adoptante de la innovación fundamental y que aspiran considerar esta situación de *impasse* tecnológico como una oportunidad para promover procesos de cambio de posición en esa estructura.

Para el tratamiento de esta problemática se propone un abordaje que vincule la trayectoria tecnológica de la industria con su configuración institucional, distinguiendo, por un lado, entre innovación fundamental y complementaria y, por otro, entre los aspectos regulatorios que inciden sobre la definición del propio estándar de producto, de aquellos que afectan las reglas de apropiación. Desde un punto de vista metodológico, el artículo se apoya en una revisión de la bibliografía internacional especializada sobre el tema, con foco en las dimensiones de análisis señaladas; en la recolección y análisis de información estadística sobre aspectos globales de la industria proveniente de bases de datos internacionales; y en un conjunto de entrevistas realizadas a referentes de la industria y del sistema de innovación agro-biotecnológico de Argentina que estuvieron orientadas, no a la especificidad del caso nacional, sino al análisis de los cambios ocurridos en el orden internacional.

El principal resultado alcanzado en este artículo señala que la trayectoria de innovación que se viene desplegando en esta industria a partir de la emergencia de la edición génica implica un corte relativo respecto de lo ocurrido con la transgénesis vegetal. En el marco de un conjunto de factores de continuidad, emergen algunos elementos de cambio que tienen que ver –centralmente– con la reducción de las barreras tecnológicas y regulatorias para el desarrollo de nuevos productos, situación que podría habilitar una reconfiguración de las jerarquías productivas existentes en esta industria.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se establecen algunas precisiones sobre los conceptos de innovación fundamental y de trayectoria sectorial en el marco del proceso de transición paradigmática que se vive en la industria agro-biotecnológica mundial. A continuación, se realiza una caracterización de los límites de las transgénesis vegetal en tanto innovación fundamental de la industria. En ese marco, se analizan las potencialidades de la edición génica como tecnología fundamental, tanto en su capacidad de establecer un nuevo diseño dominante como de producir nuevas vías de articulación de los activos complementarios que se despliegan en esta industria. A partir de este análisis, el trabajo aborda los elementos del marco institucional, tanto lo que se refiere al estándar regulatorio como a los mecanismos de protección de la propiedad intelectual. Finalmente, se presentan las conclusiones.

Trayectorias sectoriales de innovación en la industria agro biotecnológica mundial

El cambio tecnológico, o la innovación, en términos más amplios, han sido considerados, desde diferentes escuelas del pensamiento económico, como un elemento central en la dinámica de largo plazo del capitalismo mundial. En particular, la literatura especializada ha tendido a reconocer el papel de ciertas innovaciones que tienen un carácter arquitectónico sobre las

estructuras existentes en determinados territorios y en industrias específicas (Freeman, 2002; Malerba & Orsénigo, 1997). Este carácter fundamental remite a su capacidad para reconfigurar las condiciones de competencia y para estructurar nuevas posiciones de centralidad y dominio al interior de una rama (Altenburgh et al., 2008; Kaplinsky, 1998).

En este nivel meso económico, el carácter de innovación fundamental emerge en la medida en que logra establecerse un nuevo diseño dominante —un nuevo estándar de producto o de proceso—, y que éste se articula con los activos complementarios a partir de los cuales es posible revolucionar los procesos y productos existentes (Abernathy & Utterback, 1978; Teece, 1986). Un proceso de ese tipo requiere, a su vez, una coevolución con el marco institucional que regula la actividad económica en ese sector en particular (Freeman & Pérez, 1988). Ese marco es el que habilita y al mismo tiempo redefine el propio diseño dominante y cuyas dimensiones fundamentales son, por un lado, los estándares técnicos que habilitan la inter-operabilidad de una tecnología que funciona en el marco de un sistema y, por otro, las reglas de apropiación, que son aquellas que regulan la conversión de una ventaja tecnológica en una renta de innovación (Teece, 2006).

El proceso adquiere un carácter cíclico en la medida que el propio efecto de la innovación es la obsolescencia de los diseños existentes y la reducción del espacio potencial para apropiar rentas innovativas (Pérez, 2010; Kaplinsky, 1998). Existen, de este modo, momentos en los que un determinado diseño no logra imponerse como dominante, situaciones en la que conviven las tecnologías declinantes con las emergentes (Pistorious & Utterback, 1997). En términos de Dosi (1988), son periodos en los que la heurística de investigación y desarrollo y los mecanismos institucionales de coordinación productiva y de apropiación de la renta innovativa no logran consolidarse como paradigma de la industria. Esta situación se podría denominar de transición paradigmática a nivel de una determinada trayectoria sectorial de innovación.

Este proceso puede observarse en el caso de la industria agro-biotecnológica mundial, que tiene su principal referencia en la industria de semillas pero que también incluye a otros insumos agrícolas de base biológica². En efecto, se trata de una industria que ha sido afectada durante las décadas posteriores a la segunda posguerra mundial por lo que se ha dado en llamar “revolución verde”, proceso de transformación productivo cuyos pilares fueron la introducción en la propia actividad agrícola de las tecnologías dominantes del paradigma tecno-económico fordista: la nueva maquinaria agrícola que emergió a partir del uso del petróleo y el motor de combustión interna —por un lado— y de la innovaciones de la química aplicada a la agricultura —por otro— (Parayil, 2003).

La industria semillera se redefinió, en este marco, a partir de una serie de innovaciones en las actividades de mejoramiento vegetal, tales como la hibridación o la mutagénesis, entre otras, que permitieron el desarrollo de una genética de elite con un significativo impacto sobre los rendimientos agrícolas (Ruttan, 1986). En ese marco, el régimen institucional fue avanzando

2 Los bio-insumos agrícolas incluyen a los biofertilizantes, los bioestimuladores y los bioplaguicidas.

hacia renovados estándares regulatorios y de propiedad intelectual en torno de las nuevas obtenciones vegetales que se plasmaron, principalmente, en el establecimiento de leyes específicas que regulaban la actividad semillera a nivel nacional y que se inscribían, a su vez, en acuerdos internacionales sobre protección de las obtenciones vegetales (Rapela, 2020).

A partir de los avances de la biología molecular llevados a cabo durante las décadas de 1960 y 1970 del siglo XX, que derivaron en el desarrollo de las técnicas de ingeniería genética, se produjo un nuevo proceso de disrupción tecnológica con un impacto significativo sobre las estructuras de este sector. En efecto, de modo equivalente a lo ocurrido en industrias como la farmacéutica o la de ingredientes alimenticios, la industria de insumos agrícolas y, en particular, la de semillas, vivió un proceso de transformación asociado a la emergencia de una innovación fundamental de carácter biológico que tuvo una fuerte capacidad para redefinir los activos complementarios y el régimen institucional de la industria (Parayil, 2003).

Los primeros desarrollos de cultivos transgénicos comenzaron a realizarse en la década de 1980 (Fukuda-Parr, 2012; Qaim, 2015), al mismo tiempo que la Corte Suprema de Estados Unidos extendió la protección de las patentes a los organismos vivos, y que fue aprobada la ley Bayh-Dole a partir de la cual se les permitió a las universidades y a las pequeñas empresas poseer las patentes de las invenciones que desarrollaran utilizando fondos federales (Drahos & Braithwaite, 2017). Hacia el año 1986 ya se realizaban pruebas de campo en Estados Unidos y Francia con cultivos transgénicos de tabaco (James & Krattiger, 1996), pero recién a mitad de la década de 1990 los cultivos producto de la utilización de la transgénesis lograron instalarse en el mercado de insumos agrícolas.

La transgénesis vegetal como proceso y las semillas transgénicas como producto fueron adquiriendo los rasgos de una innovación fundamental en esta industria³. En comparación con las técnicas convencionales de cruzamiento vegetal, donde el mecanismo se efectuaba mediante repetidos intentos de prueba y error sin el debido control sobre los genes transferidos, la transgénesis permitió una modificación con mayor grado de control del genoma (Sovová et al., 2017), así como la incorporación de atributos que no podrían haber sido alcanzados en la evolución de la propia especie o que hubieran demandado largos periodos de tiempo para ello. El dominio por parte de un acotado conjunto de actores de la capacidad para el desarrollo de nuevos productos, el atravesamiento de costosos y largos procesos regulatorios y la gestión de la propiedad intelectual a escala global, provocaron un fuerte proceso de reestructuración de las posiciones competitivas en esta industria (Bonny, 2017; Deconink, 2020; Sztulwark & Girard, 2020).

3 Esta innovación, a su vez, fue estructurando un nuevo paquete tecnológico que incluyó una serie de innovaciones complementarias, como los nuevos métodos de labranza y los sistemas de almacenamiento, el desarrollo de maquinaria agrícola de tipo informacional y el desarrollo de nuevas formas de organización estructuradas en torno de una agricultura de contratos en el marco de redes de producción (Bisang, 2022).

En efecto, a partir de la presencia de grandes actores —que en su mayoría venían del campo de la química—, el comando de la innovación fundamental habilitó una posición dominante para la definición y gestión de un nuevo paquete tecnológico, en particular sobre los activos fundamentales de esta industria: el germoplasma de elite y los agroquímicos. Estos cambios a nivel tecno-productivo, a su vez, se articularon con la redefinición de los estándares regulatorios —asociados principalmente a nuevas normas para aprobar la liberación comercial de un cultivo transgénico— y con la normativa sobre propiedad intelectual, en particular con la legislación sobre patentamiento de microorganismos y en su vinculación con las leyes que regulan los procesos tradicionales de mejoramiento vegetal (Rapela, 2020).

El agotamiento de la transgénesis como innovación fundamental

A pesar de la importancia que tuvo en términos productivos el desarrollo de la transgénesis como innovación fundamental de esta industria, en los últimos años comenzaron a observarse algunos signos de agotamiento de su trayectoria tecnológica.

Uno de estos rasgos se asocia con el hecho de que esta tecnología solo logró difundirse en un número muy reducido de cultivos y sobre muy pocos rasgos agronómicos. Por un lado, esto se verifica al observar la distribución entre cultivos de la superficie mundial sembrada con transgénicos. Allí se encuentra que el 48% de la misma está sembrada con soja, el 32% con maíz, el 13% con algodón y, finalmente, el 5% con canola. En consecuencia, sólo cuatro cultivos concentran el 99,1% de la superficie mundial sembrada con transgénicos. Cuando se observa lo que ocurre con los rasgos que son modificados a través de la transgénesis el escenario es similar: la totalidad de las innovaciones desarrolladas a partir de las técnicas de transgénesis que lograron llegar al mercado se encuentran centradas en la modificación de dos únicos rasgos: tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos (ISAAA, 2019).

A su vez, aunque la transgénesis proporcionó mejoras en la precisión de las modificaciones realizadas y permitió la posibilidad de realizar cambios en el genoma que nunca podrían haberse efectuado por sí solos en la naturaleza, esta técnica presenta algunas limitaciones tecnológicas vinculadas a la aleatorización de las transformaciones genéticas producto de la imposibilidad de conocer *a priori* en qué parte específica del genoma se insertará el gen foráneo. Esto deriva en la necesidad de construir varias líneas de transformación para luego verificar en cuál de ellas se expresó el transgén de la forma deseada, lo que aumenta los costos y los tiempos de desarrollo.

Por otro lado, si bien la transgénesis brindó un amplio abanico de mejoras que podrían realizarse a partir del uso de esta técnica, la gran mayoría de ellas estuvo concentrada en el aumento de la productividad agrícola a partir del desarrollo de rasgos vinculados con la tolerancia a herbicidas y la resistencia al ataque de insectos, que fueron aplicados a cultivos de gran extensión. En cambio, los eventos que incluyen modificaciones en las características agronómicas dirigidas a mejorar la calidad del producto, o las modificaciones realizadas en cultivos no tradicionales, no

lograron alcanzar la difusión comercial a nivel internacional. En consecuencia, en la actualidad se observa, por un lado, la carencia de nuevos eventos biotecnológicos con carácter disruptivo en la producción agrícola y, por otro lado, las dificultades para difundir comercialmente los eventos que proveen mejoras en la calidad del producto (Sztulwark & Girard, 2016).

A estos elementos también se incorporan los altos costos regulatorios que deben afrontar los desarrolladores para liberar un producto transgénico al mercado, lo cual impone importantes barreras a la entrada para la introducción de nuevos actores al desarrollo de cultivos transgénicos. En la mayoría de los países, estos cultivos, que implican la creación de un nuevo material genético que no pre-existe en la naturaleza, deben atravesar un estricto y costoso proceso regulatorio en donde se les exige demostrar su inocuidad en términos ambientales y también sanitarios. A su vez, esta evaluación se realiza a partir de una hipótesis de riesgo amplia por la cual los cultivos transgénicos son evaluados por todos los daños potenciales que podrían generar –alergias, toxicidad, daños a otras especies, entre otros– para habilitar su aprobación comercial (Martín Lema⁴, comunicación personal, 23 de agosto de 2022).

Adicionalmente, la existencia de una superposición de marcos institucionales para regular la propiedad intelectual de la innovación en transgénesis tendió a desincentivar el desarrollo de nuevas innovaciones. En este sentido, el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio (ADPIC), realizado en el marco de la Organización Mundial del Comercio, permite –en el artículo 27.3.b– que los Estados miembros excluyan de la patentabilidad a las plantas. Sin embargo, se debe dar protección a todas las obtenciones vegetales a través de patentes, mediante un sistema eficaz *sui generis* o mediante una combinación de aquéllas y éste (Organización Mundial del Comercio, 1994). En muchos países, las plantas no son patentables y esta exclusión opera incluso en plantas que se obtuvieron a través de procesos biotecnológicos. En consecuencia, las variedades vegetales quedan protegidas por el sistema de derechos de obtentor regulado a partir de la Ley de Semillas. Sin embargo, los genes y secuencias de genes sí son patentables cuando fueron modificados por las personas y cumplen con los requisitos de patentabilidad.

Finalmente, la percepción pública sobre la transgénesis es compleja y en ella impactan elementos como la comprensión de la ciencia, el estilo de vida y las creencias religiosas de las personas. Así, la transgénesis no ha estado libre de controversias y conflictos en torno a su desarrollo, y ciertos sectores sociales la han considerado como una amenaza tanto para la sociedad como para el medio ambiente (Kiran & Pandey, 2020). En consecuencia, la percepción pública sobre el riesgo de la producción y consumo de cultivos transgénicos jugó un importante rol en el desarrollo y alcance de esta tecnología (Wunderlich & Gatto, 2015).

4 Ex Director Nacional de Biotecnología del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina (2012-2020).

El nuevo potencial tecnológico asociado a la edición génica

Los signos de agotamiento que se presentan en la transgénesis vegetal como innovación fundamental y la emergencia de la edición génica como nuevo vector de cambio habilitan a considerar la existencia de un marco de transición paradigmática en la industria agro-biotecnológica mundial, en el que conviven ambas tecnologías sin que aún se consolide un nuevo diseño dominante.

En efecto, la edición génica hace referencia a un conjunto de nuevas técnicas de mejoramiento de cultivos que utilizan sofisticados mecanismos de biología molecular para cortar, insertar o silenciar secuencias de ADN, y de este modo “editar” el genoma de una planta. Esta técnica y, en particular, la herramienta más difundida, la llamada Crispr-Cas9⁵, tiene una serie de ventajas respecto de las técnicas de mejoramiento vegetal existentes, ya sea por su impacto en las innovaciones de proceso como en las de producto.

La primera de estas ventajas es la precisión de la técnica para llegar a los resultados deseados. En este sentido, a través de edición génica pueden obtenerse productos similares a los obtenidos con mutagénesis, por ejemplo, pero con mayor certeza dado que las mutaciones no son “al azar”, sino dirigidas de forma específica para lograr la modificación buscada. Algo similar ocurre respecto de la transgénesis. La edición génica permite definir de forma precisa el sitio del genoma en el que serán introducidas las secuencias de ADN y de este modo evitar efectos no deseados de la transformación.

La segunda ventaja tiene que ver con los tiempos de desarrollo ya que, al reducir los procesos de prueba y error vinculados a técnicas menos precisas, se pueden obtener nuevos productos en plazos considerablemente más cortos. Esta reducción en los tiempos de desarrollo, a su vez, tiene un impacto considerable sobre los costos del proceso de innovación y, por lo tanto, opera, en relación a lo que ocurría con la transgénesis vegetal, como una caída en las barreras tecnológicas a la entrada para el desarrollo de nuevos productos. Esta situación podría provocar el ingreso de nuevos actores que previamente no alcanzaban la escala mínima de inversión y la viabilidad del desarrollo de cultivos que no tienen un mercado tan amplio (Martin Mariani⁶, comunicación personal, 26 de agosto de 2022).

En relación a las innovaciones de producto, la edición génica podría permitir el desarrollo de vías más precisas y económicas para el avance de los llamados atributos de primera generación, esto es, aquellos asociados a la introducción de nuevos rasgos agronómicos. Sin embargo, donde esta tecnología pareciera tener un mayor potencial es en el desarrollo de atributos de segunda generación, aquellos vinculados a la calidad de los alimentos o de los cultivos en tanto insumos de otros procesos productivos. Aquí se destacan los desarrollos que buscan mejorar la calidad nutricional o reducir la toxicidad de algunos productos.

5 CRISPR son las siglas en inglés que refieren a las “repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas”. Asociada a la proteína Cas9, se la utiliza como una poderosa herramienta de edición de genes.

6 Responsable global de semillas y tecnologías de Bioceres Crop Solutions.

De este modo, si bien es posible plantear que con la difusión de la edición génica tienden a reducirse las barreras tecnológicas que se requieren para realizar una modificación genética en una planta, a su vez, emerge una nueva relación entre el desarrollo de nuevos productos y el conocimiento genómico necesario para identificar el rasgo que se desea modificar. Así, por ejemplo, el conocimiento del genoma completo de una especie puede ser de gran utilidad para poder transformar una planta con un mayor grado de precisión, evitando daños colaterales o efectos indeseados (Raquel Chan⁷, comunicación personal, 19 de agosto de 2023). Fenómenos de este tipo podrían sesgar el desarrollo de nuevos productos hacia los cultivos comercialmente más difundidos – como la soja, el maíz o el trigo), que son aquellos en los que más se ha avanzado en términos del mapeo de su genoma (Martín Mariani, comunicación personal, 26 de agosto de 2022—.

Por otra parte, la posibilidad de avanzar hacia el desarrollo de nuevos productos no solo está vinculada con el conocimiento de las secuencias de los genomas, sino también de los genes responsables del fenotipo deseado (Massa et al., 2021). De este modo, si bien el proceso de transformación del ADN de una planta puede ser más sencillo, rápido y económico respecto de lo que ocurría con la transgénesis, lo que constituye en sí mismo una caída de las barreras tecnológicas a la entrada, al observar otros elementos del proceso de innovación, el resultado podría ser diferente: una elevación de las barreras para el acceso al conocimiento necesario para identificar nuevos rasgos productivos con potencial disruptivo y una nueva centralidad del conocimiento genómico de frontera, situación que está condicionada, en buena medida, por las capacidades existentes en los sistemas de innovación que se despliegan en cada territorio. Este elemento, dadas las asimetrías existentes a nivel mundial en el financiamiento y desarrollo de estos sistemas, podría provocar una re-emergencia de procesos de diferenciación espacial en torno de la innovación fundamental, como ocurría en el caso de la transgénesis, aunque sobre nuevas condiciones tecnológicas.

En suma, un nuevo potencial tecnológico emerge a partir de la difusión de la edición génica y de su posible estabilización como innovación fundamental de la industria. Sin embargo, la dirección y profundidad de ese cambio dependerá de cómo esta innovación pueda articularse con los activos complementarios necesarios para su llegada al mercado y de cómo se defina el marco institucional que regula su difusión.

La evolución de los activos complementarios

La consolidación de la transgénesis vegetal como innovación fundamental de la industria vino de la mano de una serie de innovaciones complementarias que tendieron a articularse en la figura de un nuevo paquete tecnológico, conformado principalmente por los eventos transgénicos, el germoplasma de elite y los productos agroquímicos. En efecto, la difusión comercial de un evento transgénico demanda su introducción en un material genético adaptado a las

7 Directora del Instituto de Agrobiotecnología del Litoral UNL/CONICET, Argentina.

condiciones agrícolas específicas de cada territorio, lo que demanda programas de desarrollo de genética de elite diferenciada según la particularidad agronómica de cada región. El caso emblemático fue el de la soja tolerante al herbicida glifosato, que combina el rasgo de tolerancia, el propio agroquímico y el desarrollo de nuevas variedades de alto rendimiento. En el caso del maíz Bt, en cambio, si bien existió una fuerte complementariedad entre el rasgo de resistencia al ataque de insectos y el desarrollo de híbridos de alto rendimiento adaptados regionalmente, la relación con los agroquímicos, más que de complementariedad, fue de sustitución.

A su vez, las características técnicas de las semillas definen otras particularidades del armado del propio paquete tecnológico. Sobre este punto cabe hacer una distinción entre las semillas alógamas como el maíz, cuya mejora se realiza mediante hibridación y las semillas autógamias, que se auto fecundan, como la soja. De este modo, el proceso de fitomejoramiento tiende a ser más complejo y costoso y las posibilidades de apropiación de la renta innovativas mayores en el primer caso (Miguel Rapela⁸, comunicación personal, 15 de noviembre de 2021).

De esta forma, la industria de insumos agrícolas tendió a estructurarse sobre la base de la gestión de este proceso de complementariedad, ya sea a través de mecanismos de integración vertical o de alianzas estratégicas. El fuerte proceso de concentración que se dio a finales de la década pasada tiene como base tecnológica esta tendencia general (Bonny, 2017; Deconinck, 2020).

Ahora bien, la comprensión de los rasgos que definen una nueva trayectoria sectorial de innovación en esta industria requiere considerar algunos cambios que se vienen produciendo en los activos complementarios y, por lo tanto, en la propia definición del paquete tecnológico a partir del cual es posible consolidar una nueva innovación fundamental.

En primer lugar, en el caso del germoplasma, la emergencia de la edición génica no modifica el hecho de que el material genético adaptado a las condiciones específicas de cada ambiente constituye el vehículo central a partir del cual se da la difusión material de las innovaciones biotecnológicas. Sin embargo, un elemento de cambio a considerar es que, en el caso de la transgénesis, existe una secuencia temporal de la innovación según la cual primero se desarrolla el evento y luego se introduce en líneas que son de interés comercial. En cambio, con la edición génica esa secuencia podría invertirse, dada la existencia de condiciones técnicas favorables para editar directamente sobre germoplasmas ya mejorados (Carlos Pérez⁹, comunicación personal, 23 de septiembre de 2022; Martin Mariani, comunicación personal, 26 de agosto de 2022). Así, es posible que una empresa biotecnológica realice una alianza estratégica con semilleros para editar directamente sus variedades ya mejoradas y que éste luego se ocupe de la multiplicación y la comercialización. Este tipo de asociaciones pueden darse en distintas partes del mundo, ya que la edición podría proveer una solución estandarizada para diversas

8 Ex Director Ejecutivo de la Asociación de Semilleros Argentinos (ASA) y de la Asociación Argentina de Protección de las Obtenciones Vegetales (ArPOV).

9 Gerente General de BioHeuris.

semillas adaptadas a condiciones agronómicas particulares. Asimismo, podría promover el interés de los mejoradores de variedades por incursionar en la edición génica a fines de acelerar sus procesos de mejoramiento. De este modo, se podría producir un nuevo modo de articular la innovación fundamental con la complementaria, en un modelo que tiende a ser más interactivo que el secuencial asociado a la transgénesis vegetal.

En segundo lugar, en el caso de la industria de protección de cultivos, los principales vectores de cambio están vinculados con los propios signos de agotamiento existentes en el modelo de producción agrícola dominante, en particular con el uso intensivo de insumos químicos. Ya sea tanto por razones de eficiencia, vinculadas a una capacidad decreciente de los nuevos productos para mejorar la productividad de los cultivos, con fenómenos notorios como, por ejemplo, el de la resistencia de las malezas, como por motivos relacionados con la nueva centralidad que viene adquiriendo la agenda ambiental en este sector, emergen algunos elementos de cambio que podrían tener impacto sobre el devenir de la innovación fundamental en esta industria.

Por un lado, se amplía el nuevo espacio para el desarrollo de nuevos productos, en particular aquellos que puedan ser complementarios con los cultivos desarrollados para tener una mejor adaptación a condiciones de estrés ambiental, como el calor, las heladas, la sequía o la salinidad de los suelos (Nishimoto, 2019). Otro espacio de creciente complementariedad remite al desarrollo de nuevas semillas “editadas” que sean tolerantes a agroquímicos de menor toxicidad que los actuales o que requieran una menor dosificación del producto químico para obtener un resultado equivalente al uso actual.

A su vez, también adquiere relevancia el desarrollo reciente de los denominados “bio-insumos”, esto es, productos de protección y de estimulación de cultivos de base biológica, que podrían ser una alternativa a los productos de base química. Los productos principales son los inoculantes —que se usan en el tratamiento de semillas como un sustituto de los fertilizantes nitrogenados— y los bio-controladores, focalizados en la protección de bacterias, hongos e insectos, entre otros. Tradicionalmente asociado a la agricultura orgánica y a las investigaciones del sector público, recientemente se viene produciendo un creciente interés de las empresas multinacionales que ven en este segmento un nicho de alto crecimiento económico (Goulet & Hubert, 2020). Desde el punto de vista tecnológico, existe cierto grado de complementariedad entre los conocimientos de la biología que se requieren para la edición del genoma de una planta con aquellos que se utilizan para el desarrollo de este tipo de insumos.

Finalmente, el tercer conjunto de activos complementarios que afectan a esta industria tiene que ver con las nuevas tecnologías digitales aplicadas al sector agrícola. De acuerdo con Deconinck (2020), la agricultura digital provee herramientas que permiten optimizar de un modo significativo la aplicación del propio paquete tecnológico. De este modo, estas tecnologías digitales podrían actuar como un poderoso activo complementario de tipo comercial para asociar la venta de los insumos del complejo químico-biológico con la provisión de los servicios informáticos.

La reconfiguración del marco institucional

El potencial tecnológico que se abre a partir del desarrollo de la edición génica y sus posibilidades de articulación con los activos complementarios en esta industria, definen un nuevo escenario para la re-definición de la trayectoria de innovación en la agro-biotecnología mundial. Sin embargo, la consolidación de la edición génica como innovación fundamental demanda, además, una reconfiguración del marco institucional que regula la actividad. Este no es independiente de los cambios en las reglas de juego más generales que afectan a la economía mundial, pero son los cambios específicos a la industria lo que tienen una relevancia decisiva en la dirección de la trayectoria de innovación seguida. En el caso de la agro-biotecnología, dos elementos del marco institucional cobran una particular importancia: las reglas de apropiación de la renta innovativa y el estándar regulatorio que define las condiciones para la liberación comercial de un nuevo producto. Ninguna de estas dimensiones tiene un carácter universal y, a pesar de que existen ciertas reglas generales, su aplicación está sujeta a las definiciones que se dan en los marcos normativos nacionales o regionales.

En el caso de las reglas de apropiación, el marco normativo de la propiedad intelectual derivado de la difusión de las transgénesis vegetal estuvo marcado por una diferenciación entre el tratamiento otorgado a los eventos biotecnológicos, regidos en general por leyes de patentes y lo ocurrido con las obtenciones vegetales que, según lo definido en el marco de la Organización Mundial de Comercio, habilita el uso de sistemas de protección *sui generis*, que regulan el uso y la comercialización de las nuevas variedades. La superposición de estos marcos regulatorios ha creado dificultades para la protección de las innovaciones biotecnológicas, en particular cuando éstas se difunden en especies autóгамas, que pueden ser reproducidas sin grandes pérdidas de rendimiento por los propios agricultores (Rapela, 2020).

Con la difusión de las nuevas técnicas de edición génica el principal elemento de novedad radica en un muy significativo aumento de la cantidad de solicitudes de patentes relacionadas con esta tecnología. En efecto, de acuerdo con la base de datos de IP Studies¹⁰, más de 8100 familias de patentes a nivel mundial estarían relacionadas con tecnologías CRISPR al 30 de enero de 2021. De ese total, 1400 estarían vinculadas al sector agrícola vegetal, que involucra investigación en células y organismos vegetales. Un segundo elemento de novedad radica en el incremento de la complejidad del entorno de patentes, que puede involucrar la existencia de patentes relacionadas –y, por lo tanto, de licencias– de múltiples entidades (Bagley, 2021).

A pesar de estos cambios, el marco normativo general, aunque heterogéneo a nivel mundial, se mantiene con cierta estabilidad. En la mayoría de los países, del mismo modo que ocurría en el caso de la transgénesis (o con otros cultivos obtenidos por medio de la intervención humana), el resultado del proceso de mejora genética -la planta-, no es patentable. Sólo se

10 Ver Bagley (2021, p. 4).

puede proteger la variedad y el método empleado para lograrlo, siempre que éste sea reproducible. Así, debido a que la edición génica reduce la aleatoriedad en el proceso de desarrollo de una nueva variedad, esta técnica facilita la protección a través de una patente del método por el cual se obtuvo la semilla editada (Martín Lema, comunicación personal, 23 de agosto de 2022). Sin embargo, esa mayor facilidad no modifica los mecanismos de apropiación que continúan siendo similares tanto para los productos derivados de las técnicas de transgénesis, como para los editados genéticamente, los cuales se concentran principalmente en acuerdos a partir del otorgamiento de licencias.

Por otro parte, si bien las técnicas de edición génica que se emplean en el desarrollo de innovaciones en el campo vegetal —tales como CRISPR-Cas9, CRISPR-Cas12, CRISPR-Cms1, entre otras— se encuentran ampliamente patentadas, existen diferencias en las características de las licencias que se otorgan en función del uso concreto al cual estas técnicas se aplican. Corteva Agriscience es la empresa que se está posicionando como líder en el licenciamiento de patentes CRISPR-Cas9 destinadas a la agricultura. Esta empresa tiene el derecho de sublicenciar patentes de esta técnica que son propiedad del Broad Institute, la Universidad de California Berkeley, ERS Genomics, Caribou Biosciences, entre otras. Así, Corteva ofrece cinco tipos diferentes de licencias en función de su uso específico. Entre ellas, se destaca un tipo de licencia no onerosa que se otorga para la realización de investigación académica (Bagley, 2021).

En la mayoría de los países este tipo de licencia puede ser tomada por las instituciones mientras se encuentran en las fases de investigación y desarrollo de productos editados genéticamente, o bien, dependiendo del país, se puede tomar una licencia para I+D de bajo costo. Posteriormente, una vez que el producto ya se encuentra en condiciones de ser comercializado, las empresas toman un tipo de licencia onerosa específica para cultivos y semillas comerciales (Carlos Pérez, comunicación personal, 23 de septiembre de 2022). Esta licencia incluye pagos por los objetivos comerciales cumplidos y regalías que varían en función al cultivo y al mercado, los cuales resultan de negociaciones entre las partes (Bagley, 2021). Es importante destacar que esta licencia, pese a ser onerosa, pareciera no operar como una barrera a la entrada para que actores pequeños participen del desarrollo de innovaciones a partir del uso de las técnicas de edición génica¹¹.

Por su parte, donde sí se verifican cambios del marco institucional que pueden afectar de manera significativa la trayectoria sectorial de innovación de la industria es en lo referido al estándar regulatorio que define las condiciones para la liberación comercial de nuevos productos. En los países del mundo que autorizaron el uso de organismos genéticamente modificados (OGM), la aprobación de un evento transgénico requiere atravesar al menos dos pruebas distintas: una evaluación de riesgo ambiental, en la que se constata que el nuevo material genético sea bio-seguro y las pruebas sobre inocuidad y calidad del alimento derivado de la semilla genéticamente modificada a

11 Se estima que el costo que deben afrontar las empresas por utilizar la técnica CRISPR-Cas9 con fines comerciales representa entre el 5% y el 10% de las utilidades (Carlos Pérez, comunicación personal, 23 de septiembre de 2022).

fin de discernir si es apto alimentariamente¹². Asimismo, para comercializar un OGM se requiere la aprobación de cada país en que se desee licenciar o vender. Esta regulación también alcanza a los granos derivados de estas semillas. Es decir, un alimento producido con una semilla genéticamente modificada no se puede exportar a un país donde la misma no se encuentra aprobada. De este modo, desregular un evento transgénico implica una tarea de alcance internacional.

Según distintas estimaciones relevadas, los costos de desarrollar y desregular un evento transgénico se ubican entre 100 y 287 millones de dólares (McDougall, 2016; Miguel Rapela, comunicación personal, 15 de noviembre de 2021). De los mismos, entre el 10 y el 37%, según la estimación, corresponden al desarrollo tecnológico y lo restante al abordaje del proceso regulatorio y la registración del evento. Dentro de estos últimos, los mayores costos se ubican en las pruebas de bioseguridad, ya que para probar que el evento no es perjudicial para el ecosistema se realizan ensayos regulados que implican requerimientos varios y demandan repeticiones en distintos años y distintas condiciones agroclimáticas (Dalia Lewi¹³, comunicación personal, 24 de noviembre de 2021).

Estas barreras regulatorias que afectan a los productos considerados como OGM, podrían operar de un modo diferente sobre los productos derivados de la edición génica. De acuerdo con el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, para ser considerado OGM un producto tiene que cumplir dos condiciones: que posea una combinación nueva de material genético y que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000). En el caso de la edición génica, efectivamente se cumple esta última condición, pero no necesariamente la primera. De acuerdo con esta definición, en tanto el producto derivado se realice a partir de un proceso de silenciamiento, sobreexpresión o reemplazo alélico de un gen de la propia especie no se estaría generando un OGM.

Esta cuestión abrió la puerta a que un conjunto de países, como Estados Unidos, Argentina, Brasil y Canadá, entre otros, decidiera tratar a los productos editados genéticamente con los mismos criterios regulatorios que a las variedades mejoradas por técnicas convencionales. Como resultado, los marcos regulatorios nacionales enfrentan el desafío de redefinir o clarificar su alcance frente a los productos editados genéticamente (Dederer & Hamburger, 2019).

En el caso de Estados Unidos el criterio regulatorio aplicado a los productos editados genéticamente establece la excepción de considerar como OGM a las plantas que tienen ciertas modificaciones que podrían haberse logrado a través de la reproducción convencional. Así, los argumentos esgrimidos por las firmas que trabajan con edición génica para que sus desarrollos sean exceptuados son que no utilizan virus y bacterias para la transformación, ni insertan genes de otra especie.

12 Los criterios de evaluación y aprobación están regidos en el plano ambiental por el Protocolo de Cartagena, que a su vez provee una definición acerca de qué es un OGM, y en el alimentario por el CODEX Alimentarius.

13 Directora Nacional de Bioeconomía del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina.

Un caso que reviste particular interés es el de Argentina, por tratarse del primer país del mundo en regular los productos mejorados con estas técnicas y por servir de base para las normativas de otros países de la región como Chile, Brasil, Paraguay, Colombia, Guatemala y Honduras, así como también de Japón e Israel (Dederer & Hamburger, 2019; Goberna et al., 2022). En 2015 se instrumentó una regulación específica para las nuevas técnicas de mejoramiento de cultivos —NBTs por sus siglas en inglés—, que incluye a la edición génica. Uno de los aspectos que introduce la normativa es la posibilidad de presentar los proyectos en una fase preliminar para constatar la potencial regulación. Este sistema permite a los productores anticiparse a los aspectos regulatorios que deberán enfrentar al momento de decidir qué tecnología utilizar (Lema, 2019).

Actualmente, la única excepción relevante en el tratamiento de los productos editados genéticamente es la Unión Europea, que los considera como OGM, ya que se basa en una definición más amplia de los mismos (Dederer & Hamburger, 2019). No obstante, dado que su regulación sobre OGM frenó el desarrollo de la biotecnología moderna en ese continente, las autoridades de la Unión Europea decidieron afrontar un debate público sobre opciones de política relativas al marco regulatorio de las NBTs (Comisión de Salud y Seguridad Alimentaria de la Unión Europea, 29 de abril 2021). Por su parte, China aprobó recientemente nuevas reglas para la aprobación de los cultivos editados genéticamente, los cuales podrán sortear las largas y costosas pruebas propias de los OGM (Patton, 2022).

Conclusiones

La transgénesis vegetal ha adquirido durante las últimas décadas el carácter de innovación fundamental de la industria agro-biotecnológica mundial. La trayectoria sectorial de innovación que se viene desplegando a partir de la difusión de sus productos emblemáticos, las semillas transgénicas, sin embargo, se ha enfrentado con ciertos obstáculos tecnológicos, institucionales y culturales para sostener esa condición a lo largo del tiempo. Esta situación ha dado lugar a un proceso de emergencia de nuevas tecnologías y de transición paradigmática en esta industria. Entre todas las variantes emergentes, la edición génica destaca como aquella tecnología que tiene el mayor potencial para ocupar ese lugar. Desde la perspectiva asumida en este artículo, sin embargo, la consolidación de una nueva trayectoria sectorial de innovación no se reduce al plano tecnológico, sino que demanda una nueva articulación con los activos complementarios de la industria y una nueva configuración del marco institucional que regula su dinámica productiva.

Los resultados alcanzados en este artículo revelan la existencia de elementos de novedad en la trayectoria sectorial de innovación de esta industria. Desde el punto de vista tecnológico, el impacto fundamental de la edición génica se vincula con la posibilidad de realizar procesos de modificación genética en plantas de un modo más preciso, en plazos más cortos y a un costo económico significativamente menor que lo que ocurre con la transgénesis vegetal. Estos cambios en las tecnologías de proceso del mejoramiento vegetal, a su vez, son las que podrían promover el desarrollo y difusión de innovaciones de producto, tanto en aquellas que se

orientan a mejorar la adaptación de los cultivos al estrés biótico —plagas, insectos, bacterias— o abiótico —heladas, sequía, salinidad de los suelos— como aquellas que promueven mejoras en la calidad nutricional o mejoras para el uso productivo de los cultivos.

La realización de este potencial de nuevas innovaciones de producto demanda, a su vez, una serie de cambios complementarios que permitan una redefinición del paquete tecnológico existente. En relación con los activos complementarios, se presentan las siguientes tendencias: primero, una relación menos lineal y más interactiva entre el desarrollo de eventos biotecnológicos y de germoplasma de elite; segundo, un agotamiento del paradigma de intensificación química para la protección de cultivos y un proceso de reestructuración parcial de esa industria hacia productos biológicos o químicos de menor impacto ambiental; y, tercero, un proceso de complementariedad más comercial que tecnológica entre las innovaciones del complejo biológico-químico con las del complejo electrónico-informático, que adquieren una gran relevancia para la eficiencia en la aplicación del paquete de insumos.

En lo relativo al marco institucional, se verifica un intenso proceso de patentamiento y un entorno de mayor complejidad relacionado con las patentes asociadas a la edición génica en general y de las técnicas CRISPR en particular. Sin embargo, las evidencias recogidas hasta el momento indican la existencia de un proceso de licenciamiento de la tecnología con un carácter no prohibitivo para los actores que hacen uso de esa tecnología. Por otro lado, persiste el problema de superposición de los marcos legales que regulan la propiedad intelectual de eventos y germoplasma, hecho que tiene repercusiones significativas sobre la apropiación de la renta de innovación, en particular en los cultivos de especies autógenas.

El cambio más significativo del marco institucional, sin embargo, es aquel relacionado con las condiciones del estándar regulatorio asociado a la liberación comercial de nuevos productos. En un proceso que aún no es generalizado, se verifica una tendencia mundial a considerar a los productos de la edición génica, al menos en aquellas innovaciones que no implican la inserción de material genético foráneo, como no equivalente a los transgénicos y, por lo tanto, podrían evitar el atravesamiento de un complejo y costoso proceso regulatorio. De consolidarse esta tendencia, que tiene a Europa como el territorio en el que existe la mayor resistencia a ese cambio, podría provocarse una muy significativa caída de las barreras a la entrada en esta industria y, de este modo, acelerar notablemente las potencialidades tecnológicas que existen en torno de la nueva innovación fundamental. Sin embargo, permanece aún como pregunta lo que podría ocurrir con la aceptación del consumidor en un escenario de cambio regulatorio como el mencionado.

Finalmente, la consolidación de una nueva trayectoria sectorial de innovación plantea un nuevo horizonte para el despliegue espacial de esta industria. El elemento de cambio fundamental remite a una posible reducción significativa de las barreras a la entrada de tipo tecnológica e institucional que podría facilitar el desarrollo de una nueva generación de productos y, por lo tanto, una nueva articulación con los activos complementarios de la industria, en un proceso potencialmente más abierto para el acceso de actores que hasta el momento habían asumido

principalmente un papel de adoptante de las innovaciones fundamentales de la industria. Este escenario de mayor apertura, sin embargo, pareciera estar acotado a aquellos territorios que han alcanzado un cierto umbral de capacidades tecnológicas e institucionales y que logren construir una respuesta nacional en el plano de las políticas públicas que sea consistente con las nuevas dinámicas de estructura que se presentan en esta industria.

Referencias

- [1] Abernathy, W., & Utterback, J. (1978). Patterns of Industrial Innovation. *Technology Review*, 64(7), 254-228. <http://teaching.up.edu/bus580/bps/Abernathy%20and%20Utterback%2C%201978.pdf>
- [2] Altenburg, T., Scmitz, H., & Stamm, A. (2008). Breakthrough? China's and India's Transition from Production to Innovation. *World Development*, 36(2), 325-344. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.06.011>
- [3] Bagley, M. (2021). Edición génica aplicada a la agricultura: políticas de patentes y licencias CRISPR en América Latina [documento para discusión No. 876]. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://doi.org/10.18235/0003409>
- [4] Bisang, R. (2022). Del sector agropecuario a las redes agroindustriales: revisando supuestos del modelo de Stop and Go. *Desarrollo Económico*, 62(236), 1-26. <https://www.jstor.org/stable/48695943>
- [5] Bonny, S. (2017). Corporate Concentration and Technological Change in the Global Seed Industry. *Sustainability*, 9(9), 1632. <https://doi.org/10.3390/su9091632>
- [6] Brookes, G., & Barfoot, P. (2006). *GM crops: The First Ten Years-Global Socio-Economic and Environmental Impacts*. PG Economics Limited.
- [7] Deconinck, K. (2020). Concentration in Seed and Biotech Markets: Extent, Causes, and Impacts. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), 129-147. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102319-100751>
- [8] Dederer, H. G., & Hamburger, D. (2019). *Regulation of Genome Editing in Plant Biotechnology*. Springer International Publishing.
- [9] Drahos, P., & Braithwaite, J. (2017). *Information Feudalism: Who Owns the Knowledge Economy?* Routledge.
- [10] Dosi, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of economic literature*, 16(3), 1120-1171. <https://www.jstor.org/stable/2726526>
- [11] Feingold, S. E., Bonnacarrère, V., Nepomuceno, A., Hinrichsen, P., Cardozo Tellez, L., Molinari, H., Barba, P., Eyherabide, G., Ceretta, S., & Dujack, C. (2018). Edición génica: una oportunidad para la región. RIA. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(3), 424-427. <http://ref.scielo.org/7f5c49>
- [12] Freeman, C. (2002). Continental, National and Sub-National Innovation Systems— Complementarity and Economic Growth. *Research Policy*, 31(2), 191-211. <https://doi.org/10.4337/9781035306176.00011>
- [13] Freeman, C., & Pérez, C. (1988). Structural Crises of Adjustment: Business Cycles and Investment. En G. Dosi et al. (eds.), *Technical Change and Economic Theory* (pp. 39-62). Pinter.
- [14] Fukuda-Parr, S. (2006): *The Gene Revolution: GM Crops and Unequal Development*. Taylor & Francis.
- [15] Goberna, M. F., Whelan, A. I., Godoy, P., & Lewi, D. M. (2022). Genomic Editing: The Evolution in Regulatory Management Accompanying Scientific Progress. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.835378>

- [16] González, M., Massa, G., & Feingold, G. (2021). Edición génica con el sistema CRISPR/Cas9: historia de su descubrimiento y alcances en agricultura. *Avances en Química*, 16(1), 11-20. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/13347>
- [17] Goulet F., & Hubert M., (2020). Making a Place for Alternative Technologies: The Case of Agricultural Bio-Inputs in Argentina. *Review of Policy Research* 37(4), 535-555. <https://doi.org/10.1111/ropr.12384>
- [18] International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). (2017). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years*, ISAAA Brief N°53. https://www.agi.gov.vn/files/files/ISAAA/ISAAA%20Brief%20No_%2053%20-%202017_compressed.pdf
- [19] International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). (2019). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2019: Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. ISAAA Brief*, 55. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/>
- [20] James, C., & Krattiger, A. F. (1996). *Global Review of The Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants: 1986 to 1995*. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/01/download/isaaa-brief-01-1996.pdf>
- [21] Kalaitzandonakes, N., & Zahringer, K.A. (2018). Structural Change and Innovation in the Global Agricultural Input Sector. En: N., Kalaitzandonakes, E., Carayannis, E., Grigoroudis, & S., Rozakis (eds.), *From Agriscience to Agribusiness. Innovation, Technology, and Knowledge Management* (pp. 75-99). Springer.
- [22] Kaplinsky, R. (1998). *Globalisation, Industrialisation and Sustainable Growth: The Pursuit of the Nth Rent*. [IDS Discussion Paper No. 365] University of Sussex. <https://www.semanticscholar.org/paper/Globalisation%2C-Industrialisation-and-Sustainable-of-Kaplinsky/43e088d605eb1ed00c31c17b8b9888b3b7305d79>
- [23] Kiran, U., & Pandey, N. K. (2020). Transgenic Food Crops: Public Acceptance and IPR. En U. Kiran, M. Abdin, & A. Kamaluddin (eds.), *Transgenic Technology Based Value Addition in Plant Biotechnology* (pp. 273-307). Academic Press.
- [24] Lema, M. (2019). Regulatory Aspects of Gene Editing in Argentina. *Transgenic Research*, 28(2), 147-150. <https://doi.org/10.1007/s11248-019-00145-2>
- [25] Malerba, F., & Orsénigo, L. (1997). Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. *Industrial and Corporate Change*, 6(1), 83-117. <https://doi.org/10.1093/icc/6.1.83>
- [26] Massa, G. A., González, M. N., & Feingold, S. E. (2021). Avances y desafíos para la edición génica para el mejoramiento de plantas. *Revista Farmacéutica*, 162(2). 36-42. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/149636>
- [27] McDougall, P. (2016). *The Cost of New Agrochemical Product Discovery, Development and Registration in 1995, 2000, 2005-8 and 2010-2014*. <https://croplife.org/wp-content/uploads/2016/04/Cost-of-CP-report-FINAL.pdf>
- [28] Nishimoto, R. (2019) Global Trends in The Crop Protection Industry. *Journal of Pesticide Science*, 44(3), 141-147. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D19-101>

- [29] Organización Mundial del Comercio (1994). Acuerdo sobre los aspectos de los derechos de propiedad intelectual relacionados con el comercio. https://www.wto.org/spanish/docs_s/legal_s/27-trips.pdf
- [30] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2009). *The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda*. OECD. <https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.htm>
- [31] Parayil, G. (2003). Mapping Technological Trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from Modernization to Globalization. *Research Policy*, 32(6), 971-990. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00106-3](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00106-3)
- [32] Patton, D. (25 de enero de 2022). China to Allow Gene-Edited Crops in Push for Food Security. *Reuters*. Disponible en <https://www.reuters.com/world/china/china-drafts-new-rules-allow-gene-edited-crops-2022-01-25/>
- [33] Pérez, C. (2010). Dinamismo tecnológico e inclusión social en América Latina: una estrategia de desarrollo productivo basada en los recursos naturales. *Revista CEPAL*, 100, 123-145. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/11357/100123145_es.pdf
- [34] Pistorius, C. and Utterback, J. (1997). Multi-Mode Interaction among Technologies. *Research Policy*, 26(1), 67-84. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00916-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00916-X)
- [35] Qaim, M. (2015). *Genetically Modified Crops and Agricultural Development*. Palgrave Macmillan.
- [36] Rapela, M. (2020). La interacción entre los derechos de propiedad intelectual y los procesos de innovación abierta aplicados en el mejoramiento vegetal moderno. *Revista Iberoamericana de la Propiedad Intelectual*, 13, 9-33. <https://riu.austral.edu.ar/handle/123456789/1086>
- [37] Ruttan, V. W. (1986). Technical Change and Innovation in Agriculture. En R. Landau, & N. Rosenberg (eds.). *The Positive Sum Strategy* (pp. 333-356). National Academy Press.
- [38] Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2000). Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica: texto y anexos. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. <https://bch.cbd.int/protocol/outreach/new%20protocol%20text%202021/cbd%20cartagenaprotocol%202020%20es-f%20web.pdf>
- [39] Sovová, T., Kerins, G., Demnerová, K., & Ovesna, J. (2016). Genome Editing with Engineered Nucleases in Economically Important Animals and Plants: State of The Art in The Research Pipeline. *Current Issues in Molecular Biology*, 21(1), 41-62. <https://doi.org/10.21775/cimb.021.041>
- [40] Sztulwark, S., & 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), 11-41. <http://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/157>
- [41] Sztulwark, S., & Girard, M. (2016). Genetically Modified Seeds and The De-Commodification of Primary Goods. *International Journal of Biotechnology*, 14(2), 132-150. <https://doi.org/10.1504/IJBT.2016.077955>
- [42] Teece, D. (2006). Reflections on "Profiting from innovation". *Research Policy*, 35(8), 1131-1146. DOI: 1016/j.respol.2006.09.009
- [43] Teece, D. J. (1986). Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy. *Research policy*, 15(6), 285-305. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(86\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(86)90027-2)

- [44] Tylecote, A. (2019). Biotechnology as a New Techno-Economic Paradigm that Will Help Drive the World Economy and Mitigate Climate Change. *Research Policy*, 48(4), 858–868. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.001>
- [45] Wunderlich, S., & Gatto, K. A. (2015). Consumer Perception of Genetically Modified Organisms and Sources of Information. *Advances in Nutrition*, 6(6), 842-851. <https://doi.org/10.3945/an.115.008870>