

La edición génica y la estructura económica de la agrobiotecnología mundial. Una mirada desde los países adoptantes *

A edição gênica e a estrutura econômica da agrobiotecnologia global. Um olhar a partir dos países adotantes

Gene Editing and the Economic Structure of World Agrobiotechnology. A View from the Perspective of the Adopting Countries

Sebastián Sztulwark y Melisa Girard **

Existen innovaciones que, por su carácter disruptivo, tienen el potencial de cuestionar la inmovilidad de las posiciones adquiridas en la estructura económica existente en una industria particular. Son las innovaciones fundamentales. El enorme potencial productivo que se abre a partir de la irrupción y difusión de las técnicas de edición génica, sumado a ciertos signos de agotamiento presentes en la trayectoria asociada a la transgénesis vegetal, permite considerar la existencia de un impasse en la estructura de la industria agrobiotecnológica mundial. En ese marco, se consideran las implicancias que estos cambios pueden tener a la hora de pensar la trayectoria histórica de los países de América Latina, que hasta el momento han asumido dentro de esta industria una posición de adoptantes de las innovaciones fundamentales.

Palabras clave: innovación; agrobiotecnología; estructura; países adoptantes

* Recepción del artículo: 11/12/2018. Entrega de la evaluación final: 11/03/2019.

** *Sebastián Sztulwark*: investigador del CONICET y de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS), Argentina. Coordinador del Área de Investigación de Economía del Conocimiento (UNGS). Correo electrónico: sztulwark@campus.ungs.edu.ar. *Melisa Girard*: investigadora de la UNGS. Correo electrónico: mgirard@campus.ungs.edu.ar.

Existem inovações que, devido à sua natureza disruptiva, têm o potencial de questionar a imobilidade das posições adquiridas na estrutura econômica de uma determinada indústria. Elas são as inovações fundamentais. O enorme potencial produtivo que se abre a partir da irrupção e difusão no estágio inicial das técnicas de edição gênica, somado a certos sinais de esgotamento na trajetória associada à transgênese vegetal, permite considerar a existência de um impasse na estrutura da indústria agrobiotecnológica global. Neste contexto, são consideradas as implicações que essas mudanças podem apresentar considerando a trajetória histórica dos países da América Latina, que até agora assumiram dentro desta indústria uma posição de adoção de inovações fundamentais.

Palavras-chave: inovação; agrobiotecnologia; estrutura; países adotantes

There are innovations that, due to their disruptive nature, have the potential to challenge the immobility of positions acquired in the existing economic structure of a particular industry. These are called the fundamental innovations. The enormous productive potential that was opened up by the irruption and spreading of gene-editing techniques, in addition to certain signs of exhaustion in the path associated with plant transgenesis, allow us to consider the existence of an impasse in the structure of the global agrobiotechnology industry. Within this framework, we take into account the implications that these changes may bring to the countries of Latin America, which until now have taken a position of adopters of fundamental innovations within this industry.

Keywords: innovation; agrobiotechnology; structure; adopting countries

Introducción

Las posibilidades abiertas por los notables avances de la biología molecular en los años 70, que tuvieron como técnica más disruptiva a la ingeniería genética, derivaron hacia los años 90 en una innovación con carácter fundamental, el desarrollo de semillas transgénicas, cuya difusión, articulada con innovaciones complementarias de las industrias química y metalmeccánica, transformó de un modo significativo tanto la dinámica de la industria semillera como la práctica productiva de buena parte de la agricultura mundial (James, 2017; Fukuda-Parr, 2006).

En estas condiciones, se fueron constituyendo nuevas relaciones de estructura entre un polo que tendió a concentrar la capacidad de apoyarse en esta nueva base de conocimiento para crear nuevos productos y difundirlos a nivel mundial y aquellos otros territorios que tendieron a asumir un papel de adoptantes de la tecnología fundamental, en muchos casos combinada con la capacidad de producir innovaciones complementarias. Los espacios principales del polo dominante son Estados Unidos y, en menor medida, Europa. Seis grandes empresas de esos países tendieron a monopolizar la fuerza de innovación en esta industria. El polo adoptante, aunque más heterogéneo, tuvo su epicentro en el continente americano, ya sea en el propio Estados Unidos (que, como se ve, ocupa un lugar predominante en las dos funciones de la estructura) como en los países del Cono Sur, con eje en Brasil y Argentina, región que se destacó por su función de adoptante temprano de las innovaciones fundamentales producidas en el polo dominante, pero también por sus avances parciales en el plano de las innovaciones complementarias (James, 2017; Sztulwark y Girard, 2016b).

13

En los últimos años, sin embargo, se verifican ciertos signos de agotamiento de la trayectoria innovativa asociada a la transgénesis vegetal y los cultivos transgénicos. Estos remiten tanto a la ausencia de nuevos eventos biotecnológicos con carácter disruptivo en el plano de las mejoras agronómicas como a las dificultades para difundir comercialmente los eventos que proveen mejoras en la calidad de producto y a los altos costos regulatorios que se derivan, al menos en parte, de un marco político-cultural con un alto grado de desconfianza (y, en algunos casos, rechazo) a la propia tecnología y al modelo productivo que se constituyó en torno suyo (PROCISUR, 2017; Sztulwark y Girard, 2016a). En ese marco, las posibilidades que se presentan en torno 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, abren nuevas perspectivas para pensar la relación entre innovación fundamental y estructura económica en el caso de la agrobiotecnología mundial.

El objetivo principal de este trabajo es, en consecuencia, analizar los cambios en la estructura económica de la industria agrobiotecnológica mundial a partir de la difusión de la edición génica, y considerar, en ese marco, las implicancias que estos cambios pueden tener para pensar la trayectoria histórica de los países que hasta el momento han asumido un papel de adoptante de las innovaciones fundamentales.

El abordaje propuesto tiene como punto de partida la idea de que existen innovaciones que tienen un efecto de impasse sobre la dinámica de estructura existente. Son

las innovaciones fundamentales.¹ En esas condiciones emergen nuevos actores, estrategias y prácticas productivas que tienen el potencial de cuestionar la inmovilidad de las posiciones adquiridas en los distintos polos de una estructura. Sin embargo, la posibilidad de sacar provecho de ese impasse supone la capacidad de construir un sistema que pueda crear conocimiento con carácter disruptivo y de explotarlo económicamente a escala global a partir de una base empresarial propia. Condiciones que constituyen las barreras a la entrada para el ingreso de nuevos territorios al polo dominante de la estructura mundial.

El trabajo comienza con algunas referencias conceptuales necesarias para pensar la relación entre innovación y estructura económica, en una perspectiva que combina el enfoque de los sistemas de innovación con una caracterización de las condiciones de estructura mundial propias del capitalismo contemporáneo. A continuación, se presentan los rasgos principales de estructura que se fueron consolidando en la agrobiotecnología mundial a la partir de la emergencia y difusión de la ingeniería genética y los cultivos transgénicos. En la sección siguiente se considera la irrupción de la edición génica y se analizan los efectos de estructura que es posible visualizar en la etapa inicial de su difusión. Finalmente, las conclusiones del trabajo, que remiten tanto a los temas y problemas abiertos que deja la difusión mundial de la edición génica como a una reflexión sobre las implicancias que estos cambios tienen para el diseño de estrategias de cambio estructural en los países adoptantes.

14

1. La innovación como efecto y causa de la estructura económica

Para pensar la relación entre innovación y estructura, un aporte clásico a considerar es el que establece Schumpeter en su famoso capítulo sobre “El proceso de la destrucción creadora” de *Capitalismo, socialismo y democracia* ([1942] 1996). Allí Schumpeter sostiene como tesis principal la idea de que la innovación es la causa fundamental que explica la dinámica de la estructura económica. En palabras del propio autor:

“El impulso fundamental que pone y mantiene en movimiento a la máquina capitalista procede de los nuevos bienes de consumo, de los nuevos métodos de producción y transporte, de lo nuevos mercados, de las nuevas formas de organización industrial que crea la empresa capitalista” (Schumpeter, [1942] 1996: 120).

Y, a continuación:

“... proceso de mutación industrial (...) que revoluciona incesantemente la estructura económica desde dentro, destruyendo

1. El concepto de innovación fundamental es análogo al de *cutting-edge innovation*. Al respecto, véase Altenburg *et al.* (2008).

ininterrumpidamente lo antiguo y creando continuamente elementos nuevos. Este proceso de destrucción creadora constituye el dato de hecho esencial del capitalismo y toda empresa capitalista tiene que amoldarse a ella para vivir” (Schumpeter, [1942] 1996: 121).

Este aporte clásico de Schumpeter, que propone una relación causal que va de la innovación a la estructura económica, es un punto de partida indispensable para pensar la relación entre estos dos conceptos. Sin embargo, y en función de los objetivos que persigue este trabajo, dos problemas teóricos subsisten: i) siendo que la innovación es causa de la estructura, ¿cuáles son, en cambio, los factores de estructura que causan la innovación?; y ii) la concepción de estructura con la que pensaba Schumpeter, que se corresponde en lo fundamental con la dinámica del capitalismo mundial de la primera mitad del siglo veinte, ¿sigue siendo adecuada para pensar las condiciones de estructura en el capitalismo contemporáneo?

Para responder a la primera pregunta se puede partir de la distinción que establece el propio Schumpeter entre invención e innovación. En *Ciclos económicos* (1939), este autor sostiene que la invención es un fenómeno económicamente subordinado y, en buena medida, exógeno o autónomo del sistema económico. Es la función empresarial, la introducción de innovaciones, la que le da sentido económico a una invención. Pero, para Schumpeter, por sí sola, la invención no tiene ninguna significación económica.² El hecho fundamental a considerar es que, desde el punto de vista de Schumpeter, llevar a la práctica una innovación es difícil y constituye una función económica peculiar que requiere aptitudes que solamente se dan en una pequeña fracción de la población.³ Desde el punto de vista de Schumpeter, es la dinámica del proceso de destrucción creativa lo que impulsa a la empresa capitalista a innovar. Sin embargo, en lo específico del proceso de innovación, no hay para este autor ninguna instancia que opere más allá de la subjetividad del propio empresario o de quien personifique la función empresarial (la conversión de un invento en una innovación). La estructura de este proceso está ausente.

15

Serán los autores neo-schumpeterianos y evolucionistas quienes darán unas décadas más tarde una respuesta a lo inconcluso del concepto de innovación en Schumpeter. Un aporte fundamental en esta dirección es el de sistema nacional de innovación (SNI), de autores como Lundvall (1992) o Nelson (1993), que se define como un conjunto de relaciones entre organizaciones e instituciones que dan un marco para el desarrollo, la difusión y el uso de las innovaciones. Lo interesante del concepto de SNI es el desplazamiento que produce en relación a Schumpeter. De

2. “La innovación es posible sin algo que identificaríamos como un invento, y el invento no induce necesariamente la innovación, solo produce por sí mismo un efecto que no es económicamente relevante en absoluto (...) Destacar el elemento de invento, o definir la innovación por medio del invento no sólo significaría subrayar un elemento sin importancia para el análisis económico, sino que también reduciría el fenómeno relevante a lo que realmente no es sino una parte del mismo” (Schumpeter, [1939] 2002: 63).

3. Estas aptitudes particulares se refieren a la realización de acciones que van más allá de las tareas rutinarias que todo el mundo entiende y a la confianza para hacer frente a la resistencia del medio exterior al cambio económico (Schumpeter, [1939] 2002).

la subjetividad inherente a la función empresarial (y de la empresa que opera como ámbito natural en el que se despliega esa función) a una trama de relaciones que opera por fuera de la empresa, pero que al mismo tiempo la atraviesa.

Esta dimensión estructural de la innovación se verifica en varios niveles de análisis, pero es particularmente significativa en la concepción que estos autores tienen del proceso de aprendizaje. Al tratarse de un proceso de naturaleza acumulativa, local (contexto específico) y en parte tácita, la frontera entre invención e innovación no es tan fácil de definir. El aprendizaje no es, en sentido estricto, ni un fenómeno interno a una organización ni plenamente externo. La propia dicotomía cae para dar lugar a otra comprensión del proceso, en el que la innovación es una propiedad emergente del sistema en el que la firma opera y cuya singularidad se constituye en tanto conjunto de rutinas y estrategias diferenciadas (Robert y Yoguel, 2010). De este modo, la innovación puede ser comprendida como efecto de una estructura. Y esa estructura puede ser nombrada, en términos evolucionistas o neo-schumpeterianos, como un sistema de innovación.

El segundo problema a considerar es el de las condiciones de estructura del capitalismo contemporáneo. En efecto, la referencia alude a cómo se estructuran las relaciones económicas en el espacio de la economía mundial. Y, en particular, sobre qué lógica se estructuran. El concepto puede ser pensado en distintos niveles de agregación, tanto a nivel global como en industrias o ramas de actividad particulares. Entre ellas, por ejemplo, la industria agrobiotecnológica mundial.

16

En este marco, el espacio de la economía mundial puede concebirse como un proceso de diferenciación entre sistemas de acuerdo a su capacidad para crear conocimiento (invención) y explotarlo económicamente a través del control de su difusión comercial (innovación). La articulación entre invención e innovación responde a un proceso en el que intervienen actores políticos de base territorial (tanto a escala local como nacional o supranacional) y una organización privada y global que opera más allá de las fronteras nacionales (Sassen, 2010). La diferenciación de sistemas de innovación da lugar a una estructura de la economía mundial con jerarquías, tanto si se la considera en general como al interior de ramas o industrias específicas. En el polo dominante se ubican los sistemas capaces de producir y gestionar a nivel mundial innovaciones de tipo “fundamental” o “con carácter arquitectónico” (Altenburg *et al.*, 2008). Esta fuerza de innovación potenciada puede objetivarse en el desarrollo tanto de nuevas técnicas productivas como de nuevos diseños dominantes (Sztulwark, 2019).

En el otro polo de la estructura se ubican los sistemas de innovación que (por razones históricas, económicas y políticas) no están en condiciones de disputar el liderazgo innovativo mundial y quedan relegados a una función de adoptante de las técnicas y diseños producidos en el polo dominante de la estructura. La adopción temprana de la innovación combinada con menores costos de producción puede permitir a estos espacios obtener una ventaja competitiva en el mercado mundial. A su vez, en los sistemas periféricos la dinámica innovativa asume rasgos particulares. Se produce innovación, pero de un carácter diferente. Por un lado, la adopción de una tecnología siempre demanda algún tipo de innovación incremental o adaptativa. Por otro, estos sistemas pueden desarrollar la capacidad para realizar innovaciones

secundarias (complementarias a la innovación fundamental), que suponen avances parciales en las tecnologías de proceso o el desarrollo de algún nuevo atributo de un producto ya existente (Altenburg *et al.*, 2008; Breznitz y Murphree, 2010). En este sentido, la estructura de la economía mundial admite estratificaciones y procesos de diferenciación al interior de cada uno de los polos.

Si un rasgo fundamental de la dinámica del capitalismo contemporáneo consiste en un proceso de diferenciación entre sistemas, entonces resulta necesario considerar cómo se estructuran las relaciones entre los actores de ambos polos. La respuesta que una parte de la teoría económica contemporánea dio a este fenómeno es el de “cadena global” (Gereffi, 1996; Kaplinsky, 2000). Se trata de un dispositivo organizacional (que tiene como órgano ejecutivo a una “firma líder”) que permite gobernar un sistema segmentado a nivel productivo y disperso (aunque no de un modo uniforme) a nivel espacial. Esta segmentación responde a las ventajas de especialización vertical que surgen de una nueva división global del trabajo que se despliega a partir del mismo proceso de diferenciación de sistemas de innovación. Esta nueva estructura de gobierno privada y global, sin embargo, no opera de un modo autónomo. Tiende a enlazar sus estrategias económicas con las del poder de las unidades políticas territoriales y de las instancias internacionales a través de las que éstas operan (Sassen, 2010). Las cadenas productivas y las redes políticas globales gobiernan la dinámica de la estructura mundial, desplegando la fuerza de innovación que surgen de los sistemas de innovación más desarrollados y estableciendo las reglas con las cuales esas fuerzas económicas se imponen como dominantes (Fernández, 2016).

En suma, la relación entre innovación y estructura asume en el capitalismo contemporáneo una creciente complejidad. De un lado, la innovación en tanto impulso fundamental del proceso de destrucción creativa se constituye en causa de la estructura. En el caso de la biotecnología agrícola es posible pensar, por ejemplo, cómo a partir de la difusión de las técnicas de ingeniería genética y del desarrollo de semillas modificadas genéticamente, se fueron diferenciando los sistemas de innovación y las estrategias empresariales que explotan económicamente ese nuevo potencial productivo. La innovación como acontecimiento que produce nuevas condiciones de estructura. Pero, a su vez, la innovación puede tener repercusiones que desestructuran las relaciones existentes. Esto es: producir un impasse de la estructura, que abre nuevas posibilidades para que territorios específicos puedan cambiar de posición en la jerarquía mundial.

17

2. La estructuración económica mundial de la agrobiotecnología a partir de la difusión de los cultivos transgénicos

Los avances de la moderna biotecnología, y en particular de aquellas técnicas orientadas a la modificación genética de cultivos, representan un hito de gran relevancia a la hora de comprender los cambios históricos en la actividad productiva de mejoramiento vegetal. Un conjunto de innovaciones efectuado en condiciones de una estructura territorial particular, pero con efectos estructurantes sobre la dinámica del complejo agrobiotecnológico mundial. El punto de partida para la caracterización de este proceso es la descripción de cómo, a partir de una nueva base de conocimiento

(“la moderna biotecnología”), se crearon nuevas técnicas productivas con un carácter disruptivo (en particular, “la ingeniería genética”) que, a su vez, fueron la condición de posibilidad para el desarrollo de nuevos productos (“los cultivos transgénicos”) de amplia difusión mundial. La articulación de estos productos con un conjunto de innovaciones complementarias en los campos de la agronomía, la agroquímica y la metal-mecánica, y la configuración de nuevas condiciones en el plano institucional y regulatorio, dieron impulso a un nuevo modelo de producción agrícola estructurado sobre la base del comando innovativo de un conjunto de actores de base privada y global, hecho que marca un punto de inflexión histórico en la dinámica de la agrobiotecnología mundial (Parayil, 2003).

El interés por el mejoramiento de los cultivos, por supuesto, no es nuevo. El estudio de la genética como ciencia, sin embargo, comenzó recién a comienzos del siglo XX, cuando biólogos como De Vries, Correns y Tschermak redescubrieron las leyes de la herencia que había dado a conocer Mendel en 1866. Luego, uno de los hitos más importantes en el campo de la biología molecular ocurrió en 1953, a partir del descubrimiento por parte de Watson y Crick de la estructura de doble hélice de la molécula de ADN, que permitió conocer cómo es el proceso de reproducción de los genes y el mecanismo de transmisión de la información genética de padres a hijos (Watson, 1968). Este fue el inicio de la genética moderna que, junto con los experimentos de Boyer y Cohen, dieron lugar al primer organismo con ADN recombinante en 1973 y, de ese modo, posibilitaron un paso fundamental para el desarrollo de la moderna biotecnología, y de lo que constituye su técnica fundamental: la ingeniería genética (Rifkin, 1998).

18

La conformación de esta nueva base de conocimiento implicó una importante ruptura con las formas tradicionales de mejoramiento de cultivos. Una planta transgénica es aquella en la cual se ha introducido uno o varios genes nuevos o en la que se ha modificado la función de algún gen propio (Bisang *et al.*, 2006). La transgénesis, como método de mejoramiento vegetal, es una técnica que ha revolucionado el mecanismo por el cual se transfiere la información genética entre organismos vivos. En comparación con las técnicas convencionales de mejoramiento vegetal, en las que el mecanismo se efectuaba mediante repetidos intentos de prueba y error sin el control sobre los genes transferidos, la transgénesis permitió la modificación controlada y dirigida del genoma.⁴ Esta técnica no sólo proporcionó mejoras en la precisión de las modificaciones, sino que, a través de la incorporación de genes de otras especies, habilitó la posibilidad de realizar cambios en el genoma que nunca podrían haberse efectuado por sí solos en la naturaleza (Sovova *et al.*, 2016).

El desarrollo de la moderna biotecnología supone, a su vez, una transformación interna en la propia industria de mejoramiento vegetal, cuyo eje fundamental es la segmentación tecnológica y económica entre las tareas de diseño y transformación del genoma de la planta, por un lado, y las actividades del mejoramiento genético

4. La transgénesis se lleva a cabo por medio de diferentes técnicas, por ejemplo: la biobalística, los protoplastos y los métodos mediados por *agrobacterium*, entre otros (Privalle *et al.*, 2012).

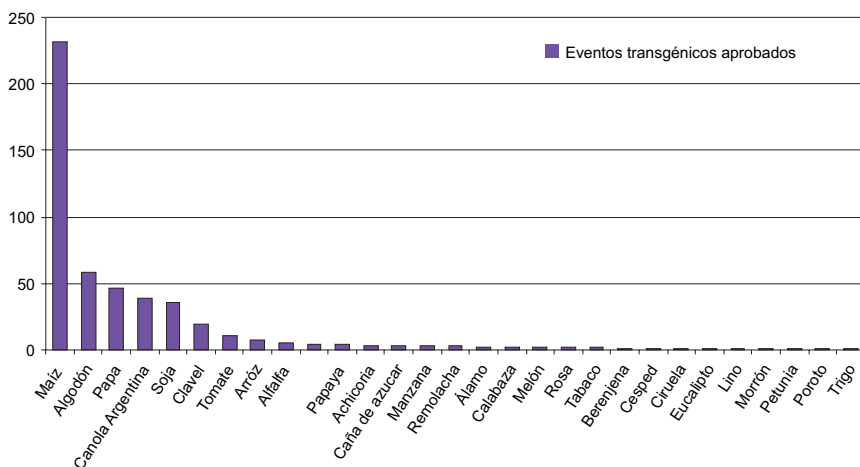
convencional y de reproducción, por el otro. Aunque la primera etapa es dependiente de la segunda, ya que un evento biotecnológico sólo puede difundirse exitosamente si está incorporado (“introgredido”) en un germoplasma adecuado a las condiciones particulares de un territorio específico, entre una y otra media una diferenciación cualitativa: la base de conocimiento sobre la que se apoya y las exigencias económico-organizativas que la difusión comercial del producto demanda. La primera constituye una innovación fundamental que opera un nuevo punto dominante en la estructura. La segunda, en cambio, aunque pre-existente, adquiere un carácter complementario (Sztulwark, 2012).⁵

Los primeros desarrollos de cultivos modificados genéticamente comenzaron a realizarse en la década del 80 (Fukuda-Parr, 2006; Qaim, 2015). Hacia 1986 ya se realizaban pruebas de campo en Estados Unidos y Francia con cultivos transgénicos de tabaco (James y Krattiger, 1996), pero recién a mitad de la década del 90 estos desarrollos lograron instalarse en el mercado de insumos agrícolas. Según los datos brindados por el International Service for the Acquisition of Agri-Biotech (ISAAA), hasta 2017 se encontraban aprobados 493 eventos transgénicos diferentes en el mundo que ocupaban un total de 189,8 millones de hectáreas sembradas (James, 2017). Los principales cultivos sobre los que se han desarrollado variedades modificadas genéticamente son el maíz, el algodón, la papa, la canola argentina y la soja. En efecto, como se observa en el **Gráfico 1**, el 83,6% del total de eventos aprobados fueron desarrollados en alguno de estos cinco cultivos. Asimismo, si bien existe un amplio abanico de mejoras que pueden realizarse en los cultivos transgénicos, los principales rasgos que han sido conferidos a las semillas modificadas tienen como objetivo proveer mejoras en el proceso de producción agrícola. Ellos son la tolerancia a herbicidas y la resistencia al ataque de insectos. Casi el 70% de las semillas transgénicas desarrolladas incorporó alguno o ambos rasgos.⁶ En cambio, los eventos que incluyen modificaciones en la calidad del producto, como por ejemplo mejoras de tipo nutricional, no han logrado, a menos hasta el momento, difundirse exitosamente a nivel comercial. A pesar de que muchos de ellos se encuentran aprobados para su comercialización, razones de orden económico, político y cultural han limitado su difusión (Sztulwark y Girard, 2016a).

19

5. Un ejemplo que da cuenta del carácter dominante de las innovaciones asociadas a las técnicas de ADN recombinante en relación a las de mejoramiento convencional es el hecho de que en Estados Unidos, país líder en agrobiotecnología mundial, las dos principales empresas que desarrollan eventos transgénicos, Monsanto y DuPont, adquirieron a las dos empresas semilleras independientes más importantes de ese país, Dekalb y Pioneer, respectivamente (Kalaitzandonakes y Zahringer, 2018).

6. Fuente: GM Approval Database, ISAAA (2017).

Gráfico 1. Eventos transgénicos aprobados a nivel mundial por cultivo (1992 a 2017)

Fuente: elaboración propia en base a datos publicados por ISAAA (2017)

20

Desde un punto de vista espacial, la adopción de cultivos transgénicos no ha sido homogénea a nivel mundial. En la **Tabla 1** puede observarse cómo Estados Unidos se destaca como el principal país adoptante, con un 40% de la superficie global sembrada con transgénicos. Sin embargo, los países de América del Sur (Brasil, Argentina, Paraguay, Bolivia y Uruguay, entre otros) alcanzaron en forma conjunta el 42% del total. Entre ellos se destaca fuertemente la preponderancia de Brasil y Argentina, que concentran el 39%. Otro espacio geográfico en el que la adopción de esta tecnología ha sido importante es Asia. En efecto, India, Pakistán y China, en conjunto, explican el 9% de la superficie sembrada con cultivos transgénicos. Un punto a destacar es que, de los 24 países que sembraron este tipo de cultivos en 2017, 19 de ellos son países en desarrollo.

En cambio, desde el punto de vista del desarrollo de los productos, se verifica una realidad diferente. Los actores económicos que dominan el desarrollo y la comercialización de eventos transgénicos son, en lo fundamental, un acotado conjunto de empresas multinacionales, que tienen sede en aquellos países en los que se dieron las condiciones de estructura para el impulso de la innovación fundamental. En el **Gráfico 2** se destaca que, de los 493 eventos transgénicos aprobados hasta 2017, el 94% fue desarrollado por empresas transnacionales y otras instituciones de países desarrollados. Sólo 29 eventos transgénicos aprobados fueron desarrollados por empresas o instituciones ubicadas en países en desarrollo.⁷

7. Entre los que se encuentran, por ejemplo, una papa resistente al virus Y (Argentina), un poroto resistente a enfermedades (Brasil), algodón resistente a insectos (India) y una variedad de caña de azúcar tolerante al estrés abiótico (Indonesia), entre otros.

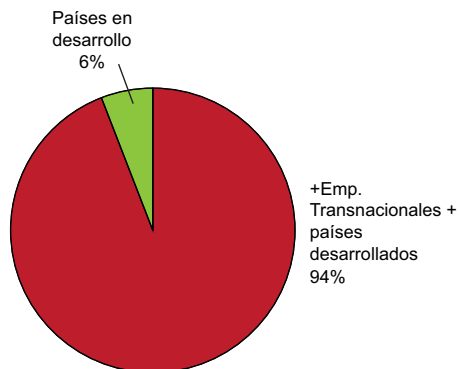
Tabla 1. Superficie total sembrada con cultivos transgénicos en 2017 por país (en millones de hectáreas)

Pais	2017	%
Estados Unidos	75	40
Brasil	50,2	26
Argentina	23,6	12
Canadá	13,1	7
India	11,4	6
Paraguay	3	2
Pakistán	3	2
China	2,8	1
Sudáfrica	2,7	1
Bolivia	1,3	1
Uruguay	1,1	1
Australia	0,9	<0,1
Filipinas	0,6	<0,1
Myanmar	0,3	<0,1
Sudán	0,2	<0,1
España	0,1	<0,1
México	0,1	<0,1
Colombia	0,1	<0,1
Vietnam	<0,1	<0,1
Honduras	<0,1	<0,1
Chile	<0,1	<0,1
Portugal	<0,1	<0,1
Bangladesh	<0,1	<0,1
Costa Rica	<0,1	<0,1
Eslovaquia	<0,1	<0,1
República Checa	<0,1	<0,1
Total	189,8	100

21

Fuente: James, 2017

Gráfico 2. Eventos transgénicos aprobados a nivel mundial por país desarrollador (1992 a 2017)



Fuente: elaboración propia en base a datos de ISAAA (2017)

Por lo tanto, si la estructura de la agrobiotecnología mundial tendió a constituirse a partir de dos funciones diferenciadas —el desarrollo de la innovación fundamental, por un lado, y la adopción y adaptación a condiciones locales, por el otro—, la cuestión fundamental a considerar alude a las condiciones de estructura que posibilitaron a un conjunto de actores monopolizar esa fuerza de innovación disruptiva a nivel mundial. Esas condiciones, como fue propuesto en la sección previa, remiten a las características de un sistema de innovación en el que se articulan la actividad de invención con la de innovación y, por lo tanto, las tareas de creación de nuevo conocimiento con aquellas de tipo económico-organizacional necesarias para comandar su difusión comercial a nivel global.

La difusión de la moderna biotecnología tuvo la impronta del sistema de innovación de Estados Unidos. Aunque se dio de un modo paralelo y complementario a la trayectoria que ocurrió en algunos países de Europa, el núcleo fundamental de esta innovación se dio en aquel país a partir del desarrollo de una novedosa configuración de condiciones político-institucionales, culturales, organizacionales y económicas que permitieron una vinculación sistemática entre la esfera de producción de conocimiento y la de producción de mercancías. Hay ahí un punto de novedad. Aunque se trata de una característica general del propio sistema nacional de innovación de Estados Unidos (Nelson y Wriugh, 1992), esta relación adquiere su propia especificidad en el plano de la agrobiotecnología (Parayil, 2003).

22

Dos decisiones políticas tomadas durante los años 80 en Estados Unidos dan cuenta del nuevo marco institucional en el que va a operar este modo singular de vincular las actividades de invención con la innovación en este país: por un lado, la Corte Suprema de Estados Unidos extendió la protección de las patentes a los organismos vivos; por otro, el Congreso aprueba el Acta Bayh-Dole, que les permitió a las universidades y las pequeñas empresas poseer las patentes de las invenciones realizadas con la utilización de fondos federales (Drahos y Braithwaite, 2002).

En el plano específico de la esfera de creación de conocimiento científico, el protagonismo de las universidades y centros de investigación de este país fue muy significativo. Los avances pioneros en la ingeniería genética corresponden, en lo fundamental, a los trabajos de Boyer en la Universidad de California y de Cohen en la Universidad de Stanford, quienes en 1973 obtuvieron el primer organismo con ADN recombinante. Al año siguiente, la Universidad de Stanford inició una solicitud de patente por esta técnica, que fue concedida en 1980 sólo en Estados Unidos y a partir de la cual se creó un programa pionero de licencias (Egelie *et al.*, 2016).⁸ La patente expiró en 1997, fue licenciada a 468 empresas (73 licencias fueron otorgadas en los

8. La solicitud de esta patente, que incluía desde la técnica de los plásmidos hasta la replicación y expresión del ADN extraño en microorganismos (Pellegrini, 2013), sólo pudo ser presentada en Estados Unidos porque, pese a que los investigadores habían publicado el descubrimiento con anterioridad, allí existe un “período de gracia” de un año que les permitió enviar la solicitud. En cambio, las patentes a nivel internacional requieren realizar la solicitud antes de la publicación del descubrimiento, por lo que Cohen y Boyer quedaron excluidos de la presentación de una patente internacional (Feldman *et al.*, 2005).

primeros cuatro meses de la patente) y le reportó a la Universidad de Stanford una ganancia de 254 millones de dólares (Pellegrini, 2013; Feldman *et al.*, 2005).

El conjunto de herramientas necesarias para el desarrollo de cultivos transgénicos no se limitó a la técnica patentada por la Universidad de Stanford. Demandó, por el contrario, un conjunto de técnicas complementarias, que pueden clasificarse en “habilitantes” o “por rasgos” (Graff *et al.*, 2003a). Las primeras incluyen las herramientas que permiten desarrollar un nuevo cultivo transgénico (métodos de transformación, marcadores de selección y promotores constitutivos), mientras que las segundas generan las bases genéticas para nuevas funcionalidades (promotores específicos, secuencias de direccionamiento y genes que confieren nuevas características). Si bien las instituciones del sector público de Estados Unidos participaron del desarrollo de ambos grupos de técnicas, algunas patentes clave fueron licenciadas de forma exclusiva a empresas del sector privado.⁹

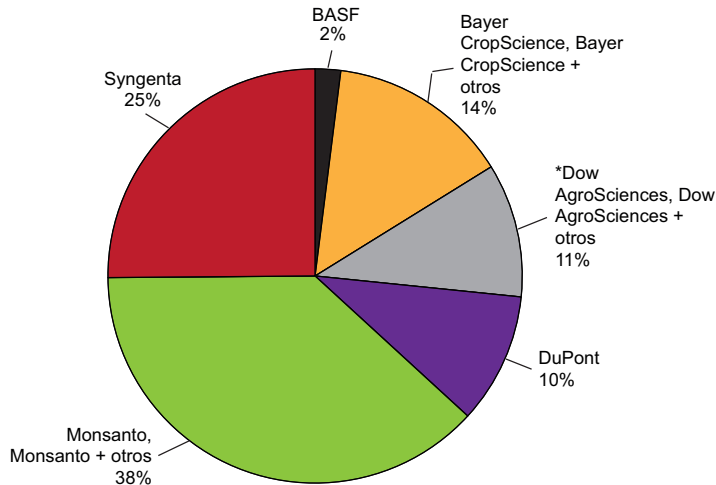
Esta tendencia a la privatización de las principales técnicas agrobiotecnológicas, sumada a las características propias del proceso de investigación y desarrollo y de regulación de un cultivo transgénico, son elementos que actuaron como una barrera a la entrada para que empresas de menor tamaño o instituciones públicas puedan dominar la etapa de difusión comercial de estos productos.¹⁰ Ese proceso tuvo una gran incidencia sobre la configuración empresarial del complejo agrobiotecnológico de Estados Unidos.¹¹ A su vez, y de acuerdo con Graff (2003b), el aumento de los costos derivados de la dispersión de la propiedad de los activos intelectuales en múltiples empresas independientes, impulsó un proceso de gestión estratégica de las patentes que estuvo en la base del proceso de reestructuración económica que se verifica a partir de los años 90 en esta industria, cuando se produce el ingreso de grandes corporaciones de la industria química. El resultado de este proceso fue una elevada concentración económica de la industria, que pasó a estar dominada por seis grandes empresas, tres de Estados Unidos (Monsanto, DuPont y Dow) y tres de Europa (Bayer, Syngenta y Basf), que asumieron una posición oligopólica en el mercado mundial de semillas e insumos agrícolas. Hasta 2017 estas seis empresas desarrollaron el 81% de los eventos transgénicos aprobados a nivel mundial. En el **Gráfico 3** se puede observar cómo se distribuye el desarrollo de estos 402 eventos entre ellas.

9. Por ejemplo, la transformación mediada por *Agrobacterium*, desarrollada por la Universidad de Washington (St. Louis), fue concedida mediante una licencia exclusiva a Ciba-Geigy (actualmente Syngenta); la técnica de bombardeo de partículas, desarrollada en la Universidad de Cornell, fue licenciada también exclusivamente a DuPont para la mayoría de los campos de uso; las patentes de los marcadores de selección más utilizados (que incluyen los genes *nptII* y *hpt*) y del promotor 35S fueron concedidas a Monsanto, entre otros (Graff *et al.*, 2003a; Thomas, 2005).

10. Pellegrini (2013) sostiene que el desarrollo de un nuevo cultivo transgénico demanda un plazo de tiempo de entre ocho y diez años y una inversión de alrededor de 100 millones de dólares.

11. Hacia 1999, siete empresas de la industria agrobiotecnológica (Monsanto, DuPont, Zeneca, Novartis, Dow, Savia y Aventis) mantenían el control de 973 patentes clave de la industria sobre un total de 1188 (Graff *et al.*, 2003b).

Gráfico 3. Eventos transgénicos aprobados a nivel mundial por empresa desarrolladora (1992 a 2017)



Fuente: elaboración propia en base a datos publicados por ISAAA (2017)

24 A pesar del grado de concentración existente, en 2015 comenzó una nueva ola de fusiones y adquisiciones que comprometió a todas las grandes corporaciones de la industria agrobiotecnológica de Estados Unidos y Europa, con la excepción de BASF. A fines de ese mismo año comenzó el proceso de fusión, que concluyó en agosto de 2017, entre las empresas norteamericanas Dow y DuPont para la conformación de un nuevo grupo empresarial, DowDuPont, que alcanzó un valor bursátil de 130.000 millones de dólares. La división agrícola de esta empresa fue recientemente denominada Corteva Agriscience. En febrero de 2016, la firma europea Syngenta fue adquirida en 43.000 millones de dólares por ChemChina, una empresa química propiedad del Estado chino. Por último, en septiembre de 2016, Bayer acordó la compra de Monsanto en 66.000 millones de dólares. Sin embargo, algunas de estas operaciones aún se encuentran en curso debido a los requerimientos impuestos por las autoridades antimonopolio que, en algunos casos, exigen a las empresas que realicen desinversiones en ciertos mercados muy concentrados (Bonny, 2017).

De este modo, se presenta un nuevo escenario de la estructura industrial de la agrobiotecnología mundial. A pesar de la existencia de países que, a lo largo del período de difusión de la tecnología, han logrado desarrollar ciertas capacidades nacional de innovación en ese campo —como, por ejemplo, India, Australia, Japón, Brasil o Argentina—, los centros territoriales del polo dominante se ubican en Estados Unidos (Dow-DuPont) y Alemania (Bayer-Monsanto), al que se suma, en carácter de núcleo emergente, China (ChemChina-Syngenta), país que ha realizado en esta industria la adquisición de un firma extranjera más grande de su historia.

En las causas que explican este proceso se mezclan razones de coyuntura con otras de más largo alcance. Entre las primeras hay que ubicar, en primer lugar, la fuerte caída de los precios de los productos agrícolas, que habían alcanzado niveles muy altos en los años previos, lo que impactó sobre las ventas en los mercados de semillas y agroquímicos. A su vez, la existencia de bajas tasas de interés durante 2016, favoreció el financiamiento de estos procesos de fusión y adquisición (Clapp, 2017). Desde una perspectiva de largo plazo, lo que se verifica es la maduración de la innovación fundamental que había marcado el comienzo de una nueva trayectoria tecnológica. En efecto, la persistencia de muy elevados costos de investigación y desarrollo, regulación y de gestión de la propiedad intelectual contrasta con las dificultades que esta tecnología ofrece para generar nuevas innovaciones con un impacto productivo significativo (PROCISUR, 2017). Particularmente relevante es el hecho de que los eventos transgénicos que ofrecen modificaciones que afectan a la calidad del producto no hayan logrado llegar exitosamente al mercado. En ese marco, los nuevos eventos que se derivan de la transgénesis vegetal vienen quedando reducidos a mejoras en la eficiencia de los rasgos que ya se encuentran ampliamente difundidos entre los productores, pero no en la inserción de algún elemento disruptivo. En estas condiciones específicas, la edición génica pugna por posicionarse como nueva innovación fundamental de la agrobiotecnología mundial.

3. Efectos sobre la estructura de la difusión de la edición génica en su etapa inicial

En los últimos años se ha producido un avance significativo en el desarrollo de las técnicas de ingeniería genética. Nuevos conocimientos tecnológicos han posibilitado la creación de técnicas que permiten el mejoramiento de los cultivos sin la necesidad de introducir un gen foráneo en la semilla que se quiere modificar. Estas nuevas técnicas de mejoramiento de cultivos (NBT, por sus siglas en inglés) dan por resultado plantas que no pueden distinguirse de otras que fueron obtenidas por medio de técnicas de mejoramiento convencional, y que tampoco son transgénicas, ya que no se les ha añadido un gen de otra especie (Kanchiswamy *et al.*, 2015).

Las NBT incluyen una gran variedad de técnicas, dentro de las que se encuentran, conformando un subgrupo, aquellas que permiten la edición de genes.¹² Las técnicas de edición génica se pueden utilizar para introducir distintos tipos de mejoras en los cultivos, ya sea tanto para potenciar cualidades existentes como para incluir nuevas propiedades en las plantas. Estas técnicas se destacan, a su vez, por su gran potencial para reducir los tiempos y los costos del proceso de mejora vegetal (PROCISUR, 2017). Asimismo, este subgrupo se diferencia de las otras NBT por la gran cantidad de patentes que existen sobre ellas (Lusser *et al.*, 2012).

12. Entre las que se pueden nombrar: cisgénesis, intragénesis, mejoramiento por ingeniería reversa, agroinfiltración, agroinoculación, floral dip, metilación del ADN RNA-dependiente (RdDM), biología sintética y las técnicas de edición génica (Lusser *et al.*, 2011).

A grandes rasgos, la edición génica se lleva a cabo mediante la inserción, sustitución, eliminación o interrupción de secuencias de ADN, utilizando nucleasas como “tijeras moleculares” que cortan el ADN en un lugar determinado y permiten su edición (Arujanan y Aldemita, 2015). El uso de esta herramienta permite alcanzar una mayor precisión y velocidad en la modificación del genoma de una planta que aquella que se obtenía a través de la transgénesis vegetal. Esto se debe a que por medio de la transgénesis no puede controlarse el lugar específico de inserción del transgén en el ADN, por lo que esta se realiza al azar. Por lo tanto, es necesario realizar una gran cantidad de repeticiones hasta hallar los eventos en los cuales dichas inserciones no generen interferencias con otros genes y se expresen de la forma esperada. En cambio, la edición génica permite dirigir segmentos del ADN a sitios del genoma donde se sabe que éste funcionará como se espera y que no interferirá con el funcionamiento de otros genes aledaños (Arujanan y Aldemita, 2015; Kamthan *et al.*, 2016).

El carácter disruptivo de la edición génica a nivel tecnológico abre nuevos interrogantes acerca del impacto estructural que su difusión puede provocar sobre la dinámica económica de la agrobiotecnología mundial. A pesar del carácter temprano de su difusión, es posible analizar las condiciones de estructura que se van desplegando en esta fase inicial de su desarrollo, y considerar, sobre esa base, algunas implicancias preliminares para los países que se integran a esta estructura mundial a partir de una posición de adoptante.

3.1. Las técnicas de edición génica y sus principales productos

26

Una de las primeras técnicas que se utilizaron para la edición génica fueron las nucleasas tipo dedos de zinc (ZFN, por sus siglas en inglés). Esta técnica fue desarrollada en 1991 y, si bien con el tiempo se ha ido perfeccionando, en la actualidad ya ha sido superada por otras de mayor precisión y menor costo (Urnov *et al.*, 2010).

Una segunda técnica es la que se conoce como nucleasas efectoras tipo activadores de transcripción (TALEN, por sus siglas en inglés). Esta técnica ofrece una mayor facilidad de diseño respecto de la anterior. Además, reconoce las secuencias de ADN nucleótido por nucleótido y permite establecer secuencias de reconocimiento más largas, por lo que aumenta en gran medida su precisión. Asimismo, los TALEN permiten el apilamiento de genes, aunque resulta dificultoso realizar ediciones en múltiples sitios a la vez (Fichtner *et al.*, 2014; Sovová *et al.*, 2016). A través de la utilización de esta técnica, la empresa Calyxt (ex Collectis Plant Science) desarrolló una soja con alto contenido oleico y una papa que permite su almacenamiento en frío y que cuenta con un menor nivel de acrilamida. Los ensayos de campo de estos dos cultivos fueron completados durante 2015 (Boglioli y Richard, 2015).

En tercer lugar, la técnica de mutagénesis dirigida por oligonucleótidos (ODM, por sus siglas en inglés) utiliza oligonucleótidos para inducir mutaciones dirigidas en el genoma de una planta. La ventaja de este método es que los oligonucleótidos introducidos se degradan mientras que las mutaciones inducidas son heredadas de forma estable (Arujanan y Aldemita, 2015; Lusser *et al.*, 2012). El primer cultivo editado genéticamente aprobado y comercializado fue desarrollado bajo esta técnica por la empresa Cibus (con sede en San Diego, California) y se lo nombró “SU Canola”,

una variedad tolerante a la sulfonilurea. Esta empresa utilizaba la técnica ODM como parte de una tecnología de mejoramiento de cultivos propia denominada *Rapid Trait Development System* (RTDS). Debido a que sólo fueron modificados unos pocos nucleótidos de los genes existentes en la planta este cultivo no fue considerado como transgénico, sino que se lo consideró como resultado de un proceso de mutagénesis. Por lo tanto, para su liberación comercial en Estados Unidos no fue necesaria la aprobación del Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), el organismo encargado de regular los cultivos biotecnológicos en ese país. Asimismo, también obtuvo su aprobación regulatoria en Canadá y en 2015 fueron cultivadas 4000 hectáreas en Estados Unidos (Ainsworth, 2015; Arujanan y Aldemita, 2015). Actualmente esta empresa se encuentra desarrollando mediante técnicas similares una variedad de lino tolerante al glifosato que espera su salida al mercado en Estados Unidos y que sería el primer cultivo resistente al glifosato no transgénico, una variedad de arroz tolerante a herbicidas, y una variedad de papa resistente al patógeno *Phytophthora infestans* (tizón tardío) (Schinkel y Schillberg, 2016).

Por último, la técnica más reciente y considerada como la más disruptiva dentro de la edición génica es la de repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas (CRISPR, por sus siglas en inglés). La comunidad científica se ha inclinado por la utilización de CRISPR/Cas9, debido a que es una técnica aún más sencilla de diseñar y de construir que las anteriores, ofrece una mayor flexibilidad, es más eficiente y barata que los otros sistemas de edición génica, y puede usarse para editar múltiples sitios en simultáneo o eliminar fragmentos de ADN más grandes (Kamthan *et al.*, 2016; Fichtner *et al.*, 2014).

27

A partir del uso de esta técnica se desarrolló y aprobó en Estados Unidos una variedad de hongo champiñón con resistencia a la oxidación (*browning*). Este cultivo fue diseñado por Yinong Yang, de la Universidad Estatal de Pensilvania, quien logró reducir la actividad enzimática que produce el pardeamiento del hongo en un 30%, prolongando la vida útil del cultivo. El investigador presentó esta variedad ante APHIS en octubre de 2015 y el 13 de abril de 2016 el organismo contestó que, debido a que el cultivo no contiene ADN de otras especies, ni la siembra ni la comercialización debían transitar el proceso regulatorio destinado a cultivos transgénicos (Waltz, 2016a).

A su vez, la empresa DuPont desarrolló una variedad de maíz ceroso para que su almidón se encuentre compuesto únicamente de amilopectina. Este producto se utiliza en la industria de alimentos procesados y adhesivos, y esta característica le confiere al cultivo un mayor rendimiento respecto del maíz ceroso normal. Ese cultivo tampoco fue regulado por APHIS, debido a las mismas razones que se expusieron en el caso del hongo champiñón, y la empresa espera que la comercialización de este producto ocurra dentro de los próximos cinco años. Para poder realizar la aplicación de la técnica CRISPR/Cas9, DuPont desarrolló una estrategia que incluyó asociarse previamente con la Universidad de Vilnius (Lituania) y con Caribou Bioscience (Berkeley, California) (Waltz, 2016b).

También, hay variedades de soja desarrolladas por DuPont para las cuales en 2015 se realizaron las pruebas en invernaderos, y durante 2016 las pruebas de campo. Estas variedades podrían llegar al mercado en cinco años aproximadamente. Por otro

lado, en la Universidad de Florida se están editando naranjos bajo esta misma técnica con el objetivo de volverlos resistentes al greening de los cítricos, una enfermedad bacteriana fuertemente destructiva (Ledford, 2017a). También, el Laboratorio Cold Spring Harbor (Nueva York) está desarrollando una variedad de tomate que mejora el rendimiento del cultivo a través de la optimización de las ramas y del tamaño del fruto (Ledford, 2017b). Por último, otros cultivos que se encuentran en desarrollo son: maíz tolerante a la sequía, trigo y arroz resistentes a enfermedades, tomate con maduración de frutos retardada, maní sin alérgenos y papa sin pardeamiento enzimático.¹³ A su vez, también se espera poder editar en un futuro cercano rasgos más complejos que son codificados por varios genes, por ejemplo, la fotosíntesis mejorada (James, 2015).

3.2. La estructuración tecno-económica de la edición génica en el polo dominante

Todas las técnicas que son utilizadas para la edición de genes y que fueron presentadas en el apartado previo ya han sido patentadas por diferentes empresas o universidades y, en la mayoría de los casos, fueron concedidas licencias a otras empresas para su explotación económica. El modo particular en que se va configurando el control económico de la innovación permite aproximar a las relaciones de estructura que se van desplegando a medida que las técnicas de edición génica sirven de base para la introducción de nuevos productos en el mercado. El nudo de esa trama lo constituye la gestión de la propiedad intelectual.

En el caso de la técnica ZFN, el conjunto de patentes que la protege pertenece a Sangamo Therapeutics, una empresa con sede en California fundada en 1995.¹⁴ Por fuera del campo de la medicina, esta empresa le concedió en 2007 un derecho exclusivo a la empresa Sigma Aldrich para desarrollar, a través de la técnica ZFN, líneas celulares modificadas para la producción comercial de productos farmacéuticos de base proteica y animales modificados genéticamente (Grushkin, 2011).

Por otro lado, en 2008 Sangamo Therapeutics le concedió a Dow AgroSciences el derecho exclusivo para usar esta técnica en la modificación del genoma de plantas (Chen y Ow, 2017). A partir de esta herramienta, la empresa Dow desarrolló la plataforma EXZACT Precision Technology, la cual combina el uso de la técnica ZFN con otras técnicas complementarias. Esta plataforma tecnológica ha sido desarrollada para ser utilizada en varios tipos de cultivos, como el maíz, la soja, la canola y el trigo. De este modo, Dow AgroSciences no sólo se encarga del desarrollo de variedades de cultivos editados genéticamente, sino que además comercializa la técnica (a través del otorgamiento de sub-licencias) para su utilización por parte de otros actores (Rudgers y Sastry-Dent, 2014). Monsanto ha sido una de las empresas que ha logrado llegar a un acuerdo de concesión de licencias con Dow para poder incorporar el uso de EXZACT Precision Technology al desarrollo de sus productos.

13. Este proyecto se está realizando en Argentina, en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Más información en: <http://ria.inta.gov.ar/contenido/modifican-el-gen-que-provoca-que-la-papa-se-ponga-negra>.

14. Más información en: <http://www.sangamo.com/>.

Hasta el momento, sin embargo, ninguno de estos desarrollos llegó hasta la etapa de introducción al mercado (Schinkel y Schillberg, 2016). A su vez, el escenario de su difusión puede verse afectado por el hecho de que a partir de 2018 comenzarán a expirar algunas de las patentes con las cuales la empresa Sangamo protege la técnica ZFN (Scott, 2005).

En el caso de la técnica TALEN, las dos principales patentes que protegen la propiedad intelectual pertenecen, por un lado, a la Universidad de Minnesota y a la Universidad Estatal de Iowa (Estados Unidos) y, por otro, a la Universidad Martín Lutero de Halle-Wittenberg (Alemania). En 2011 las dos primeras le otorgaron una licencia exclusiva para el uso de esta herramienta a Collectis, una spin-off del Instituto Pasteur (Francia) dedicada al estudio de la edición génica para el desarrollo de tratamientos médicos contra el cáncer (Grushkin, 2011).¹⁵ Un año atrás, esta empresa había creado Collectis Plant Sciences, una subsidiaria encargada del desarrollo de productos agrícolas mejorados a través de la aplicación de técnicas de edición génica. Esta última empresa, que en 2015 cambió su nombre corporativo y pasó a llamarse Calyxt, obtuvo a través de Collectis el derecho exclusivo sobre la técnica TALEN.¹⁶

A su vez, en 2014, Collectis firmó un acuerdo de licencia cruzada con una fundación estadounidense sin fines de lucro llamada Two Blades, que tiene como objetivo la búsqueda de soluciones frente a las enfermedades que atacan a los principales cultivos comerciales y de subsistencia.¹⁷ Esta fundación tiene en su poder los derechos exclusivos para el uso comercial del código efector TAL, el mecanismo mediante el cual se produce la unión de las secuencias de ADN cortadas durante el proceso de edición génica, desarrollado por la Universidad Martín Lutero de Halle-Wittenberg. A través de este acuerdo, Two Blades recibió la licencia sobre la técnica TALEN de Collectis para utilizarla sin fines de lucro y para algunas aplicaciones comerciales vinculadas a sus programas de resistencia de enfermedades, mientras que Collectis Plant Sciences recibió una licencia para poder utilizar de forma comercial el código efector de TAL. De esta manera, Collectis aseguró su posición en el mercado y, junto a Thermo Fisher Scientific (empresa con la que ha realizado una serie de acuerdos para la utilización de TALEN fuera del campo terapéutico), se convirtieron en las principales responsables de la concesión de sublicencias para el uso de esta técnica en variedades vegetales (Boglioli y Richard, 2015).¹⁸

En el caso de la técnica ODM existen varias instituciones que disponen de patentes vinculadas. La que posee la principal familia de patentes es la empresa Cibus. Por otro lado, la empresa de agrobiotecnología KeyGene (Países Bajos) comercializa esta técnica a través del nombre KeyBase. Otras instituciones que cuentan con patentes sobre esta técnica son la Universidad de Delaware (Estados Unidos) y la compañía perteneciente a la empresa DuPont, Pioneer Hi-Bred (Lusser *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2015).

15. Más información en: <http://www.collectis.com/>.

16. Más información en: <http://www.calyxt.com/>.

17. Más información en: <http://2blades.org/>.

18. Más información en: www.thermofisher.com.

El análisis para el caso de la técnica CRISPR/Cas9 es un poco más complejo debido a la disputa que se generó en torno a su propiedad intelectual. De forma resumida, en 2012 Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier, investigadoras de la Universidad de California y de la Universidad de Viena respectivamente, publicaron por primera vez un estudio que demostraba que la enzima Cas9 podía ser dirigida para cortar sitios específicos de ADN, posibilitando su uso para la edición del genoma (Jinek *et al.*, 2012). Sin embargo, a comienzos de 2013, un investigador del Instituto Broad del MIT y Harvard, Feng Zhang, publicó el primer artículo donde la técnica CRISPR/Cas9 se utilizaba en células eucariotas (Cong *et al.*, 2013). Aunque las dos investigadoras ya habían realizado la solicitud de la patente a fines de 2012, Zhang lo hizo más tarde a través de un sistema acelerado y en 2014 se le concedió la patente. No obstante, en ese momento, el sistema estadounidense todavía otorgaba prioridad a quien pudiera demostrar que había sido el “primero en inventar”, independientemente del momento en que se haya presentado la solicitud.¹⁹ Esto permitió al equipo de la Universidad de California iniciar un recurso de interferencia en la otorgación de la patente hasta que fuera aclarado quién fue el primero que realizó la invención (Ledford, 2016).²⁰ En febrero de 2017, la justicia determinó que no hubo tal interferencia, debido a que la invención del Instituto Broad fue considerada como diferente respecto de la que se llevó a cabo conjuntamente en la Universidad de California y la de Viena.²¹ Por lo tanto, hasta el momento, el Instituto Broad logró mantener las patentes ya concedidas. No obstante, los especialistas esperan que esta contienda continúe (Ledford, 2017c).²²

Pese al largo desarrollo del conflicto de patentes, las instituciones protagonistas de la contienda decidieron no esperar a que ésta se resolviera para licenciar la técnica CRISPR/Cas9 en sus distintos campos de uso (Contreras y Sherkow, 2017). La Universidad de California y la Universidad de Viena otorgaron, en 2011, una licencia exclusiva para todos los campos de aplicación de la técnica CRISPR/Cas9 a Caribou Biosciences, una startup co-fundada por Jennifer Doudna. Asimismo, esta empresa le concedió una sub-licencia exclusiva para el campo de desarrollo de terapias humanas a otra empresa fundada por Doudna, Intellia Therapeutics, y en 2015 le otorgó una licencia cruzada exclusiva a DuPont para la utilización en aplicaciones agrícolas. Así, DuPont puede utilizar la herramienta de edición génica en cultivos importantes, como el maíz y la soja, mientras que Caribou se encarga de explotar cultivos que cuentan con mercados más reducidos, como frutas y vegetales. A su vez, no se debe descartar la posibilidad de que los derechos de la licencia cedidos a DuPont sean transferidos a la empresa Dow, tras la concreción de la fusión entre ellas. Es claro el interés de

19. Estados Unidos modificó este sistema en marzo de 2013 (Ledford, 2016).

20. En Europa la solicitud de patente presentada por Zhang también dio origen a un conflicto sobre la propiedad intelectual de esta técnica (Kucpecz, 2014). Es llamativo que ninguna de las partes protagonistas del conflicto presentaron una solicitud de patente en China (Peng, 2016).

21. La diferencia estaría justificada en que la invención de la Universidad de California se basa en el diseño de la molécula de ARN que guía a la enzima Cas9 a un sitio determinado del genoma, lo que constituye un elemento clave de la técnica CRISPR/Cas9. Sin embargo, fue entendido que la aplicación de esta técnica en células eucariotas es una invención diferente de la anterior. Por lo tanto, el Instituto Broad tendría el dominio de las patentes que permiten implementar esta técnica en humanos, animales y plantas, mientras que la patente que sería asignada a la Universidad de California cubriría la utilización de CRISPR/Cas9 en todo tipo de células (sean eucariotas o no) (Ledford, 2017c).

22. Para un desarrollo más exhaustivo de este conflicto, véase Park y Babcock (2017).

las dos empresas por el desarrollo de esta técnica. Ambas se encuentran dentro del grupo de actores que poseen la mayor cantidad de patentes sobre CRISPR/Cas9.

Por otro lado, el Instituto Broad otorgó en 2013 una licencia exclusiva de la técnica CRISPR/Cas9 para el desarrollo de terapias humanas a su *spin-off* Editas Medicine y, a fines de 2016, se le concedió a esta empresa la licencia exclusiva sobre CRISPR/Cpf1. Esta nueva técnica fue descubierta en 2015 por Zhang y su equipo, quienes obtuvieron su patente sin conflictos. La novedad radica en que la nueva enzima de corte de ADN Cpf1 podría facilitar aún más la edición génica dada la mayor simplicidad y precisión que permite la utilización de esta nueva enzima (Zetsche *et al.*, 2015). Por otro lado, Editas Medicine otorgó una serie de sub-licencias no exclusivas sobre CRISPR/Cas9 a otras empresas. En 2013, a través de Addgene (una organización sin fines de lucro), se garantizó a los investigadores académicos el acceso a la técnica para el desarrollo de investigación básica. Para las demás áreas, que no implican desarrollo de terapias humanas, el Instituto Broad concedió licencias no exclusivas (Egelie *et al.*, 2016; Contreras y Sherkow, 2017). Particularmente, en el campo de aplicación agrícola, en 2016 se licenció la técnica CRISPR/Cas9 a la empresa Monsanto.

A su vez, en 2013 la investigadora Emmanuelle Charpentier cofundó la empresa CRISPR Therapeutics (Suiza), a la cual le otorgó la licencia exclusiva para el uso de la técnica CRISPR en el campo de desarrollo de terapias humanas. Esta compañía, a su vez, concedió sublicencias exclusivas a otras empresas como, por ejemplo, Vertex Pharmaceuticals (Estados Unidos). En 2015, estableció un acuerdo con Bayer para crear una empresa conjunta destinada exclusivamente al desarrollo de tratamientos médicos. Para el resto de los campos, esta investigadora acordó mediante una licencia exclusiva con ERS Genomics (Irlanda), la cual le otorgó una sublicencia no exclusiva a Bayer y, recientemente, firmó un acuerdo de licencia exclusiva para el uso de la técnica en aplicaciones agrícolas con DuPont (Schinkel y Schillberg, 2016; Contreras y Sherkow, 2017).²³

31

Por último, existen otros actores que tiene en sus manos patentes sobre la técnica CRISPR/Cas9 y que han decidido licenciarlas. Entre ellos se encuentran la Universidad de Minnesota, que ha cedido los derechos a la empresa Calyxt; el Wellcome Trust Sanger Institute (Reino Unido), que ha establecido una licencia con la empresa AstraZeneca (Reino Unido); y Toolgen (Corea del Sur), que ha realizado acuerdos con Thermo Fisher (Estados Unidos). En todos estos casos, los acuerdos de licencias que se establecieron fueron del tipo no exclusivo (Brinegar *et al.*, 2017).

En suma, tres elementos fundamentales definen el modo en que se fue estructurando una trama tecno-económica en torno a la gestión de la propiedad intelectual a medida que la edición génica fue avanzando en su difusión. Primero, en la mayoría de los contratos de licencia, se contempló la garantía para un acceso libre de la comunidad científica al uso de las técnicas para la realización de investigación básica. Segundo,

23. Más información en: <http://ersgenomics.com/press-release-2017-06-27.php>.

salvo alguna excepción, en la mayoría de los casos los inventores de las técnicas han utilizado la protección de la propiedad intelectual para establecer licencias onerosas en el caso del uso de estas técnicas con fines comerciales. Por último, mientras las principales empresas de la agrobiotecnología mundial, han asegurado su participación en, por lo menos, una de las cuatro técnicas de edición de génica, emergen nuevos actores que tienen el potencial de desafiar el control monopólico que ejerce sobre esta industria un acotado conjunto de grupos económicos transnacionales.

3.3. *¿Impasse en la estructura?*

La difusión de la edición génica (y por lo tanto el análisis de su impacto sobre la estructura de la agrobiotecnología mundial) es un proceso incipiente e incompleto. De hecho, el acto de innovación en sentido estricto —esto es: la introducción comercial de un nuevo producto al mercado— todavía no fue realizado salvo como excepción. Sin embargo, en esta etapa temprana de su desarrollo, se viene constituyendo, en torno de la gestión de la propiedad intelectual, un conjunto de relaciones entre los agentes que dominan diferentes instancias del ciclo de vida de una tecnología. La pregunta a considerar en este punto es si el modo en que se estructura esta trama de relaciones en el caso de la edición génica presenta diferencias significativas respecto de aquella que se estableció en torno de la transgénesis vegetal. Esto es, si es posible identificar signos de un *impasse* respecto de aquella estructura.

El primer contraste alude al modo en que se vinculan los actores que operan en las instancias de invención y de innovación. En el caso de la transgénesis, los inventores nunca lograron alcanzar un alto grado de dominio sobre la difusión de la tecnología fundamental, en parte por el hecho de que la patente de la técnica de ADN recombinante, propiedad de la Universidad de Stanford, expiró en 1997, pocos años después de que comenzara el auge de los cultivos transgénicos, pero también porque el mecanismo de otorgamiento de licencias adoptado no implicó un gran costo ni una barrera a la entrada significativa para el uso comercial de los agentes de la innovación: las empresas que desarrollaban semillas transgénicas.

En el caso de la edición génica, la situación pareciera ser diferente. Los actores que desarrollaron la tecnología fundamental, en este caso las herramientas de edición génica, son capaces de ejercer un alto grado de control económico sobre su difusión. Las universidades que crearon las técnicas TALEN y CRISPR, y que poseen las patentes sobre ellas, optaron por el establecimiento de un sistema de licencias exclusivas que, en la mayoría de los casos, fueron otorgadas a desprendimientos empresariales (*spin-offs*) de sus propias instituciones. Estos *spin-offs* utilizan las técnicas de edición génica para el desarrollo de sus propios productos, pero también otorgan sublicencias (exclusivas o no) a otras empresas que solicitan acceso al uso de la técnica. Puede observarse, según lo detallado anteriormente, que las empresas que hasta el momento obtuvieron sublicencias para la utilización de estas técnicas en el campo de uso agrícola son grandes corporaciones como Monsanto, Bayer y DuPont.

En el caso de las técnicas ZFN y ODM, la situación es diferente porque son técnicas que no fueron desarrolladas por universidades, sino por empresas. En este punto

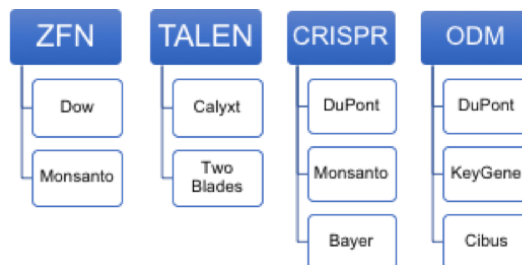
no se descarta el vínculo universidad-empresa, pero el hecho a destacar es que esa relación no estuvo mediada por un desprendimiento empresarial controlado por la universidad. Esto implicó que las empresas desarrolladoras pudieran optar por licenciar sus técnicas de forma exclusiva a otras empresas, otorgar licencias no exclusivas, o bien directamente desarrollar ellas mismas las semillas editadas. Sin embargo, a pesar de la modalidad diferente, el rasgo de estructura se mantiene: ya sea una empresa vinculada a una universidad o independiente, los propietarios de la invención de las técnicas de edición génica lograron establecer el control económico sobre la difusión comercial de la innovación.

El segundo elemento a considerar tiene que ver con los agentes de la innovación, esto es, con las empresas u organizaciones públicas que tuvieron acceso a las técnicas de edición génica con el fin de desarrollar nuevos productos. En algunos casos, estas empresas desarrollaron plataformas tecnológicas más complejas, para las que luego otorgaron sublicencias a otras empresas del sector. En este segmento, al igual que en el caso de los transgénicos, se destaca la participación de las grandes empresas de la agrobiotecnología mundial. También se verifica (**Figura 1**) la aparición de empresas u organismos de menor poder económico, pero que han logrado jugar un papel relevante en esta etapa inicial de la difusión de la edición génica, porque lograron combinar los elementos fundamentales para el desarrollo de un nuevo producto: el acceso a la técnica fundamental y el desarrollo de capacidades tecnológicas para su uso, esto es: el entendimiento de los genomas, de la identificación de los genes y sus reguladores, y de su impacto sobre en el fenotipo (PROCISUR, 2017).

Esta apertura a nuevos actores constituye lo propio del ciclo inicial de toda nueva tecnología disruptiva, en tanto hasta que la innovación no adquiere el carácter de diseño dominante de la industria, no se consolidan los activos complementarios relevantes para su explotación económica. Esta característica define, según la expresión de Pérez (2001), una ventana de oportunidad temporal para el ingreso de nuevos actores, al menos hasta el momento en que la maduración del ciclo de vida de la innovación redunde en un aumento significativo de las barreras a la entrada en la industria.

33

Figura 1. Los agentes de la innovación: usuarios de las técnicas de edición génica



Fuente: elaboración propia

El tercer punto de comparación remite al vínculo entre los actores de la innovación fundamental y los de las innovaciones complementarias. En el caso de la transgénesis, y en el marco de las dificultades operadas para que los inventores controlen la difusión comercial de la técnica de ADN recombinante, los agentes de la innovación fundamental —esto es, aquellas empresas que utilizaron la transgénesis vegetal para el desarrollo de eventos biotecnológicos— tendieron a patentar los genes modificados y a desarrollar, sobre esa base, nuevos productos articulados en el marco de un paquete tecnológico más amplio. Pero, como por la propia naturaleza de la actividad de mejoramiento vegetal un evento transgénico no puede difundirse si no es en el marco de un material genético de elite adaptado a las condiciones edáficas de un territorio particular, los agentes de la innovación optaron por un control vertical de la industria semillera, ya sea a través de acuerdos de licenciamiento o a través de un acelerado proceso de integración vertical (Kalaitzandonakes y Zahringer, 2018).

En el caso de la edición génica, dado el carácter temprano de su difusión, aún no es posible establecer cómo se dará el vínculo con el resto de los actores que se ubican en las etapas aguas abajo de la industria. Kalaitzandonakes y Zahringer (2018) sostienen que la difusión de la edición génica se dará en el marco de una mayor complementariedad con otras plataformas tecnológicas y, en particular, con aquellas relacionadas con las técnicas de agricultura de precisión. Desde este punto de vista, habría que esperar para esta etapa que prevalezca el efecto integración horizontal por sobre el de integración vertical. Sin embargo, la tendencia hacia una mayor especialización vertical en la industria de mejoramiento vegetal dependerá crucialmente de las condiciones institucionales que regulan la propiedad intelectual en los países adoptantes de la innovación.

34

Conclusiones

La difusión de la edición génica es un hecho disruptivo desde un punto de vista tecnológico y como tal, ofrece nuevas perspectivas para pensar su efecto sobre la dinámica económica de la industria agrobiotecnológica mundial. Sin embargo, no sería la primera vez que una promesa de este tipo encuentra dificultades para expresar todo su potencial en el plano productivo. Algo de esa limitación se hizo presente en el caso de las técnicas de ADN recombinante y el desarrollo de semillas transgénicas (PROCISUR, 2017). En la etapa inicial de su desarrollo, la difusión de la edición génica está marcada por la incertidumbre acerca de su efecto real sobre la estructura.

Parte de esa incertidumbre tiene que ver con las condiciones generales en las que este nuevo conjunto de técnicas se difunde. Un primer interrogante se vincula con el grado de rechazo que esta nueva forma de modificación genética tendrá en los consumidores. ¿El hecho de que los productos de la edición génica no sean transgénicos (esto es, que no estén contruidos a partir de secuencias de ADN foráneo) implicará una mayor aceptación por parte de la sociedad? Un segundo interrogante alude a las tendencias del proceso de acumulación de capital a nivel mundial. ¿La industria agrobiotecnológica continuará articulada principalmente con la industria agroquímica o, por el contrario, es posible prever nuevos fenómenos de convergencia económica entre la agrobiotecnología y otras industrias, como la farmacéutica (con la

que tiene una base de conocimiento común) o la informática-electrónica, que provee dispositivos tecnológicos fundamentales para la gestión de la información y para la propia mejora de las técnicas de mejoramiento vegetal?

A pesar de la existencia de un marco esencialmente abierto, en este trabajo se identificaron nuevos elementos de estructura necesarios para pensar en qué medida los países que en la etapa anterior (la que se corresponde con el dominio de las técnicas de transgénesis vegetal) ocuparon una función de adoptantes de la innovación fundamental pueden, aprovechando la situación abierta por la propia invención de la edición génica, considerar una perspectiva de cambio de su posición en esa estructura.

La principal conclusión de este trabajo es que en el pasaje de una innovación fundamental a otra se estaría desplegando una nueva configuración de estructura en la industria de la agrobiotecnológica mundial. En el caso de los transgénicos, las funciones de la estructura se constituían en torno a la polarización entre el desarrollo y la adopción de las innovaciones fundamentales. Los desarrolladores afirmaban su papel dominante a partir de las condiciones institucionales para el acceso y uso de las técnicas de ingeniería genética y del desarrollo de activos complementarios necesarios para explotar económicamente una innovación, sobre todo cuando las barreras regulatorias y de gestión de la propiedad intelectual sobre el gen transformado tendían a ser elevadas. En cambio, el papel de los adoptantes se sustentaba en el dominio de innovaciones complementarias (dominio de técnicas maduras de mejoramiento convencional, aunque rejuvenecidas con el uso de herramientas de la biología molecular) y el control sobre una red de comercialización integrada en el territorio.

35

Con la irrupción de la edición génica, la función de adoptante de la innovación fundamental se mantiene sin grandes cambios, y con ella la importancia de las innovaciones complementarias. Pero en la esfera de la innovación fundamental se produce una diferenciación entre la función de la creación de técnicas (lugar que permanecía en el plano de la “invención” en la etapa anterior pero que ahora se incorpora en la esfera de la “innovación”) y la función de uso de la técnica para el desarrollo de nuevos productos. Este es el elemento de novedad en la estructura.

En el plano de la creación de técnicas, las ventajas de los países desarrollados son decisivas y se sustentan en la existencia de un sistema nacional de innovación en condiciones de avanzar de un modo sistemático sobre la frontera mundial del conocimiento científico y tecnológico. Un club en el que juegan muy pocos países. En el plano del uso de las técnicas, en cambio, la situación es diferente. Es una situación más abierta para el ingreso de nuevos actores, al menos transitoriamente. La evolución de esa “ventana de oportunidad” estará fuertemente influida por los siguientes factores:

- i) Si los “inventores” de las técnicas logran imponer condiciones onerosas para el acceso al uso de la técnica, se elevarán las barreras para el ingreso de proyectos de menor rentabilidad real o potencial. En cambio, en un modelo de acceso más amplio, se abrirán más oportunidades para el ingreso de actores menos consolidados;

ii) El uso de la edición génica para el desarrollo de nuevos productos depende, de un modo decisivo, del dominio de la genómica, tanto del conocimiento del genoma de las plantas como de la funcionalidad de los genes y de la identificación de los genes que se quiere modificar. De este modo, la existencia de un sistema científico-tecnológico de un desarrollo intermedio (no necesariamente de punta mundial) se constituye en un requisito indispensable para el dominio de esta función en la estructura;

iii) Aunque la explotación económica de un producto realizado por edición génica demanda la existencia de activos complementarios de escala global (sobre todo, capacidad organizacional y acceso al financiamiento), la ausencia de secuencias de ADN foráneas en el nuevo producto podría implicar que la aprobación comercial de un organismo modificado genéticamente por este método no requiera de un reglamento especial como en el caso de los transgénicos, situación que —de confirmarse— podría implicar una reducción significativa en los tiempos de salida del producto al mercado y en el umbral mínimo de inversión para el desarrollo de nuevos productos.

De este modo, a pesar de que aún no es posible determinar los efectos reales sobre la estructura que se derivan de la irrupción de la edición génica como innovación fundamental, emergen algunas dimensiones críticas a considerar para un posible proceso de cambio estructural de los países tradicionalmente adoptantes: una participación activa en las negociaciones internacionales en las que se definen las condiciones institucionales para la gestión de la propiedad intelectual, el desarrollo de capacidades de ciencia y tecnología en el campo de la biotecnología a nivel nacional (o regional) y el diseño e implementación de una política industrial orientada al desarrollo de los activos complementarios necesarios para la explotación económica de una innovación. Sobre la base de estas condiciones se abre para los países adoptantes una posibilidad de ser causa y no mero efecto de estructura en la dinámica de la industria agrobiotecnológica mundial.

36

Bibliografía

AINSWORTH, C. (2015): “Agriculture: A new breed of edits”, *Nature*, vol. 528, n° 7580, pp. S 15-S 16.

ALTENBURG, T., SCHMITZ, H. y STAMM, A. (2008): “Breakthrough? China’s and India’s transition from production to innovation”, *World Development*, vol. 36, n° 2, pp. 325-344.

ARUJANAN, M. y ALDEMITA, R. (2015): “Evolution of agriculture and the crop technologies”, en C. James (ed.): *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2015*, ISAAA Brief n° 51, ISAAA, Ithaca, pp. 13-27.

BISANG, R., GUTMAN, G., LAVARELLO, P., SZTULWARK, S. y DÍAZ, A. (2006): *Biología y desarrollo. Un modelo para armar en la Argentina*, Buenos Aires, Prometeo.

BOGLIOLI, E. y RICHARD, M. (2015): "Rewriting the book of life: a new era in precision gene editing", *Boston Consulting Group (BCG)*.

BONNY, S. (2017): "Corporate Concentration and Technological Change in the Global Seed Industry", *Sustainability*, vol. 9, n° 9, p.1632.

BREZNITZ, D. y MURPHREE, M. (2010): "Run of the Red Queen", *China Economic Quarterly*, pp. 21-25.

BRINEGAR, K., YETISEN, A., CHOI, S., VALLILLO, E., RUIZ-ESPARZA, G., PRABHAKAR, A., KHADEMHOSEINI, A. y YUN, S. H. (2017): "The commercialization of genome-editing technologies", *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 37, n° 7, pp. 924-932.

CHEN, W. y OW, D. (2017): "Precise, flexible and affordable gene stacking for crop improvement", *Bioengineered*, vol. 7, n° 12, pp. 1-6.

CLAPP, J. (2017): "Bigger Is Not Always Better: The Drivers and Implications of the Recent Agribusiness Megamergers", *Waterloo*, Universidad de Waterloo.

CONG, L., RAN, F. A., COX, D., LIN, S., BARRETTO, R., HABIB, N. y ZHANG, F. (2013): "Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems", *Science*, vol. 339, n° 6121, pp. 819-823.

CONTRERAS, J. y SHERKOW, J. (2017): "CRISPR, surrogate licensing, and scientific discovery", *Science*, vol. 355, n° 6326, pp. 698-700.

DRAHOS, P. y BRAITHWAITE, J. (2002): *Information feudalism: Who owns the knowledge economy?*, Routledge.

EGELIE, K., GRAFF, G., STRAND, S. y JOHANSEN, B. (2016): "The emerging patent landscape of CRISPR-Cas gene editing technology", *Nature Biotechnology*, vol. 34, n° 10, pp. 1025-1031.

FELDMAN, M., COLAIANNI, A. y LIU, K. (2005): "Commercializing Cohen-Boyer 1980-1997", *Kauffman Foundation*, pp. 5-21.

FERNÁNDEZ, V. R. (2016): *La trilogía del erizo-zorro: redes globales, trayectorias nacionales y dinámicas regionales desde la periferia*, Editorial Anthropos y Ediciones de la Universidad Nacional del Litoral, Buenos Aires,

FICHTNER F. CASTELLANOS, R. y ÜLKER, B. (2014): "Precision genetic modifications: a new era in molecular biology and crop improvement", *Plant*, vol. 239, n° 4, pp. 921-939.

FUKUDA-PARR, S. (2006): *The gene revolution: GM crops and unequal development*, Taylor & Francis.

GEREFFI, G. (1996): "Global commodity chains: new forms of coordination and control Among Nations and Firms in International Industries", *Competition & Change*, vol. 1, n° 4, pp. 427-439.

GRAFF, G. D., CULLEN, S. E., BRADFORD, K. J., ZILBERMAN, D. y BENNETT, A. B. (2003a): "The public–private structure of intellectual property ownership in agricultural biotechnology", *Nature Biotechnology*, vol. 21, n° 9, pp. 989-995.

GRAFF, G. D., RAUSSER, G. C. y SMALL, A. A. (2003b): "Agricultural biotechnology's complementary intellectual assets", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 85, n° 2, pp. 349-363.

GRUSHKIN, D. (2011): "Companies vie for a cut of the gene-editing market", *Nature Medicine*, vol. 17, n° 7, pp. 759-759.

ISAAA (2017): *GM ApprovalDatabase*. Disponible en: <http://www.isaaa.org/gmaprovaldatabase/>.

JAMES, C. (2015): *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2015, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications*, Ithaca, ISAAA.

38

JAMES, C. (2017): *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications*, Ithaca, ISAAA.

JAMES, C., y 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*, Ithaca, ISAAA.

JINEK, M., CHYLINSKI, K., FONFARA, I., HAUER, M., DOUDNA, J. y CHARPENTIER, E. (2012): "A programmable dual-RNA–guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity", *Science*, vol. 337, n° 6096, pp. 816-821.

KALAITZANDONAKES, N. y ZHRINGER, K. (2018): "Structural Change and Innovation in the Global Agricultural Input Sector", *From Agriscience to Agribusiness, Springer*, Cham, pp. 75-99.

KAMTHAN A., CHAUDHURI, A., KAMTHAN, M. y DATTA, A. (2016): "Genetically modified (GM) crops: milestones and new advances in crop improvement", *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 129, n° 9, pp.1639-1655. DOI: 10.1007/s00122-016-2747-6.

KANCHISWAMY, C., MALNOY, M., VELASCO, R., KIM, J. y VIOLA, R. (2015): "Non-GMO genetically edited crop plants", *Trends in Biotechnology*, vol. 33, n° 9, pp. 489-491.

KAPLINSKY, R. (2000): "Globalization and Unequalization: What can Be Learned from Value Chain Analysis", *The Journal of Development Studies*, vol. 37, n° 2, pp.117-146.

KUPECZ, A. (2014): "Who owns CRISPR-Cas9 in Europe?", *Nature Biotechnology*, vol. 32, n° 12, pp. 1194-1196.

LEDFORD, H. (2016): "How the US CRISPR patent probe will play out", *Nature*, vol. 531, n° 7593, pp. 149-149.

LEDFORD, H. (2017a): "Geneticists enlist engineered virus and CRISPR to battle citrus disease", *Nature*, vol. 545, n° 7654, pp. 277-278. DOI: 10.1038/545277a.

LEDFORD, H. (2017b): "Fixing the tomato: CRISPR edits correct plant breeding snafu", *Nature*, vol. 545, n° 7655, pp. 394-395. DOI: 10.1038/nature.2017.22018.

LEDFORD, H. (2017c): "Broad Institute wins bitter battle over CRISPR patents", *Nature*, vol. 542, n° 7642, p. 401.

LUNDVALL, B. (1992): *National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning*, Pinter Publishers.

LUSSER, M., PARISI, C., PLAN, D. y RODRÍGUEZ-CEREZO, E. (2011): "New plant breeding techniques. State-of-the-art and prospects for commercial development", *JRC Scientific and Technical Reports*, EUR 24760 EN.

39

LUSSER, M., PARISI, C., PLAN, D. y RODRÍGUEZ-CEREZO, E. (2012): "Deployment of new biotechnologies in plant breeding", *Nature Biotechnology*, vol. 30, n° 3, p. 231.

NELSON, R.R. (1993): *National Innovation Systems: a Comparative Study*, Nueva York, Oxford Univ. Press.

NELSON, R. y WRIGHT, G. (1992): "The Rise and Fall of American Technological Leadership: The Postwar Era in Historical Perspective", *Journal of Economic Literature*, vol. 30, n° 4, pp. 1931-1964.

PARAYIL, G. (2003): "Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization", *Research Policy*, vol. 32, n° 6, pp. 971-990.

PARK, H. y BABCOCK, B. (2017): "The legal battle around CRISPR gene-editing technology and its implications", *Biotechnology Law Report*, vol. 36, n° 2, pp. 39-42.

PELLEGRINI, P. (2013): *Transgénicos. Ciencia, agricultura y controversias en la Argentina*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes Editorial.

PENG, Y. (2016): "The morality and ethics governing CRISPR-Cas9 patents in China", *Nature Biotechnology*, vol. 34, n° 6, pp. 616-618.

PÉREZ, C. (2001): "Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil", *Revista de la Cepal*, n° 75.

PRIVALLE, L. S., CHEN, J., CLAPPER, G., HUNST, P., SPIEGELHALTER, F. y ZHONG, C. X. (2012): "Development of an agricultural biotechnology crop product: testing from discovery to commercialization", *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, n° 41, pp. 10179-10187.

PROCISUR (2017): "Edición génica: una oportunidad para la región", *Primera Reunión del Núcleo de Estudio de Nuevas Técnicas de Mejoramiento Genético*, Montevideo, 25 y 26 de agosto.

QAIM, M. (2015): *Genetically Modified Crops and Agricultural Development*, Palgrave Macmillan.

RIFKIN, J. (1998): *La era de la biotecnología. El comercio genético y el nacimiento de un mundo feliz*, Barcelona, Crítica.

ROBERT, V. y YOGUEL, G. (2010): "La dinámica compleja de la innovación y el desarrollo económico", *Desarrollo Económico*, vol. 50, n° 199, pp. 423-453.

RUDGERS, G. y SASTRY-DENT, L. (2014): "EXZACT TM Precision Technology: Scientific and regulatory advancements in plant-genome editing with ZFNs", *North American Agricultural Biotechnology Council (NABC)*, n° 26, pp. 113-124.

SASSEN, S. (2010): *Territorio, autoridad y derechos. De los ensamblajes medievales a los ensamblajes globales*, Buenos Aires, Katz.

SCHINKEL, H. y SCHILLBERG, S. (2016): "Genome editing: intellectual property and product development in plant biotechnology", *Plant Cell Rep*, vol. 35, n° 7, pp. 1487-1491. DOI: 10.1007/s00299-016-1988-9.

SCHUMPETER, J. ([1939] 2002): *Ciclos económicos. Análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista*, Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza.

SCHUMPETER, J. ([1942] 1996): *Capitalismo, socialismo y democracia*, Barcelona, Ediciones Folio.

SCOTT, C. T. (2005): "The zinc finger nuclease monopoly", *Nature Biotechnology*, vol. 23, n° 8, pp. 915-918.

SOVOVÁ, T., KERINS, G., DEMNEROVÁ, K. y OVESNÁ, J. (2016): "Genome editing with engineered nucleases in economically important animals and plants: state of the art in the research pipeline", *Curr. Issues Mol. Biol*, vol. 21, n° 21, pp. 41-62.

SZTULWARK, S. (2012): *Renta de innovación en cadenas globales de producción. El caso de las semillas transgénicas en Argentina*, Buenos Aires, Universidad Nacional de General Sarmiento.

SZTULWARK, S. (2019): “The Center and the Periphery in the Structural Logic of the New Capitalism”, en V. R. Fernández y G. Brondino (eds.): *Development in Latin America. Critical Discussions from the Periphery*, Plagrave/Macmillan, Cham.

SZTULWARK, S. y GIRARD, M. (2016a): “Genetically modified seeds and the de-commodification of primary goods”, *International Journal of Biotechnology*, vol. 14, n° 2, pp. 132-150.

SZTULWARK, S. y GIRARD, M. (2016b): “Estrategias nacionales de innovación en biotecnología agrícola. Implicancias para el MERCOSUR”, *Gestión y Gerencia*, vol. 10, n° 3, pp. 46-79.

THOMAS, Z. (2005): “Agricultural Biotechnology and Proprietary Rights”, *The Journal of world intellectual property*, vol. 8, n° 6, pp. 711-734.

URNOV, F., REBAR, E., HOLMES, M., ZHANG, H. y GREGORY, P. (2010): “Genome editing with engineered zinc finger nucleases”, *Nature Reviews Genetics*, vol. 11, n° 9, pp. 636-646. DOI: 10.1038/nrg2842.

WALTZ, E. (2016a): “Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation”, *Nature*, vol. 532, n° 7599, pp. 293-293.

WALTZ, E. (2016b): “CRISPR-edited crops free to enter market, skip regulation”, *Nature Biotechnology*, vol. 34, n° 6, pp. 582-582.

41

WATSON, J. (1968): *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*, Weidenfeld & Nicolson.

ZETSCHKE, B., GOOTENBERG, J., ABUDAYYEH, O., SLAYMAKER, I., MAKAROVA, K., ESSLETZBICHLER, P., REGEV, A., KOONIN, E. y ZHANG, F. (2015): “Cpf1 is a single RNA-guided endonuclease of a class 2 CRISPR-Cas system”, *Cell*, vol. 163, n° 3, pp. 759-771.

ZHANG, F., PUCHTA, H. y THOMSON, J. (2015): *Advances in new technology for targeted modification of plant genomes*, Springer.

Cómo citar este artículo

SZTULWARK, S. y GIRARD, M. (2020): “La edición génica y la estructura económica de la agrobiotecnología mundial. Una mirada desde los países adoptantes”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad —CTS*, vol. 15, n° 44, pp. 11-41.