

Marcela Amaro Rosales
Coordinadora

Aspectos socioeconómicos e institucionales de la biotecnología en México

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Instituto de Investigaciones Sociales



Aspectos socioeconómicos
e institucionales
de la biotecnología en México

**Comité Editorial de Libros
Instituto de Investigaciones Sociales
Universidad Nacional Autónoma de México**

Presidente

Miguel Armando López Leyva • IISUNAM

Secretario

Hubert C. de Grammont • IISUNAM

Miembros

María Alejandra Armesto • FLACSO

Virginia Careaga Covarrubias • IISUNAM

Marcos Agustín Cueva Perus • IISUNAM

Matilde Luna Ledesma • IISUNAM

Fiorella Mancini • IISUNAM

Adriana Murguía Lores • FCPYS, UNAM

Eduardo Nivón Bolán • UAM-I

Adriana Olvera Hernández • IISUNAM

Catherine Vézina • CIDE

Aspectos socioeconómicos e institucionales de la biotecnología en México

Marcela Amaro Rosales

Coordinadora



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Instituto de Investigaciones Sociales
Ciudad de México, 2023

Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Nombres: Amaro Rosales, Marcela, editor.

Título: Aspectos socioeconómicos e institucionales de la biotecnología en México / Marcela Amaro Rosales.

Descripción: Primera edición. | Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales, 2023.

Identificadores: LIBRUNAM 2172148 | ISBN 9786073066006.

Temas: Biotecnología -- México. | Biotecnología -- Aspectos económicos -- México. | Industrias biotecnológicas -- México. | Biotecnología agrícola -- México. | Patentes -- México. | Propiedad intelectual -- Aspectos económicos -- México.

Clasificación: LCC TP248.195.M6.A76 2022 | DDC 660.6—dc23

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos al Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México, de acuerdo con las normas establecidas por el Comité Editorial de Libros del Instituto.



Esta obra está bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Este libro se publica con el apoyo y los fondos del proyecto PAPIIT DGAPA IA300620.

Primera edición: febrero de 2023

D. R. © 2023, Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones Sociales
Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Ciudad de México

Coordinación editorial: Virginia Careaga Covarrubias
Cuidado de la edición: Lili Buj Niles
Diseño de portada e intervención en fotografía de Ginseppe di Dio y tratamiento de imágenes: Cynthia Trigos Suzán
Formación de textos: Ignacio Cortés Santiago

Impreso y hecho en México

ISBN: 978-607-30-6600-6

Índice

9 Prólogo
Rosalba Casas Guerrero

15 Introducción
Marcela Amaro Rosales

PRIMERA PARTE

DINÁMICAS ECONÓMICAS Y SOCIALES DE LA BIOTECNOLOGÍA

29 Biotecnología: dinámicas, tendencias
y condiciones socioeconómicas contemporáneas
Marcela Amaro Rosales y Juan Luis Hernández Pérez

63 Inserción de empresas mexicanas
en la cadena de valor biotecnológica
Rubén Oliver Espinoza y Federico Andrés Stezano Pérez

87 La agricultura de exportación en Sonora y su relación
con la biotecnología: impactos productivos y socioeconómicos
Juan Luis Hernández Pérez

SEGUNDA PARTE
PROCESOS INSTITUCIONALES
Y DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

- 117 Patentes, derechos de obtentor, acceso a los recursos genéticos y biotecnología
Myrsia Eliany Sánchez Goicochea
- 141 La responsabilidad social de la biotecnología agrícola en el marco de la convergencia tecnológica
Michelle Chauvet Sánchez Pruneda
- 171 Biotecnología y propiedad intelectual en México
¿Existe algún sistema *sui generis* para proteger los derechos colectivos?
Arcelia González Merino
- 193 Los procedimientos de la Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) como aproximación metodológica a las “Consideraciones Socioeconómicas”
Jaime Padilla Acero

TERCERA PARTE
TENSIONES Y COLABORACIONES: ACTORES Y TRAYECTORIAS

- 227 Cartografía del maíz en México: controversias científicas y tecnológicas sobre la biotecnología en el espacio público
Marcela Amaro Rosales, Rebeca de Gortari Rabiela y Eduardo Robles Belmont
- 257 Trayectoria de la investigación y producción de vacunas biotecnológicas en México: de la autosuficiencia a la dependencia científico-tecnológica
Nancy Alejandra Cuevas Mercado

- 293 Intermediación y proximidad de la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico entre universidad y empresa
Talía Santana Quintero y Manuel Soria López
- 327 Fluorescencia celular y organización institucional.
Uso social del conocimiento biotecnológico en laboratorios de recursos compartidos
César Guzmán Tovar y Andrea Bedoya López
- 349 Conclusiones
Marcela Amaro Rosales
- 353 Sobre las autoras y los autores

Prólogo

Rosalba Casas Guerrero

El rápido desarrollo de la biotecnología desde los años setenta del siglo xx dio origen a lo que hoy se conoce como biotecnología moderna, la cual, mediante la aplicación de técnicas de ingeniería genética ha permitido modificar y transferir genes entre organismos vivos, dando como resultado diferentes bienes y servicios. El desarrollo de las biología celular y molecular ha permitido, desde entonces, trabajar con microorganismos y células vegetales o animales y ser utilizadas en la producción industrial de diferentes sectores. La biotecnología moderna forma parte de lo que se ha conocido como la tercera revolución industrial, o revolución científico-tecnológica, que inició con la microelectrónica, generando un cambio radical en la circulación y acceso a la información, y continuó con la biotecnología y los nuevos materiales.

Una característica de la biotecnología moderna es su carácter transversal, ya que es un campo de investigación y desarrollo con posibilidades de aplicación a numerosos sectores. A diferencia de otras tecnologías, no se identifica con un sector industrial en particular, sino que se trata de un conjunto de tecnologías que se aplican tanto al sector primario como al secundario, y que tiene importantes repercusiones para los sectores: alimentario, ganadero, de salud, farmacéutico, de energía y medio ambiente, entre otros, por lo que su potencial es enorme, no solo para los países en desarrollo sino particularmente para el mundo en desarrollo.

Desde el surgimiento de esta revolución biotecnológica se han generado esfuerzos, particularmente en el ámbito de las ciencias

sociales, para analizar su desarrollo y repercusiones, así como para detectar las potencialidades que ofrecen a los países en desarrollo. Una de las características de este campo es que se sustenta en investigación básica y, en gran parte, en investigación desarrollada en instituciones públicas. Actualmente, sus aplicaciones son el objetivo de grandes consorcios industriales y han acelerado la privatización del conocimiento.

Resulta significativo que este libro colectivo ponga nuevamente en el centro de la discusión algunos de los problemas socioeconómicos y políticos que ya se advertían a finales de los años ochenta, no solamente en México, sino en distintos ámbitos académicos del mundo desarrollado y del latinoamericano. Este panorama actual posibilitará la comparación con lo que se advertía a principios de los años noventa, es decir, hace 30 años.

En los años ochenta se planteaba que la biotecnología era una tecnología apropiada para resolver las necesidades básicas de las poblaciones del entonces denominado Tercer Mundo, así como para mantener y emplear la gran diversidad de cultivos existentes en esos países, y adaptarlos a condiciones poco propicias para su producción. Los atractivos potenciales de la biotecnología hicieron que se le señalara como la solución a la crisis de los sectores agrícolas y a considerarla como una panacea para los países en desarrollo. Asimismo, se resaltaban sus potencialidades para la producción de medicamentos y la atención de enfermedades características del mundo en desarrollo, así como para producir energía de fuentes no convencionales y dar solución a numerosos problemas de contaminación.

Las ciencias sociales han desempeñado un papel importante en atender el análisis del marco socioeconómico en el cual se genera la investigación y la innovación en este campo, y en desentrañar los efectos que ha generado la biotecnología en distintos ámbitos como: empleo, producción, sustitución de cultivos por productos sintéticos, medio ambiente, cadenas agroindustriales, privatización del conocimiento, incremento de las patentes, concentración de la industria biotecnológica, derechos indígenas y biodiversidad, así como bioseguridad, entre otros.

Este libro da continuidad a un conjunto de debates que han estado en el centro de la preocupación sobre biotecnología, un campo multidisciplinario sustentado en conocimiento de frontera, generado por diversas disciplinas como biología molecular, ingeniería bioquímica, microbiología, inmunología, bioquímica, genómica, bioinformática, ingeniería de proteínas, etcétera.

Tal como ya se apreciaba a finales de los años ochenta, la biotecnología ha dado lugar a numerosas controversias y a posiciones político-ideológicas sobre su conveniencia para un país como el nuestro. Estas discusiones no son nuevas, pero se han acentuado a medida que avanzan las innovaciones en este campo y se introducen nuevos productos en las actividades productivas o en el ambiente. Se trata de un campo de investigación que implica una reflexión profunda acerca de la responsabilidad social que se asume al introducir organismos genéticamente modificados y sus repercusiones en la alimentación, la salud y el ambiente. En esta discusión se precisa una mirada amplia y reflexiva, y es de enorme importancia considerar que, como cualquier otra tecnología, la biotecnología puede tener efectos positivos en el bienestar social, como los que han generado productos como la insulina, las hormonas, los anticuerpos monoclonales, las vacunas y numerosos fármacos que han incidido en la atención a enfermedades, pero también, como otras tecnologías, puede afectar el bienestar social y el medio ambiente.

En este debate, que debería estar situado en la problemática específica de los países y en un propósito de diseño de políticas públicas para orientar el desarrollo del campo, es muy importante la perspectiva de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología por las siguientes razones: i) ha dejado de tener vigencia la concepción clásica de la ciencia que supone que a mayor inversión en ciencia y tecnología, los países serían más ricos y se lograría el bienestar social; ii) el desarrollo científico y tecnológico hay que entenderlo en su contexto social, tanto en relación con sus condicionantes sociales como en lo que atañe a sus consecuencias sociales y ambientales. Es decir, ante el desarrollo de la biotecnología habrá que tener un enfoque crítico, más allá de

una visión escencialista o triunfalista de la ciencia y la tecnología, o de una visión contraria, en donde la tecnociencia es la explicación de todos los males actuales de la sociedad; iii) la ciencia y la tecnología son procesos y productos inherentemente sociales, donde los elementos no técnicos, como los valores sociales, las convicciones culturales, los intereses profesionales, las posiciones políticas y las presiones económicas desempeñan un papel decisivo en su génesis y consolidación. De lo anterior se deriva que las orientaciones de la investigación deberán ser discutidas y definidas por el conjunto de los actores implicados en su desarrollo y aplicación, destacando los valores de beneficio público sobre los valores que intervienen en su desarrollo.

Otro de los debates que prevalece en relación con este campo desde los años ochenta, es el de la interacción entre los sectores que generan conocimientos y los sectores que los aplican a la producción. La biotecnología está principalmente enfocada a la aplicación del conocimiento, y esto implica tanto la investigación básica como la aplicada, siendo que éstas se generan en un proceso no lineal e interactivo, en donde cada una alimenta a la otra. Es decir, la biotecnología es uno de los ejemplos más claros de que la producción de conocimiento no es lineal, como se afirmó durante mucho tiempo.

En México y otros países en desarrollo, las capacidades de investigación se han generado principalmente en instituciones públicas, en las que se localizan investigaciones de punta relacionadas con los sectores farmacéutico, agrícola, energético y del medio ambiente, por lo que se ha planteado desde hace varias décadas la estrategia de una asociación público-privada para impulsar a algunos de estos sectores en donde también participa el gobierno. El tema de la vinculación se ha constituido en un asunto clave para el desarrollo biotecnológico en nuestro país, y se cuenta con experiencias exitosas de creación de empresas biotecnológicas nacionales a partir de las capacidades de investigación generadas en universidades y centros de investigación. La necesaria interacción que se requiere entre distintos actores para incentivar la biotecnología ha sido motivo de numerosas investigaciones desde las ciencias sociales y de innumerables reflexiones

sobre la orientación adecuada de las políticas públicas. Se trata de un debate que requiere de la participación de múltiples actores para definir, sin impedir el desarrollo libre de la investigación en las universidades, una agenda en la cual la biotecnología pueda contribuir a atender numerosos problemas de la sociedad. Se necesita resolver un problema estructural que ha impedido la movilización de los conocimientos y consensuar orientaciones para este campo tan importante de investigación.

A lo largo de los últimos 30 años, un tercer debate que ha estado implícito es el de la necesaria interacción de la biotecnología, más allá de las disciplinas que la conforman, con las ciencias sociales, para considerar las dimensiones sociales, económicas, políticas y culturales en las que se generan y se orientan los conocimientos y los potenciales efectos que pueda tener su aplicación sobre los sectores de la población. Este diálogo se ha ido construyendo, pero es preciso generar nuevos marcos de organización de la investigación para visualizar *ex ante*, como ya se planteaba desde los años ochenta, las repercusiones de las orientaciones de la biotecnología.

Ya que la biotecnología es un campo tan amplio y heterogéneo, resulta importante definir orientaciones adecuadas a nuestros contextos sociales y económicos, y sobre todo prever que sus aplicaciones no generen o exacerbén algunos de los problemas que ya experimenta el país. Los temas de acceso equitativo al conocimiento, protección al medio ambiente, sustentabilidad y cambio climático son un marco importante para definir las orientaciones de la biotecnología para los próximos 30 años.

La reflexión permanente, organizada y plural sobre las repercusiones sociales y ambientales de la biotecnología y en torno a los elementos sociales, culturales, económicos y políticos que influyen en su desarrollo, permitirá superar la etapa en la que se encuentra nuestro país y avanzar hacia una estrategia en la que se sumen y se integren las capacidades construidas para que la biotecnología logre una mayor incidencia social.

Introducción

Marcela Amaro Rosales

La biotecnología ha sido objeto de estudio no únicamente de biólogos, biotecnólogos o ecólogos. Las características de dicha tecnología, así como sus importantes implicaciones en la vida, el medio ambiente, la sociedad y la economía han motivado el interés de científicos sociales a lo largo de muchos años. Dichas implicaciones hacen que se expresen expectativas positivas sobre la biotecnología al considerarla una tecnología disruptiva, capaz de transformar patrones productivos y dinámicas que contribuyan con el aumento de la productividad de algunos productos o con la mejora de las condiciones tecnológicas de las empresas. Pero, por otro lado, también se generan miedos y prejuicios sobre los posibles efectos, en muchas ocasiones desconocidos, sobre el medio ambiente y la salud.

La complejidad, la relación cercana con la vida y la incertidumbre insoluble del desarrollo tecnológico ha dado lugar a diversas narrativas en torno a la biotecnología, lo que a su vez ha permeado en distintos grupos sociales, ya que ésta ha sobrepasado los límites del laboratorio y los foros científicos, y se ha posicionado en la discusión pública entre organizaciones sociales, empresas, científicos, tecnólogos y políticos, abriendo debates muy diversos que incluyen cuestiones éticas, sociales, culturales, económicas e institucionales que están lejos de ser zanjados y que, por el contrario, cada vez abren más discusiones dada la evolución que ha tenido la tecnología y sus posibles ventajas y riesgos.

El principal objetivo de este libro es contribuir con la importante tradición de estudios sobre la biotecnología en México y ofrecer un panorama actual en torno a diversas problemáticas que enfrenta la producción científica, tecnológica y de innovación, así como algunos de los conflictos y controversias que durante los últimos 50 años han permeado al desarrollo de esta tecnociencia en el país.

El libro busca ser un crisol analítico que integra visiones teóricas y metodológicas diversas con enfoques multidisciplinarios, lo que nos ha permitido tener espacios de convergencia y discusión entre las dos tradiciones analíticas más importantes: los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad, y la perspectiva de la economía de la innovación.

La obra congrega aportaciones de jóvenes investigadores que tienen diversos objetos de estudio relacionados con la biotecnología como interés principal, así como trabajos de investigadoras e investigadores consolidados y con una amplia y reconocida trayectoria en el tema, lo que pone de manifiesto que ha sido y seguirá siendo un tema de interés por mucho tiempo más. La participación de los jóvenes investigadores contribuye con el diálogo intergeneracional y multidisciplinario del que todos nos vemos beneficiados. Se aprende conjuntamente y se comparten experiencias en torno al tema que nos reúne, además de que se reconoce la experiencia de grandes científicos y científicas que durante mucho tiempo han contribuido con esta área de estudio.

Cabe mencionar que en el libro se presentan posiciones divergentes, pero respetuosas e incluyentes. Se busca contribuir con el diálogo y la discusión informada y basada en los resultados de investigación. Este camino es resultado de la experiencia en la investigación sobre biotecnología, la cual se ha fortalecido a lo largo del tiempo en diversos espacios académicos, como el grupo de trabajo sobre biotecnología que tuvo origen a través de la Red Temática del Consejo de Ciencia y Tecnología (Conacyt) “Convergencia de Conocimiento para el Beneficio de la Sociedad”, y diversos proyectos sobre la biotecnología en México.

He sostenido una importante comunicación sobre el tema con distintos colegas como Federico Stezano, Rubén Oliver, Manuel Soria, Eduardo Robles y Rebeca de Gortari. Con ellos he establecido una larga y fructífera retroalimentación sobre diversas temáticas que nos interesan sobre la biotecnología. Además, este libro también me ha dado la oportunidad de dialogar con investigadores como Michelle Chauvet, Arcelia González y Jaime Padilla, quienes tienen una larga trayectoria en la discusión del tema y han contribuido con importantes trabajos a lo largo de los años.

Además de las y los colegas mencionados, el libro también se convirtió en un espacio de construcción del conocimiento con jóvenes investigadores como Juan Luis Hernández, Andrea Bedoya y César Guzmán, así como con las recién graduadas de posgrado Talía Santana, Nancy Cuevas y Myrsia Sánchez, quienes han trabajado el tema en sus respectivas tesis y han compartido sus procesos de investigación de diversas formas.

Las ciencias sociales han jugado un papel muy importante para comprender las dinámicas asociadas a la biotecnología. Por ello, la construcción teórica de este libro está fundamentalmente sostenida por la tradición de los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad, y también por aportaciones de la economía de la innovación. Lo anterior permitió que se abordaran temas de análisis, como los procesos de transferencia tecnológica, las controversias científicas y tecnológicas, los derechos de propiedad y la producción tecnológica en el contexto de los mercados globalizados. Conjuntar ambas tradiciones teóricas permitió, principalmente, un diálogo multidisciplinario y convergente entre la sociología y la economía.

Es importante mencionar que los capítulos que componen este libro son también resultado de un esfuerzo metodológico para conjuntar diversas herramientas provenientes del enfoque cualitativo, donde se incluyen estudios de caso, etnografía digital e investigación hemerográfica, aunque también se hizo uso de herramientas como el software T-Lab o encuestas procesadas de forma descriptiva y con técnicas econométricas. Las autoras y los autores de los capítulos lle-

varon a discusión dichas metodologías en los seminarios previos que se sostuvieron como parte la elaboración del libro, y se tomaron las decisiones en función del objeto de estudio.

CONTENIDO DE LA OBRA

El libro se estructura en tres grandes apartados: dinámicas económicas y sociales de la biotecnología, procesos institucionales y derechos de propiedad intelectual, y el último, tensiones y colaboraciones: actores y trayectorias. La lógica de presentación del libro va desde lo general hacia lo particular, buscando partir del contexto hasta llegar a las peculiaridades.

En el primer eje temático se analizan las cuestiones macroestructurales a nivel socioeconómico.

En el primer capítulo, denominado “Biotecnología: dinámicas, tendencias y condiciones socioeconómicas contemporáneas”, se abordan las diversas formas asociadas a la producción biotecnológica en dos de los sectores de mayor despliegue tecno económico. Se discuten elementos relacionados con la producción tecnológica, la apropiación de las ganancias y la inminente brecha entre países y regiones, dadas las condiciones y particularidades de la biotecnología. El planteamiento fundamental del capítulo es que la biotecnología moderna trajo consigo una serie de transformaciones en la organización socioeconómica que han significado una reestructuración de la forma en que se produce y se apropia la biotecnología. En ese sentido, da una serie de datos y evidencia de la fuerte tendencia a la concentración económica y tecnológica, dominada por las EMN, lo cual pone en franca desventaja a las pequeñas y medianas empresas, pero también a regiones y países enteros que, ante su fragilidad científica, tecnológica e industrial quedan en posiciones subordinadas. Ante ello, el capítulo reflexiona acerca de la necesidad de una política industrial que ponga mayor atención en la generación de capacidades científicas y tecnológicas tendientes a resolver diversas problemáticas técnico-productivas y sociales muy diversas.

En el segundo capítulo, “Inserción de empresas mexicanas en la cadena de valor”, los autores se proponen identificar el tipo de introducción de las empresas mexicanas mediante la configuración de las cadenas de valor, con el fin de observar las trayectorias, las características y el tipo de actores involucrados en dicho proceso. Para ello, plantean una taxonomía novedosa que identifica dos caminos: un predominio en la producción de biotecnológicos de incorporación a la cadena a través de componentes de procesos intermedios globales y de procesos finales locales, y una incidencia indirecta de las innovaciones sobre el producto final, incorporándose a través de insumos para procesos productivos locales. En síntesis, el capítulo concluye que hasta el momento y con base en los resultados de la encuesta, las empresas mexicanas tienen una baja participación en los mercados globales y están más enfocadas a mantenerse en los mercados locales. Por último, se explica que las innovaciones tienen un papel indirecto en los productos, lo cual abre nuevas preguntas de investigación acerca de la centralidad del fomento a la innovación, o bien, hacia qué tipo de innovación. Es importante mencionar que este capítulo es coincidente en sus reflexiones finales con el primer capítulo, ya que ambos presentan elementos que apuntan hacia la importancia de una mayor intervención estatal por medio de políticas industriales que traten de nivelar las condiciones de competencia que se enfrentan en la biotecnología.

“Impacto de la biotecnología en la agricultura sonorenses en el marco de la globalización” es el nombre del último capítulo de este bloque, y presenta de manera exhaustiva las características socioeconómicas del modelo agrícola intensivo-biotecnológico utilizado en cultivos de granos y hortalizas en Sonora. Este capítulo permite discutir y reflexionar cómo la tan añorada competitividad sólo se ve reflejada en un puñado de productores, mientras se generan mayores desigualdades tecnológicas y productivas con aquellos que no tienen capacidades de integrar dicho modelo a sus actividades agrícolas, y se concluye que la agricultura biotecnologizada se ha establecido como un mecanismo de dominio de las grandes empresas hacia los peque-

ños productores y las poblaciones rurales, lo que apunta hacia un régimen agroalimentario de corte corporativo que desarticula prácticas productivas locales y soslaya sus necesidades frente a los estándares de los mercados nacionales e internacionales.

El segundo eje temático se integra por cuatro capítulos y busca dar cuenta de algunos de los elementos socio institucionales que mayor impacto tienen en la biotecnología. El capítulo llamado “Patentes, derechos de obtentor, acceso a los recursos genéticos y biotecnología” abona a la discusión sobre la importancia de los Derechos de Propiedad Intelectual (DPI) en los procesos y productos biotecnológicos. Plantea una discusión añeja pero no zanjada acerca del dilema entre difusión y apropiación, y cómo las diversas herramientas de propiedad intelectual impactan en la producción biotecnológica del país. Sin duda, este tema genera polémica, dado que el sistema de DPI está organizado de forma global y la tendencia ha sido tratar de homogenizar criterios entre los distintos países, sin embargo, no todos los países, y mucho menos los actores, tienen las mismas condiciones para participar en el sistema, lo cual lleva a cuestionarse qué tanto contribuye con la generación de desigualdades tecnológicas, además de permitir la apropiación de las cuasi rentas asociadas de forma inequitativa.

El capítulo denominado “La responsabilidad social de la biotecnología agrícola, en el marco de la convergencia tecnológica” reflexiona acerca de cómo los nuevos desarrollos de la biotecnología agrícola demandan una importante discusión sobre la regulación de este tipo de procesos y productos. La autora comparte los resultados de una encuesta aplicada a investigadores y estudiantes del área de biotecnología agrícola de diversos países latinoamericanos, donde se exponen temáticas particulares sobre responsabilidad social y gobernanza del riesgo. Los resultados indican que, el marco regulatorio existente, no es clara la forma en que se ha estructurado, ya que promueve que sólo las grandes empresas se beneficien al ser la únicas que puedan cumplir los estándares establecidos. En el capítulo se concluye que este tipo de estándares promueven la desigualdad entre actores, lo cual contribuye con un elemento que se ha discutido a lo largo del

libro y es la existencia de desigualdades diversas en torno a los actores que participan o se relacionan con la biotecnología. Este trabajo deja claro que la estructura institucional también es débil frente a las grandes corporaciones y que debería trabajarse en el fortalecimiento de los órganos reguladores más que promover su extinción o muerte por inanición.

En el siguiente capítulo se analizan a profundidad las modificaciones hechas a través del Acta de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) 91, y cómo éstas impactan en los derechos colectivos de pequeños agricultores y comunidades locales indígenas. El capítulo “Biotecnología y propiedad intelectual en México” se pregunta, ¿existe algún sistema *sui generis* para proteger los derechos colectivos? y reflexiona sobre el complejo entramado institucional que enfrentan dichos grupos sociales y presenta una propuesta alternativa de protección de derechos colectivos a partir de los bancos comunitarios de semillas. Para poder identificar los principales cambios institucionales del sistema UPOV, se realiza un recorrido histórico que focaliza en las principales modificaciones a la par de los diversos acuerdos internacionales como el Tratado México-Estados Unidos y Canadá (T-MEC), y las implicaciones que tiene para el país signar este tipo de arreglos. Al identificar la forma en que este andamiaje se ha formulado, se discute la pertinencia de repensar el dilema de los bienes comunes frente a los derechos de propiedad privada.

Este segundo apartado cierra con el capítulo denominado “Los procedimientos de la evaluación de riesgo ambiental (ERA), como aproximación metodológica a las consideraciones socioeconómicas”. En él se plantea la discusión sobre el momento que vive el sistema regulatorio mexicano en torno a la producción y uso de los organismos genéticamente modificados (OGM). Se retrotrae al debate lo que ha significado el uso del principio precautorio, en términos de las complicaciones operativas y los vacíos legales en los que se ha incurrido. Dado lo anterior, en el capítulo se esboza una propuesta metodológica para el proceso de evaluación de los OGM, lo que permite repensar la pertinencia del actual marco regulatorio mexicano en términos de

bioseguridad. Este trabajo arriba a diversas conclusiones; la primera es que es necesario coordinar los esfuerzos de planeación y desarrollo de la biotecnología con los diversos procesos regulatorios implicados. Lo anterior permitirá mayor confiabilidad y certeza para los actores y, sobre todo, seguridad tanto de los productores, en el caso del sector agroindustrial y alimentario, como de las pequeñas empresas o *bioemprendimientos*. La segunda refiere a que es fundamental retomar experiencias de otros países y así poder potenciar aquellas tecnologías deseables y con alto impacto productivo, medio ambiental y social. Sin duda, el capítulo es una valiosa contribución que busca ligar la evaluación técnica con los factores socioeconómicos, transmitiendo la idea de que son aspectos que van ligados y que no pueden pensarse como espacios separados ni individuales.

El tercer y último eje temático inicia con el capítulo “Cartografía del maíz en México: controversias científicas y tecnológicas sobre la biotecnología en el espacio público”. En él capítulo, las autoras y el autor plantean uno de los temas más debatidos sobre la biotecnología en el país y presentan un análisis basado en el seguimiento de la controversia entre científicos en el espacio público, sobre todo en comunicaciones a periódicos y expresiones en foros de divulgación. Es allí donde logran identificarse dos alianzas en torno a la visión sobre la relación del maíz con la producción y uso de los organismos genéticamente modificados (OGM), tema que ha estado presente a lo largo de muchos años y que sigue levantando polémicas y desafíos. Si bien existen trabajos que han abordado ya las controversias científicas y tecnológicas, usualmente desde el enfoque de Callon y Latour, esta investigación presenta una alternativa metodológica que contribuye con la identificación de narrativas en torno a la biotecnología en el país, y reflexiona sobre el papel que tienen los científicos en el espacio público, así como la forma en la que sus opiniones se vuelven centrales para la toma de decisiones.

El noveno capítulo, “Trayectoria de la investigación y producción de vacunas biotecnológicas en México: de la autosuficiencia a la dependencia científico-tecnológica”, reflexiona sobre un tema actual y con

muchas aristas, y busca poner a debate la relevancia de incrementar el financiamiento y el impulso a la investigación y el desarrollo (I+D) de vacunas. Se plantea una revisión histórica de la trayectoria que se había tenido en el país en esta área tecnológica y se complementa con un análisis de los diversos fondos de apoyo público del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) para tratar de identificar si ha sido un tema prioritario en la agenda de desarrollo científico y tecnológico y las posibles alternativas que pueden elegirse a futuro. Al plantear el tema de la autosuficiencia *versus* la dependencia científica-tecnológica, el capítulo concluye que a pesar de que el país tuvo un momento de independencia gracias a lo que significó la formación de Birmex, ésta ha ido relegando sus actividades y perdiendo presencia en la generación de vacunas en el país. Lo deseable, de acuerdo a las conclusiones presentadas sería emprender un verdadero plan para reconfigurar a dicha empresa, a través de diversos mecanismos de financiamiento que le permitiera, además, colaborar con las universidades o centros públicos nacionales, quienes cuentan con capacidades científicas de alta calidad, y así poder garantizar el abasto de vacunas para la población, no solamente en épocas de crisis como la actual, sino como una política de Estado que permitiese independencia y seguridad sanitaria.

En el capítulo llamado “Intermediación y proximidad de la transferencia efectiva del conocimiento tecnológico entre universidad y empresas”, se planea el enfoque de la proximidad entre agentes, para así poder identificar el tipo de organizaciones, procesos y mecanismos que impulsan la transferencia de conocimiento tecnológico desde las universidades hacia las empresas. Para ello, se plantea un caso de estudio que permite identificar elementos que dan pistas sobre la efectividad de la proximidad como factor determinante para lograr la transmisión de conocimientos tecnológicos entre estos dos actores fundamentales en el proceso de desarrollo biotecnológico. Las conclusiones que se plantean en el capítulo permiten integrar nuevos elementos para entender los mecanismos que permiten que haya transferencia de conocimiento tecnológico entre estos dos actores.

Pareciera que ante las dificultades y las diferencias que hay entre empresas y universidades, por lo menos en el contexto mexicano, sería deseable la presencia de este tipo de intermediarios que permita suavizar el proceso y aminorar las tensiones que surgen en el proceso.

Finalmente, el último capítulo de este eje temático recurre a la estrategia metodológica de los estudios de la ciencia desde el laboratorio. “Fluorescencia celular y organización institucional. Uso social del conocimiento biotecnológico en laboratorios de recursos compartidos” nos introduce en la etnografía latouriana que desde el interior del laboratorio nos permite observar cómo se produce el conocimiento biotecnológico asociado a la cienciometría, con base en la noción de uso social del conocimiento científico. Este trabajo es una aportación desde el análisis sociológicamente externo y la experiencia situada de los autores. A partir de la descripción y análisis realizado en el trabajo, se concluye que la biotecnología puede romper con una visión ampliamente difundida de que esta tecnociencia sólo busca mejorar la productividad, mientras que, en el nivel académico, sólo se concentra en citas y patentes. Con los resultados presentados, se observa que la trayectoria del Laboratorio analizado va más hacia la búsqueda de aplicaciones y usos sociales que hacia las demandas del mercado en términos puramente económicos. En sintonía con lo que se discutió en el capítulo diez, se identifica que la vinculación y la colaboración es una fortaleza organizacional muy importante que le permite intercambio con redes transnacionales para la generación de colectividad.

Como puede notar el lector, el libro se compone por miradas multidisciplinarias, estrategias metodológicas diversas y enfoques teóricos y analíticos de amplio reconocimiento y tradición. Los tres ejes temáticos contribuyen con propuestas novedosas que, en conjunto, permiten tener una visión actual sobre las dimensiones socioeconómicas e institucionales inmiscuidas con la producción y uso de la biotecnología moderna. La discusión y debate están presentes a lo largo de todos los capítulos, y dada la polémica de la tecnología aquí abordada no se intenta llegar a conclusiones inamovibles o absolutas; por

el contrario, la mayor pretensión de la obra es abrir nuevos debates y espacios de discusión con más interesados en el tema.

Es preciso mencionar que este libro ha sido posible gracias al apoyo del Instituto de Investigaciones Sociales, donde se ha contado con todas las facilidades para desarrollar el proyecto de investigación, el cual se circunscribe también en el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), denominado “Capacidades tecnológicas, instituciones e innovación en la biotecnología agroindustrial y farmacéutica en México” IA3000620. Sin duda, han sido tiempos complicados para realizar la investigación como originalmente estaba planeada, pero a pesar de los inconvenientes se ha podido adaptar a la situación actual recurriendo a herramientas metodológicas poco exploradas, por lo que representa también un logro en términos de coordinación dadas las condiciones.

El presente libro no sería posible sin el interés y entusiasmo de cada uno de los autores de los capítulos y al apoyo de las becarias Jessica Alatorre, Abril Reyna y, particularmente, de Myrsia Sánchez y Rocío Aguilar, quienes realizaron una valiosa labor en la sistematización, organización y revisión de la información que aquí se presenta.

PRIMERA PARTE

**DINÁMICAS ECONÓMICAS Y SOCIALES
DE LA BIOTECNOLOGÍA**

Biotecnología: dinámicas, tendencias y condiciones socioeconómicas contemporáneas

*Marcela Amaro Rosales
Juan Luis Hernández Pérez*

INTRODUCCIÓN

La biotecnología es un conjunto de conocimientos y métodos a través de los cuales se hace uso de organismos vivos para la generación de nuevos productos, procesos y servicios, aplicables a las áreas de la agricultura, alimentación, farmacia, química y a la protección del ambiente mediante diversos sistemas, tales como: el tratamiento de residuos sólidos, la producción de cultivos agrícolas mejorados o el desarrollo de nuevas vacunas (Trejo, 2010).

La biotecnología es una ciencia, pero también es una tecnología que soluciona problemas específicos. Si bien la biotecnología ha estado presente en la historia humana desde que los Sumerios o Babilonios elaboraban cerveza en el año 6 000 a. C. (Seguí, 2016), es hasta principios del siglo xx cuando se comenzó la investigación sobre cultivos *in vitro* que se vislumbró su uso potencial en muy diversas industrias. El tránsito de la biotecnología tradicional a la moderna ha implicado utilizar a los seres vivos mediante el uso de más y mejor tecnología, lo cual ha provocado la multiplicación de innovaciones en muy distintas áreas.

La transversalidad en el uso y aplicaciones de los desarrollos biotecnológicos, así como la diversidad de disciplinas que contribuyen a ello, hace muy complicado catalogarla únicamente como una ciencia o una tecnología. Tampoco se puede definir cabalmente como un sector industrial, aunque en muchas ocasiones suele denominarse un sector tecnológico. Dicha transversalidad complejiza su análisis en tanto a los actores y dinámicas involucradas. Sumado a lo anterior, el hecho de que ha sido considerada por diversos académicos y organismos internacionales como una “tecnología paradigmática” capaz de modificar las esferas productivas (Pérez, 2004; OCDE, 2009) se puede observar que sus implicaciones van más allá del ámbito tecnocientífico y pasan al espacio socioeconómico, incluidas variables institucionales formales e informales.

El objetivo del presente capítulo es reflexionar, de manera sintética, a la biotecnología a la luz de las dinámicas sociales y económicas contemporáneas. No es una revisión exhaustiva, ya que requeriría más espacio del disponible, por lo tanto, sólo se destacan los aspectos socioeconómicos. Partiendo de que la biotecnología no es un sector industrial tradicional, pero si una tecnología de uso transversal que se desarrolla, aplica y usa en el sector primario y secundario, se analiza la dinámica socioeconómica en que está inmersa la biotecnología relacionada con la agricultura y con la farmacéutica humana. Esta delimitación resulta de que dichos sectores son en los que la biotecnología ha desplegado la mayoría de sus usos y aplicaciones, por lo tanto, es allí donde también se observan muchos de los impactos económicos y sociales.

El capítulo se estructura de la siguiente manera: en el primer apartado se plantean distintos cambios en términos de la producción científica, tecnológica y económica que se observan entre la biotecnología tradicional y la biotecnología moderna. El segundo apartado focaliza en la descripción y análisis de las tendencias en el sector farmacéutico, y en el tercer apartado lo que corresponde al sector agrícola. Al final se presentan las conclusiones.

DE LA BIOTECNOLOGÍA TRADICIONAL A LA BIOTECNOLOGÍA MODERNA

La biotecnología tradicional ha estado presente a lo largo de milenios en la humanidad, pero es a partir de la década de 1970, con las técnicas de recombinación de ADN en laboratorio, que se determina una clara diferencia entre biotecnología tradicional y moderna. El cambio se asocia a la complejidad tecnológica involucrada, así como a la precisión y velocidad con que se pueden lograr las modificaciones. En el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), se define a la biotecnología moderna de la siguiente manera:

La aplicación de a. Técnicas in vitro de ácido nucleico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o b. La fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional. (Convenio sobre la Diversidad Biológica, p. 4).

Para dar cuenta de la evolución tecnológica, se presenta a continuación un cuadro de las distintas etapas de desarrollo de la biotecnología.

Si bien no es menester de este trabajo discutir los principios ontológicos y epistémicos para determinar en qué consiste el cambio cualitativo entre la biotecnología tradicional y la moderna, se parte del supuesto de que hay marcadas diferencias entre la forma en la cual se desarrollan una y otra y que esas diferencias son en gran medida determinantes de la actual dinámica socioeconómica de la biotecnología.

La primera diferencia tiene que ver con la complejidad científica y técnica. La biotecnología tradicional incluye técnicas sencillas como la selección artificial, los cruzamientos selectivos o hibridación y la mutagénesis, en lo que se refiere a las plantas y semillas. Mientras

que, en los alimentos, se hace uso de diversos tipos de microorganismos como los microbios, los cuales se usan para las levaduras en el caso del alcohol, el vino, la masa del pan. Así como las bacterias, que contribuyen con ácido láctico en los productos lácteos, cárnicos y vegetales fermentados (Argenio, 2020).

CUADRO 1
CRONOLOGÍA DEL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Era pre Mendel (anterior a 1865)	}	Antigua
Fermentación: elaboración de pan y bebidas alcohólicas (cerveza, vinos)		
Productos lácteos (quesos y yogurt)		
Nixtamalización del maíz		
Vinagre		
Era Mendel (1865-1940)	}	Clásica
G. Mendel descubre que existen elementos genéticos en los organismos vivos		
L. Pasteur desarrolla la vacuna contra la rabia.		
Fermentaciones industriales (etano, butanol, acetona, glicerol)		
Producción de ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico)		
Era antibiótico (1940-1960)	}	Clásica
Aparición de la biología molecular		
Producción a gran escala de antibióticos		
Transformaciones esteroidales (cortisona, estrógenos)		
Era post antibiótico (1960-1975)	}	Moderna
Desarrollo del primer organismo transgénico		
Producción de: aminoácidos, enzimas industriales		
Enzimas inmovilizadas		
Proteína unicelular, polisacáridos		
Era biotecnológica (1975-presente)	}	Moderna
Aparición de la ingeniería genética		
Tecnología adn recombinante y técnicas <i>in vitro</i> de ácidos nucleicos		
Fusión de células de la misma o distinta familia taxonómica		
Desarrollo de la técnica llamada “reacción en cadena de la polimerasa (PCR)”		
Se crea la primera compañía en ingeniería genética: Genentech Inc. en Estados Unidos		
Primeros productos aparecen en el mercado (Vacunas, insulina humana)		

Fuente: Elaboración propia con base en Chauvet (2016) y Bolivar-Zapata (2007).

Todas estas técnicas son cualitativamente distintas a las técnicas de la biotecnología moderna. Pero la complejidad no sólo se expresa en lo descrito, sino en los actores y dinámicas meso y macroeconómicas.

Es a partir de la biotecnología moderna que se registran una serie de cambios organizacionales, económicos e institucionales que marcan un cambio importante en la manera de desarrollar y usar biotecnología. De hecho, esto también implicó un marcado interés de los científicos sociales, como abogados, filósofos, sociólogos, economistas y humanistas, al darse cuenta de los alcances de la biotecnología (López, 2018).

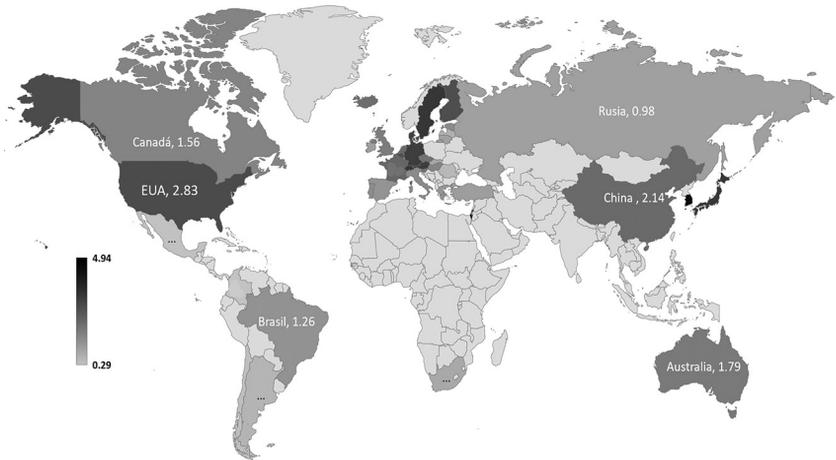
La segunda diferencia implica la aparición de nuevos actores. En términos económicos, la década de 1970 marcó la aparición de las primeras empresas dedicadas a la biotecnología. Empresas que desarrollan investigación y desarrollo (I+D) para procesos y productos de diversas industrias, pero que están basados en las técnicas de la biotecnología moderna. Esto constituye un hito, ya que surge un tipo de empresa que no existía previamente, lo cual implica la formación de un mercado biotecnológico global que verá una de sus más importantes expresiones en la creación del índice de la National Association of Securities Dealers Automated Quotation Biotechnology (NASDAQ Biotechnology Índice) el cual integra a empresas de alta tecnología en una bolsa de valores automatizada.

Países de Europa como España, Inglaterra y Francia, de Asia como Japón y China y Estados Unidos cuentan con una larga historia en la formación de empresas de este tipo. Y, sin duda, es Estados Unidos quien lidera el proceso. Como se observa en el mapa siguiente, los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) que más porcentaje de su Producto Interno Bruto (PIB) invirtieron en I+D en 2018 fueron justamente los países desarrollados como Estados Unidos y Alemania y algunos emergentes como Corea del Sur, Israel y Japón.

Por su parte, entre los países latinoamericanos pertenecientes a la OCDE que invirtieron menos de 1 por ciento de su PIB en I+D, destacan en los primeros tres lugares: Argentina, Chile y México. Esta notable diferencia en la inversión en I+D en la mayoría de los países en desarrollo con respecto a los países desarrollados, deja entrever la brecha de capacidades científicas y tecnológicas, así como las dificult-

tades para alcanzar una economía del conocimiento, impidiendo la articulación de un desarrollo económico, social y tecnológico independiente en estos países.

MAPA 1
GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (I+D) COMO PORCENTAJE DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PAÍSES SELECCIONADOS, 2018)



Fuente: Elaboración propia con base en OCDE (2020).

En contraste, destaca el caso de Japón que, en 1995, no contaba con ninguna empresa de base biotecnológica, pero en poco tiempo este país logro establecer una estrategia de desarrollo biotecnológico que condujo a un crecimiento exponencial a corto plazo basado en los denominados emprendimientos biotecnológicos. En este sentido, varias investigaciones coinciden en el hecho de que tecnologías con alta incertidumbre y requerimientos financieros elevados como la biotecnología, requieren de ambientes institucionales proclives que generen incentivos directos para que se creen empresas y superen las etapas más álgidas hasta que puedan consolidarse (Lynskey, 2006 y Niosi y Banik, 2005).

De acuerdo con Dasgupta y Stiglitz (1980) el establecimiento de un ambiente institucional favorable debe acompañarse de acciones simultáneas empresariales, de manera que exista determinación desde el ambiente institucional a las empresas y de las empresas al ambiente nacional. En el caso de Japón, esto es justamente lo que Linskey (2006) denomina un proceso de coevolución a partir de transformaciones institucionales como los cambios en la legislación, la política, la transferencia de tecnología, etcétera.

Desde una perspectiva económica, las empresas son las principales encargadas de realizar innovaciones. Pero hay diversas dinámicas asociadas y formas organizativas que están en función de las tecnologías involucradas. En este sentido, las innovaciones biotecnológicas dependen en gran medida de la producción científica y tecnológica, la cual muchas veces es desarrollada por centros públicos de investigación y/o universidades, además de grandes volúmenes de recursos financieros. Si bien el desarrollo tecnológico y la innovación son siempre inciertos, a la biotecnología se agregan factores sociales, éticos, filosóficos, medio ambientales y económicos, así como la preocupación de distintos sectores de la población y organizaciones sociales dada la compleja relación con la vida.

Un tercer elemento son las dinámicas asociadas a la producción de conocimiento y su relación con la industria. Siguiendo la experiencia exitosa de países como Japón, desde los años ochenta del siglo xx diversas economías establecieron como sector prioritario o estratégico a la biotecnología, lo cual se complementó con la promoción a través de estudios de organismos como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), donde se concluía en favor del desarrollo de la biotecnología, al vislumbrarla como un nuevo paradigma tecnológico que representaba una serie de oportunidades tecnológicas y económicas.

Lo anterior condujo a la creación de agendas en países como Brasil, Argentina, Chile y México donde situaban a la tecnología como un motor fundamental de desarrollo económico y social. A su vez, se produjo una serie de cambios institucionales en las regulaciones y re-

glamentaciones para establecer los desarrollos deseables en el tema, basados en el principio precautorio. El hecho de que los organismos internacionales y el caso de algunos países desarrollados como Estados Unidos, Alemania y Japón, establecieran como eje de desarrollo tecnológico y económico a la biotecnología, motivó la atención de los gobiernos de países en vías de desarrollo para promoverla.

Siguiendo los modelos lineales de innovación, varios gobiernos, incluyendo al mexicano, implementaron políticas de fomento a las capacidades científicas en biotecnología, lo que implicó mayor presupuesto para la formación de recursos humanos de nivel posgrado, a través de becas y estímulos a la investigación básica. Se pretendía generar un cúmulo de capacidades que, emulando el comportamiento de la revolución de la informática, generara un semillero de emprendedores y nuevas empresas (Amaro y Morales, 2016; Villavicencio, 2019).

La puesta en marcha de dicha política tuvo éxito relativo en la mayoría de los países en desarrollo donde se promovió, dado que efectivamente crecieron los recursos humanos en biotecnología y áreas relacionadas, además de los posgrados y la investigación científica básica. Como tendencia, en México se observó que tanto el número de investigadores del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), así como la matrícula de licenciatura y posgrado reportada por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) muestra un aumento sostenido, resultado de la promoción de la biotecnología y áreas afines, además de la importancia que por sí misma ha cobrado en el nivel mundial como posible área de crecimiento científico, tecnológico y económico (Flores y Avendaño, 2019).

La tendencia de México es consistente con los resultados de otros países en desarrollo como India o China, ya que en ellos también hay un crecimiento considerable. Es importante destacar, junto con las anteriores variables, el crecimiento de 117% de los artículos académicos en el periodo 2005-2014 de los países en desarrollo (Clarivate Analytics, 2017). Ello ha implicado un incremento en las citas a di-

chos documentos, y a su vez refiere la importancia que en el mundo está desempeñando la investigación que se realiza en dichos países. Y puede inferirse como un resultado exitoso de las políticas implementadas de fomento a la investigación, además de haber representado una importante inversión federal a través de diversos tipos de estímulos a los investigadores. También vale la pena mencionar que las categorías donde más se publica incluyen a la biotecnología clínica y médica; dos de las áreas más relevantes en el desarrollo biotecnológico, lo que muestra que, además del importante crecimiento e impacto, la investigación en los países en desarrollo se ubica en las áreas de frontera en el plano mundial.

A pesar del importante avance científico que algunos países en desarrollo han tenido en esta área, esto no ha impactado significativamente en las economías nacionales, lo cual se debe a dos factores primordialmente. El primero es resultado del tipo de política pública que se implementó, la cual está basada en un modelo lineal que parte de la hipótesis de un proceso escalonado en el cual, una vez que se cuente con un cúmulo de capacidades científicas, se podrán construir capacidades tecnológicas y de innovación, lo cual no necesariamente sucede. En segundo lugar, debido a las particularidades que muestran las tecnologías basadas en la vida para desarrollarse en términos de mercado.

Desde la perspectiva aquí planteada, los gobiernos han errado en las políticas científicas y tecnológicas, ya que la producción de conocimiento tiene características particulares que no son tomadas en cuenta y que son muy distintas de la producción de otros bienes tradicionales. Además, en términos generales, las políticas de ciencia, tecnología e innovación han sido influenciadas por la idea neoclásica¹ de que el mercado, como asignador de recursos, será lo suficientemente eficiente como para que se produzca el nivel necesario de innovación.

¹ El neoliberalismo valora el intercambio del mercado como una ética en sí misma, capaz de actuar como una guía para la sociedad (Harvey, 2007).

Sin embargo, como plantean Stiglitz y Greenwald (2015) más allá de una posición proteccionista o de “libre mercado”, en las economías en desarrollo vale la pena proteger una serie de industrias relevantes para cada economía, ya que generan una serie de externalidades que promueven el aprendizaje de otros sectores, incluyendo el agrícola. Las políticas públicas, de acuerdo con dichos autores, deberían buscar aumentar el aprendizaje, incrementar los incentivos para aprender, aprender a aprender y así cerrar brechas (Stiglitz y Greenwald, 2015).

Finalmente, para concluir este apartado y retomando el tema de las particularidades del mercado, recuérdese que para Joseph Schumpeter, los monopolios eran estructuras de mercado temporales que permitían la realización de innovaciones dada la competencia que surgiría entre las grandes empresas, para convertirse en la líder. Lo anterior tiene dos fuertes implicaciones: la primera apunta a que los mercados más competitivos son menos innovadores (Stiglitz y Greenwald, 2015), y al hecho de que ciertas tecnologías no permiten realmente superar la etapa monopolística. Esto es un claro ejemplo de lo que sucede con la biotecnología, ya que, como se verá más adelante, las tendencias de este tipo de mercados apuntan más hacia estructuras monopólicas y oligopólicas basadas en las fusiones y adquisiciones, lo que señala la importancia de establecer marcos regulatorios y políticas públicas que desincentiven la concentración económica.

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR FARMACÉUTICO: TENDENCIAS SOCIOECONÓMICAS

Históricamente la farmacéutica ha sido dominada en términos científicos, tecnológicos y económicos por un pequeño grupo de empresas en todo el mundo. Las grandes inversiones que se requieren para el desarrollo de productos médicos como vacunas, medicamentos y tratamientos de salud en general es uno de los elementos que ha provocado que sólo unas cuantas empresas dominen el mercado; aunque existen más factores que han influido fuertemente en las últimas décadas, como la expansión y profundización de los derechos de pro-

propiedad intelectual (DPI) a nivel global, las fusiones y adquisiciones y la aparición de la biotecnología moderna.

De acuerdo con Gutman y Lavarello (2017) la biotecnología aún no es un paradigma consolidado, justamente como resultado del alto grado de incertidumbre y la complejidad de su base de conocimiento. Pero a pesar de ello, se observa un proceso de difusión intersectorial o “industria industrializante”,² lo que significa que en términos tecnológicos es capaz de trastocar otras industrias a través de modificaciones técnicas, organizacionales y productivas. Fenómeno que se ha observado principalmente en la industria farmacéutica.

La evolución tecnológica de la industria farmacéutica proviene de los progresos de la química en el siglo XVIII, la química de los ácidos orgánicos y de los alcaloides en el siglo XIX, así como de la química orgánica y la petroquímica, lo que sitúa al surgimiento de las grandes empresas de la industria justo a principios del siglo XX procedentes de la industria química como Bayer y Lilly o Glaxo, proveniente del sector agroalimentario (Guzmán y Brown, 2004).

La investigación y el desarrollo (I+D) siempre han sido un elemento fundamental para la producción de principios activos, así como los requerimientos de fuertes inversiones financieras, las cuales, en muchas ocasiones han corrido a cargo de los gobiernos, dados los intereses de salud pública o bien como en la actualidad, por alguna emergencia sanitaria que requiere de esfuerzos coordinados entre empresas, universidades y gobiernos.

² Las “industrias industrializantes” son el soporte del resto de la industria. En su artículo “Industries industrialisantes et contenu d’une politique d’intégration régionale”, De Bernis (1966) cataloga una serie de industrias, las cuales considera claramente como industrializantes; ejemplo de ellos son: la industria siderúrgica, las industrias mecánicas, la industria química, la industria electrónica y los complejos industriales que tienen que ver con la generación de energía. A partir de esta consideración, resalta que esas industrias forman parte del sector de bienes de capital; afirma que son las únicas capaces de ejercer un efecto directo en la reestructuración de las técnicas de producción, y así, en el conjunto de las estructuras económicas y sociales.

Como se ha mencionado, la biotecnología moderna implicó un nuevo impulso para la industria, y de acuerdo con autoras como Guzmán y Brown (2004), la biotecnología ha significado una revolución en la industria farmacéutica dado el abanico de oportunidades que se abrió ante la conjunción de conocimientos tecnológicos provenientes de la genómica, la proteómica, la terapia génica, la terapia celular, la farmacogenómica, la bioinformática, la química combinatoria y el diseño de fármacos.

Tal revolución generó una subrama dentro de la industria, la cual se puede denominar como biofarmacéutica, dinamizada por la biotecnología moderna como motor tecnológico. Como actores económicos los grandes laboratorios farmacéuticos, constituidos globalmente y las pequeñas empresas especializadas en I+D biotecnológica; y como actores científicos y tecnológicos las universidades, los institutos y centros públicos de investigación, articulados todos bajo distintos sistemas de colaboración, vinculación y cooperación (Gutman y Lavarello, 2017).

La organización mencionada es la de un típico sistema de innovación. Pero con la particularidad de mantener los rasgos de dominio de las grandes empresas multinacionales (EMN) de países desarrollados, signo distintivo de la industria farmacéutica tradicional (Collazo, 1997). Lo cual se refleja en el poder de mercado que tienen a partir de la concentración (fusiones y adquisiciones), la alta rentabilidad, la capacidad de diferenciar precios por segmento de demanda y la propiedad tecnológica que impone altas barreras a la entrada (Gutman y Lavarello, 2017).

Otro signo distintivo de la biofarmacéutica es la tendencia sostenida y al alza en las inversiones en emprendimientos biotecnológicos, a pesar de las fluctuaciones que desde 2006 se han presentado en la industria de Estados Unidos (Festel, 2018). Aunado a lo anterior, se promueven importantes programas de investigación financiados a través de fundaciones como Gates, CF, Ellison, X Prize o Laura y John Arnold (ICEX, 2018). La anterior puede indicar que, como mercado, hay amplias expectativas de crecimiento.

Es importante destacar que el financiamiento privado se ha concentrado en capital semilla y en empresas serie A,³ fundamentalmente para I+D en detección y tratamiento de cáncer, mientras que los fondos para las empresas pequeñas y medianas, quienes usualmente enfrentan restricciones para acceder a capital de riesgo, provienen cada vez más de EMN que buscan financiar empresas proveedoras especializadas en insumos y procesos especializados. Estas pequeñas y medianas empresas cuentan con capacidades tecnológicas avanzadas, y en muchas ocasiones son integradas verticalmente por las EMN y se convierten en sus brazos tecnológicos. Esto expresa la dinámica que se ha establecido entre los distintos segmentos empresariales, la cual está dirigida por las EMN.

Como muestra del importante crecimiento del sector biofarmacéutico a nivel global, vale la pena mencionar que el año 2020 destacó como uno de los mejores años en el financiamiento a la biotecnología a nivel global. Por ejemplo, los índices bursátiles se mantuvieron al alza durante todo ese año y principios de 2021; en lo que respecta a la deuda y las ofertas públicas (OPI), éstas reportaron que aproximadamente 73 empresas del sector obtuvieron 22 mil millones de dólares y se adquirieron 33 empresas biotecnológicas mediante el sistema de Sociedad de Propósito Específico para la Adquisición de Empresas (SPAC, por sus siglas en inglés), que es un instrumento que implica que la empresa puede listarse sin historial de operaciones y su valor comenzará a fluctuar en el mercado una vez que hayan concretado la adquisición de una u otras empresas mediante una OPI. Un cambio importante fue que, a diferencia de la tendencia hacia la consolidación de fusiones, durante 2020 la industria farmacéutica reportó una disminución con respecto a años previos y se elevó el número de asociaciones y son las empresas chinas las que han mostrado mayor dinamismo (De Francesco, 2021).

³ Se trata principalmente de la fase en la que se encuentra una empresa cuando busca recaudar fondos. Las empresas Serie A se caracterizan porque suelen ser la primera vez que esa compañía se ofrece a inversores externos.

Otro elemento relevante sobre la dinámica de la biofarmacéutica es lo referente a los derechos de propiedad intelectual (DPI). Sin duda, para la industria farmacéutica siempre han sido fundamentales los DPI, pero en la actualidad se observan dos estrategias complementarias que le han permitido a las EMN mantener el poder de mercado del que gozan y abrir más la brecha entre las empresas líderes y el resto. La primera es una organización de redes mundiales de innovación en las que subordinan a las universidades, organismos de investigación y empresas *start-up*, y la segunda es una estrategia basada en las fusiones, adquisiciones y asociaciones de empresas biotecnológicas, lo que apunta a una fuerte concentración y centralización (Amaro y Sandoval, 2019; Rikap *et al.*, 2020). Lo anterior ha permitido la profundización de la apropiación del conocimiento por parte de las EMN, quienes se han constituido como monopolios intelectuales (Rikap, 2019)

Otro componente por destacar es el desarrollo del mercado de los medicamentos biosimilares; tema fundamental para los países en desarrollo como México, dado que podría representar una ventana de oportunidad para la biofarmacéutica de dichos países. Si bien este mercado también se encuentra ya dominado por algunas economías como la India, el vencimiento próximo de patentes de algunos medicamentos innovadores es una posibilidad de responder creativamente a través de la innovación (Amaro, 2021). Esto tampoco es sencillo porque las EMN han desplegado diversas estrategias depredadoras para impedir que las patentes se liberen, además de que se ha ejercido mucha presión ante los organismos regulatorios para obstaculizar la aprobación de este tipo de productos (Gutman y Lavarello, 2017).

En el caso de México se enfrentan trabas asociadas a la nueva *Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial* en el contexto del Tratado Comercial entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) y del Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (TIPAT o TPP11) y la posible profundización de los monopolios de conocimiento tecnológico. Y habría que sumar a esto las particularidades de los sistemas de salud y los niveles necesarios en cuanto a las capacidades

científicas y tecnológicas para lograr responder de forma creativa. Sin embargo, a pesar de las dificultades que puede implicar desarrollar capacidades científicas, tecnológicas y de innovación, es necesario apostar por una política industrial que permita responder ante crisis como la que se enfrenta con la pandemia de la COVID-19, así como para disminuir la dependencia tecnológica que se tiene con respecto a los productos farmacéuticos.

De acuerdo con un estudio reciente de Guzmán y Pérez (2020) y basados en sus hallazgos, los autores sugieren que: entre mayor sea el cúmulo de conocimiento, el tamaño de los equipos de investigación, la titularidad de las empresas, los flujos de conocimiento científico al ámbito tecnológico, el ámbito de la innovación y el valor de la patente citada será posible reducir el rezago del tiempo en que se citan novedades previas (p. 92).

Lo anterior se complementa con otras investigaciones en el sentido de que es necesaria una mayor intervención estatal para limitar los procesos de extractivismo del conocimiento por parte de las EMN (Rikap y otros, 2020); además de una promoción decidida por parte de los gobiernos nacionales a través de inversiones focalizadas en temas prioritarios, compras públicas, regulaciones y cambios institucionales proclives al fomento de capacidades endógenas (Gutman y Lavarello, 2017), pero también en la formulación de una política industrial que permita a las empresas nacionales robustecer sus capacidades, colaborar con universidades y centros de investigación y promover una política industrial que permita una autodeterminación tecnocientífica y menor dependencia tecnológica (Amaro, 2021).

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA: TENDENCIAS SOCIOECONÓMICAS

En las últimas tres décadas, la profundización de la globalización en la agricultura mundial creó un conjunto de normas y reglas que estructuran y organizan la producción de alimentos en el mundo a través de cadenas globales de valor comandadas por empresas transnacionales

de agronegocio que mediante el control de la producción y comercialización de alimentos administran el abasto mundial.

De esta forma, a medida que las corporaciones privadas crearon, organizaron e impusieron cadenas de suministro agroalimentarias globales para el “abastecimiento global de alimentos”, según McMichael (2015), surge un tercer régimen agroalimentario corporativo, que opera desde 1980 hasta la actualidad, el cual expresa un nuevo momento en la historia política del capital al ser parte del proyecto de globalización neoliberal, restaurando el principio del mercado mundial, en el cual los gobiernos ahora sirven a los mercados, imponiéndose la lógica del mercado y de las corporaciones transnacionales.

McMichael (2015) señala también que la característica principal que define al actual sistema agroalimentario mundial es su carácter corporativo. Es decir, la pieza central de este nuevo régimen se encuentra en que se basa en el monopolio privado, en donde las grandes empresas multinacionales se han convertido en los agentes económicos dominantes. Por lo tanto, esta estructura concentrada de mercado (oligopólica) presiona a los productores frente a un puñado de vendedores de insumos, procesadores y minoristas, y además limita las opciones del consumidor.

A su vez, el mismo autor señala que dicho carácter corporativo se combina con una segunda característica, es decir, el papel que ha jugado el Estado neoliberal⁴ en dicho régimen. Si bien las empresas transnacionales se han convertido en los actores económicos principales en la producción y en la diseminación de insumos, el apoyo gubernamental o público no ha estado totalmente limitado. Ha incluido

⁴ El Estado neoliberal es aquel en el cual la lógica de acción dominante tiene por objetivo central ampliar y fortalecer lo máximo posible la economía de libre mercado en el territorio nacional y en su relación con el mundo. Para ello, el Estado contribuye a construir y garantizar un orden político, económico, social y jurídico que permita garantizar y fomentar al sector privado la mayor ampliación posible de los bienes y servicios mercantilizados para aumentar las posibilidades del capital privado de alcanzar las mayores ganancias posibles (Narbondó, 2014: 17-18).

la expedición de nuevas políticas y legislaciones para promover y proteger las nuevas reglas comerciales, por lo que los Estados continúan siendo medios centrales en el despliegue de las políticas para promover dicho proyecto corporativo.

De igual forma, una tercera y última característica de dicho régimen es que depende de manera sobresaliente de la tecnología, especialmente de la biotecnología, para impulsar y articular gran parte de la producción y comercialización de alimentos en el mundo, y para la generación de soluciones a distintos problemas de la agricultura (Otero, 2014).

Sin embargo, está en cuestionamiento si es la biotecnología la vía principal para enfrentar los problemas y desafíos de la agricultura en la actualidad, así como la forma para alcanzar una mayor productividad e integración a los mercados y, por ende, garantizar el abasto mundial y un mejor nivel de vida para toda la población.

En ese sentido, el problema no sería la tecnología en sí misma, sino los impactos económicos y sociales que subyacen a ella, debido a que se aplica para satisfacer las exigencias de un régimen agroalimentario que es desigual y polarizador, como ya se dijo, por lo que surge la necesidad de cuestionarse: ¿quién dirige el desarrollo biotecnológico?, ¿cómo y en función de qué “problemas” agrícolas se encauza esta tecnología?, ¿de quién son esos “problemas”?, ¿a quiénes les interesa resolverlos? y ¿cuáles serían presumiblemente los sectores socioeconómicos “perdedores” y cuáles los “ganadores”? A continuación, se dará cuenta de estas interrogantes.

El papel de la biotecnología en la agricultura

En el caso de la agricultura, la biotecnología moderna se ha convertido en la continuación del anterior paradigma tecnológico de la Revolución Verde, el cual consistió en el uso de técnicas de fitomejoramiento e insumos convencionales (agroquímicos) para la producción de nuevas y mejores variedades de plantas (híbridas). Sin embargo, el mejoramiento por medio de la biotecnología actual es radicalmente

distinto al realizado por las técnicas tradicionales de fitomejoramiento que se habían practicado anteriormente, ya que, en primer lugar: 1) se trascienden las barreras impuestas por las incompatibilidades fisiológicas naturales entre las plantas y otras especies que no pudo superar el fitomejoramiento tradicional, haciendo posible introducir en plantas genes provenientes de otras especies vegetales distintas, y además llevándose a cabo en menor tiempo y de manera más precisa; 2) se introduce al genoma de un organismo secuencias adicionales que actuarán al margen de los mecanismos de recombinación y regulación endógenas; y, 3) en una sola construcción transgénica se combinan secuencias reguladoras y codificantes de diversos organismos con arreglos artificiales, que no se han generado en la naturaleza (Alavez y otros, 2013).

La mayoría de las novedades biotecnológicas se han concentrado en la elaboración de semillas híbridas o transgénicas de alto rendimiento, conocidas como organismos genéticamente modificados, los cuales suponen la introducción de material genético extraño en las variedades de plantas, en busca de productos o variedades vegetales tolerantes a plagas, enfermedades, condiciones ambientales adversas y con mejor vida de anaquel e inocuidad. Otros productos susceptibles de obtenerse de plantas transgénicas incluyen enzimas, alimentos con alto valor nutritivo, productos farmacéuticos, vacunas y plásticos biodegradables.

Entre los cultivos transgénicos más extendidos en el mundo se encuentran: el tabaco, la soya, el maíz, el arroz, el algodón y la canola, sembrados en enormes monocultivos industriales, los cuales se venden como materia prima para la alimentación de ganado, bioenergéticos, aceite de cocina y edulcorantes, entre otros productos.

También, otros cultivos como papa, papaya, sandía, tomate, pepino y calabaza amarilla han sido transformados genéticamente en los últimos años, con el propósito de mejorar su resistencia a enfermedades y son actualmente comercializados. El motivo por el que las compañías agroindustriales decidieron seleccionar estos cultivos para su alteración genética se debe a su alto valor comercial. De hecho, se

estima que hoy en día entre 60% y 80% de los productos que se encuentran en los anaqueles de los supermercados cuentan con alguna materia prima que ha sido resultado de la biotecnología (Otero, 2014).

Debido a que el desarrollo de la biotecnología coincidió con la globalización y el neoliberalismo⁵ en la década de 1980, ésta logró acelerar su difusión, comercialización y aplicación en la producción agrícola mundial. Desde entonces, la superficie mundial de cultivos biotecnológicos ha aumentado exponencialmente, pasando de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 191.7 millones de hectáreas en 2018, siendo utilizada por 18 millones de productores en el mundo, convirtiéndose en la tecnología agrícola con mayor tasa de adopción en el mundo (ISAAA, 2018).

Según el informe elaborado por el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA, por sus siglas en inglés), titulado “El estado mundial de comercialización de cultivos biotecnológicos: 2018”, un total de 70 países adoptó cultivos biotecnológicos a través del cultivo y/o la importación en dicho año. Veintiséis países (21 de países en vías de desarrollo y 5 en desarrollo), sembraron 191.7 millones de hectáreas de cultivos biotecnológicos, que añadieron 1.9 millones de hectáreas al récord de siembra en el 2017. Así, los cinco principales países con la mayor área de cultivos biotecnológicos sembrados son Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e India, los cuales ocupan conjuntamente 91% del área global de cultivos biotecnológicos.

Por otro lado, desde la adopción y comercialización de cultivos biotecnológicos en 1996, además de haber incrementado la actividad agrícola en el mundo, esta tecnología ha ayudado a: i) una mayor productividad que contribuye a la seguridad mundial de los alimentos; ii) una mayor autosuficiencia nacional; iii) conservar

⁵ El neoliberalismo está basado en una teoría de prácticas político-económicas que afirma que la mejor manera de promover el bienestar del ser humano consiste en no restringir las libertades empresariales del individuo dentro de un marco institucional caracterizado por derechos de propiedad privada, mercados libres y libertad de comercio (Harvey, 2007).

la biodiversidad, evitar la deforestación y proteger los santuarios de la biodiversidad; iv) mitigar los desafíos asociados al cambio climático; y, por último, v) mejorar los beneficios económicos, sanitarios y sociales (ISAAA, 2018).

En este sentido, las expectativas que sobre la biotecnología se tienen son reforzadas mediante las ventajas competitivas que una economía basada en el conocimiento puede traer a los países; dicha tecnología es visualizada, en general, como una estrategia para la generación de alternativas mediante las cuales se pueden obtener ventajas para el desarrollo empresarial, ya que la competitividad de un país se basa en el crecimiento y desarrollo de sus empresas (Amaro y Sandoval, 2019).

De hecho, es por estos aspectos que se señala que la biotecnología tiene los instrumentos potenciales para hacer un mejor uso sostenible de los recursos, aumentar los rendimientos y productividad agrícola, así como potenciar el desarrollo de las industrias alimentarias. Por lo que, a su vez, se le atribuye la capacidad de acabar con las hambrunas en el mundo, eliminar la inseguridad alimentaria, la desnutrición y contrarrestar los efectos ecológicos por el cambio climático.

Sin embargo, a estas posiciones optimistas se ha opuesto una amplia gama de críticas de científicos, organizaciones y productores en el mundo,⁶ que consideran a la biotecnología como una tecnología controvertida para el agro, y han expresado su preocupación sobre los posibles riesgos ambientales y nutricionales que dicha tecnología puede provocar; no obstante, la reflexión aquí planteada girará en torno a los efectos socioeconómicos de la biotecnología moderna (poco discutidos en la literatura al respecto) en el contexto del actual régimen agroalimentario, en especial en los países en vías de desarrollo, porque si bien la biotecnología en sí misma pudiese ofrecer algunas so-

⁶ Greenpeace, Vía Campesina, GRAIN, el Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración (ETC), Amigos de la Tierra, Third World Network (TWN), la Unión de Científicos Preocupados de Estados Unidos, entre otras a nivel internacional. En México, la campaña *Sin Maíz no hay País*, sostenida por 300 organizaciones campesinas.

luciones a ciertos problemas que afectan a la agricultura mundial, la cuestión es que es necesario ubicarla como la herramienta principal, acorde a los intereses de la profundización de la “mercantilización” de los alimentos en el mundo, en donde los grandes agronegocios transnacionales buscan sobre todo producir ganancias, no alimentos.

Impactos socioeconómicos de la biotecnología en la agricultura

Los estudios más recientes sobre los impactos socioeconómicos de la biotecnología en el contexto del régimen agroalimentario neoliberal, en especial en los países del Tercer Mundo, han mostrado que las principales consecuencias son las siguientes.

En primer lugar, resalta el hecho de que las principales corporaciones agroindustriales como Bayer-Monsanto, Syngenta, BASF, DOW AgroSciences, John Deere y Corp han fortalecido su control monopólico sobre la producción, desarrollo y comercialización de semillas, fertilizantes, plaguicidas y maquinaria agrícola. Vale la pena mencionar que recientemente la farmacéutica alemana Bayer adquirió a la empresa Monsanto, hecho que convierte a la empresa alemana en el mayor monopolio global en la agricultura, al controlar cerca de un tercio del comercio global de semillas y fertilizantes. Tales megafusiones son ejemplo del nivel de concentración del mercado mundial, el cual se puede observar más claramente en el siguiente cuadro.

Junto a este hecho, cuatro grandes empresas comercializadoras de materias primas (*commodities*) y granos alimenticios: Archer Daniels Midland (ADM), Bunge, Cargill y Louis Dreyfus Company (llamadas las ABCD), controlan la mayor parte del comercio internacional de cereales y granos, es decir, 75% del comercio mundial, y tienen gran influencia sobre la determinación de los precios internacionales de los alimentos. Además de las actividades de comercio, transporte y almacenamiento de granos, participan en el aprovisionamiento de insumos agrícolas como semillas, fertilizantes y agroquímicos; almacenan en instalaciones propias; transportan en sus propios ferrocarriles y barcos; producen alimentos para animales; son productores gana-

deros y avícolas; son propietarias o arrendatarias de tierras; y son entidades financieras (Oxfam, 2012).

CUADRO 2
CONSOLIDACIÓN DE LAS EMPRESAS DE INSUMOS AGRÍCOLAS

Semillas: Cuatro semilleras controlan más de la mitad (53%) del mercado mundial de semillas; las 10 más grandes controlan más de 3/4 partes de éste (76%).
Plaguicidas: Tan sólo cuatro firmas tienen 70% del mercado global de agroquímicos. Las primeras diez compañías de plaguicidas controlan casi 95% del mercado mundial en ese sector
Fertilizantes: Las diez firmas más grandes controlan más de 50% del mercado global.
Maquinaria: Seis empresas de maquinaria agrícola controlan 52% del mercado global.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Grupo ETC, 2019.

Un aspecto más es que las principales empresas agroindustriales de maquinaria agrícola como John Deere y Corp,⁷ han impulsado en los últimos años un esquema de agricultura de “precisión o inteligente”, que consiste en que la maquinaria agrícola (tractores, trilladoras, sembradoras, cosechadoras, fumigadoras, etcétera) sea equipada con herramientas digitales como geo localizadores, sensores remotos, imágenes aéreas tomadas mediante drones, y acceso a servidores de Internet para consulta de datos en tiempo real, para generar datos digitales y orientar a los agricultores sobre cómo, dónde y cuándo deberán ellos plantar las semillas, irrigar, aplicar pesticidas y/o fertilizantes. Otro de los objetivos de este tipo de agricultura es ofrecer una plataforma para el mapeo y monitoreo del clima, la presencia de plagas y las condiciones de los suelos. Sin embargo, el peligro de dicha agricultura es que los millones de datos e información que se generen sobre suelos y clima, serán controlados por estas mismas

⁷ John Deere y Corp tiene por objetivo mapear clima y producción de alrededor de 160 millones de hectáreas en Estados Unidos, Canadá, Brasil, Argentina y Europa Occidental y Oriental hacia 2025 (ETC Group, 2016).

empresas monopólicas, profundizando aún más su dominio sobre la agricultura.

En el sentido anterior, la consecuencia socioeconómica de estos hechos es que la producción de alimentos a nivel mundial depende cada vez más, de estas cuatro o cinco EMN lo cual le imprime una alta vulnerabilidad a la seguridad y soberanía alimentaria del mundo, especialmente a los países en vías de desarrollo, además de poner en riesgo la democratización del régimen alimentario mundial. Ya que, por ejemplo, cuatro de los diez países que más compran insumos agroindustriales pertenecen a dicho segmento y representan el 28% del mercado mundial (ETC Grupo, 2016a).

De esta manera, como señalan Gómez y Granados (2016), el mercado de alimentos mundial semejaría un reloj de arena, donde la conexión entre el gran número de alimentos y la enorme población de consumidores finales se realiza a través de estrechos canales de intermediación, transformación y comercio controlados por estas agroempresas monopólicas.

En segundo lugar, si bien desde la perspectiva de la economía basada en el conocimiento las patentes facilitan el desarrollo de los mercados tecnológicos porque contribuyen a proteger e impulsar las innovaciones facilitando su comercialización y difusión, no obstante, en la actualidad, un gran número de patentes biotecnológicas, en especial las de alto valor técnico y económico, han sido registradas en países desarrollados⁸ y por corporaciones privadas, lo cual refleja la centralización y concentración del conocimiento científico y tecnológico en unos cuantos países y empresas. De hecho, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ha reconocido que “muchos de los avances biotecnológicos hechos en países industrializados y por el sector privado, que conducen

⁸ Según datos de la OCDE (2016), los principales países con un número mayor de patentes biotecnológicas registradas en el año 2013 fueron: Estados Unidos, Japón y Alemania.

al patentamiento de las tecnologías, frecuentemente son inaccesibles a científicos o agricultores de los países en desarrollo” (2011:26).

Además, con las patentes se ha institucionalizado las relaciones de mercado y de propiedad intelectual que privilegian al agronegocio transnacional y excluyen a otros competidores (países y empresas de los países en vías de desarrollo) en nombre de la “eficiencia”, el “libre mercado” y la “seguridad alimentaria global”. Este fenómeno proporciona el medio a través del cual, las propiedades de los sistemas vivos se vuelven “mercantilizables” mediante títulos jurídicos, patentes y otros instrumentos cuasi-legales, en busca de la generación de mayores ganancias (McMichael, 2015).

Otra consecuencia aunada a la anterior ha sido el patentar las técnicas y prácticas agrícolas tradicionales (semillas criollas, manejo y rotación de cultivos, etcétera) de los pueblos indígenas y comunidades campesinas que poseen conocimientos que les han permitido hacer uso de la biodiversidad para su desarrollo.⁹ Con ello, las empresas agroindustriales se han apropiado no sólo de los recursos genéticos en su estado natural sino de los conocimientos tradicionales. Esta apropiación del conocimiento tradicional, unido a la distribución no equitativa de las ganancias que a partir del mismo son obtenidas, han provocado un debate internacional sobre el control y comercialización del conocimiento tradicional. Éste es considerado parte fundamental del patrimonio cultural y social (y no como un valor económico) de los pueblos indígenas, motivo por el cual se busca proteger del uso de las empresas biotecnológicas transnacionales para su patente y mercantilización.

Una consecuencia más ha sido el hecho de que la promoción de los avances biotecnológicos se ha enfocado, en su mayoría, en mejorar

⁹ El conocimiento tradicional representa los conocimientos, innovaciones y prácticas asociadas al uso de la biodiversidad que han realizado desde tiempo atrás pueblos indígenas y que hace referencia a la identificación de plantas con propiedades curativas y a sus contribuciones a la domesticación y conocimiento de cultivos alimenticios con valor de uso agronómico.

la productividad de ciertos cultivos, como los monocultivos (tabaco, soya, maíz, arroz, algodón y canola) que se venden como materia prima para las agroindustrias y los de “lujo” para exportación.

Lo anterior ha provocado un sesgo productivo desigual en favor de estos productos y también de ciertos productores agrícolas que cuentan con una gran escala productiva, con un perfil empresarial, con grandes dotaciones de capital, capaces de adaptar el paquete tecnológico, mientras que la mayoría de los pequeños productores y campesinos-familiares de todo el mundo son excluidos de tal dinámica agrícola al ser considerados como “ineficientes”, por no contar con la capacidad para adoptar el modelo productivo y tecnológico de la agricultura moderna (ya que es cierto que el rezago tecnológico en la producción agrícola se traduce en baja competitividad). De esta forma, aquellos productores agrícolas que sean incapaces de competir e integrarse a los mercados de productos biotecnológicos, sufren como consecuencia la marginación. Esto ha consolidado la producción agrícola donde domina el desplazamiento del campesinado (Bello, 2009).

En el sentido anterior, se ha despertado un profundo debate teórico en torno al papel de la biotecnología tradicional y moderna como causa o no de fondo del fenómeno de la exclusión de los productores y campesinos, en particular los de los países en vías de desarrollo, del sistema agroalimentario globalizado. En este sentido, se argue que el fondo de la exclusión es la desigual estructura del régimen agroalimentario corporativo, el cual es producto de un proyecto político y económico cuyo objetivo es que los países desarrollados (principalmente Estados Unidos, Europa y Asia) recuperen su hegemonía mediante el control de los procesos biotecnológicos y comerciales alrededor de la agricultura.

De hecho, una de las razones principales por las cuales los países desarrollados se convirtieron de importadores en exportadores de alimentos y materias primas fue justamente su inversión en la investigación científica y el desarrollo tecnológico (es decir, en la economía del conocimiento), siendo tal control un riesgo latente para los paí-

ses en vías de desarrollo si éstos no logran crear y aumentar las bases para aprovechar el potencial y beneficios de la inversión en ciencia y tecnología para la agricultura.

Una consecuencia más, a partir de la conjunción de la estructura desigual del régimen alimentario y la biotecnología moderna, ha sido el aumento de la inseguridad alimentaria en el mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo.¹⁰ Para la FAO (2006), la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana.

Si bien es cierto que el sector agrícola mundial produce alimentos suficientes para alimentar a la población del mundo, ya que diariamente el sector agrícola a nivel mundial produce, en promedio, 27.3 millones de toneladas de alimentos, incluidos 19.5 millones de toneladas de cereales, tubérculos, frutas y verduras, además de un millón cien mil toneladas de carne y 2 100 millones de litros de leche (FAO, 2015), estos logros no han sido suficientes para garantizar la seguridad alimentaria en el mundo, especialmente en el Sur Global, debido a que, en la actualidad, el principal obstáculo para garantizar dicha seguridad no es productivo sino es la falta de acceso a los alimentos.

El aumento de los precios agroalimentarios en la última década, con subidas muy acusadas en 2007, 2008 y en 2011, provocadas por una serie de problemáticas ligadas al ámbito financiero (Rubio, 2014), ha obstaculizado el acceso a los alimentos, viéndose afectada negativamente la mayoría de la población mundial. Este fenómeno trajo consigo un aumento considerable de la población con hambre en el planeta. De hecho, la crisis de hambruna y pobreza abarca ac-

¹⁰ Esta situación de hambruna y pobreza ha sido especialmente aguda en los países en vías de desarrollo, particularmente en América Latina, el Sur de Asia y África subsahariana, en donde se estima hay 780 millones de personas subnutridas. De hecho, la volatilidad de los precios obligó a los países más pobres del mundo a gastar 8% más en comprar alimentos (FAO, 2015b).

tualmente alrededor de unos 800 millones de personas que padecen hambre en el mundo, lo que equivale a algo más de una de cada nueve personas (FAO, 2015b).

Aunado a lo anterior, los problemas de inseguridad alimentaria también están relacionados con dietas inadecuadas, carentes de suficientes proteínas, vitaminas y minerales. De hecho, como señala McMichael (2015), el avance de la industrialización de los alimentos ha profundizado un esquema de “dietas sociales y/o de clase”, provocando que los consumidores ricos tengan un mayor acceso a una alimentación sana, mientras que la estructuración desigual del régimen alimentario distribuye alimentos altamente procesados, elevados en calorías, caros y de bajo contenido nutricional a las poblaciones más pobres. En este sentido, considerar que los avances de la biotecnología pueden contribuir a la reducción del hambre es una perspectiva reduccionista porque se le considera como un problema técnico que debe ser resuelto por mecanismos técnicos, siendo que en realidad intervienen otros aspectos de carácter político, económico y social.

Finalmente, en el siguiente cuadro se resumen los efectos socioeconómicos principales con relación al régimen agroalimentario corporativo y la biotecnología.

CUADRO 3
EFFECTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA

Fortalecimiento del control monopólico de pocas empresas sobre la producción, desarrollo y comercialización de semillas, fertilizantes, plaguicidas y maquinaria, poniendo en riesgo la democratización del régimen alimentario mundial.	Vulnerabilidad de la seguridad y soberanía alimentaria, en especial de los países en vías de desarrollo, por la creciente dependencia de los agricultores al comprar los insumos a un reducido grupo de empresas biotecnológicas multinacionales.
El proceso de patentar ha reforzado la centralización y concentración del conocimiento científico y tecnológico en unas cuantas naciones (imperialistas) y empresas.	El proceso de patentar ha significado la institucionalización de las relaciones de mercado y de propiedad intelectual fortaleciendo la mercantilización de los seres vivos.

<p>La intensificación de la biotecnología principalmente promueve patrones de circulación centrados en la agroexportación de alimentos del Sur hacia el Norte.</p>	<p>La biotecnologización de los alimentos ha profundizado un esquema de “dietas de clase”.</p>
<p>La biotecnología moderna ha profundizado un sesgo productivo y regional en favor de los monocultivos y productos de “lujo”, así como también en favor de ciertos productores (los más capitalizados y productivamente dotados), generando una aguda polarización y exclusión de la agricultura campesina-familiar, en especial la de los países en desarrollo.</p>	<p>El proceso de patentar las técnicas y prácticas agrícolas tradicionales (semillas criollas, manejo y rotación de cultivos, etcétera) de los pueblos indígenas y comunidades campesinas amenaza su forma de vida y sus funciones sociales, culturales y económicas.</p>
<p>Aumento de la inseguridad alimentaria en el mundo, especialmente en los países en vías de desarrollo, por falta de acceso económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, debido a que los productos derivados de la biotecnología se enfocan hacia consumidores de altos ingresos.</p>	<p>Pérdidas económicas a los agricultores orgánicos o naturales, quienes pueden perder su certificación y nichos de mercado, si las tierras o cosechas del país enfrentan riesgos por contaminación transgénica, por ejemplo, la miel que proviene de superficies aledañas a plantíos transgénicos.</p>
<p>Pérdida de actividades culturales relacionadas con los sistemas agrícolas, como el intercambio de semilla que puede verse limitado ante la imposibilidad de almacenamiento de semillas.</p>	<p>Reducción en el empleo rural, al tener una agricultura más mecanizada y tecnologizada que requiere de menos mano de obra, por ejemplo, los cultivos resistentes a herbicidas ya no requieren de jornadas laborales de eliminación de malezas.</p>
<p>Aumento de la dependencia de los países en vías de desarrollo del comercio agrícola internacional y de la volatilidad de los precios.</p>	<p>La pérdida de la elección del consumidor y productor entre alimentos transgénicos y no transgénicos al no existir mecanismos de etiquetado.</p>
<p>El costo de oportunidad por implementar los paquetes biotecnológicos no resulta atractivo para la mayoría de los productores, en comparación con otras opciones de producción, la migración o la siembra de cultivos ilegales (drogas).</p>	<p>Profundización de una tendencia imperialista del capitalismo en la agricultura, cuyo objetivo es que los países desarrollados (principalmente Estados Unidos) recuperen su hegemonía mediante el control de los procesos agrícolas, biotecnológicos y comerciales globales, esto vinculado con la subordinación y periferización del desarrollo agrícola de los países en vías de desarrollo.</p>

Fuente: elaboración propia con base en Chauvet (2016).

CONCLUSIONES

En este capítulo se han planteado algunos elementos distintivos en las transformaciones socioeconómicas que se observan en la biotecnología, como parte de una configuración global. Dado que es en la farmacéutica y en la agroindustria donde se ha desplegado el mayor potencial económico de la biotecnología, ésta se ha focalizado en dichos sectores. Sin embargo, es pertinente aclarar que no son los únicos y que existen dinámicas relevantes de las que vale la pena dar cuenta, por ejemplo, en las aplicaciones medio ambientales y en los procesos de convergencia con otras tecnologías como la nanotecnología y la genómica, entre otras.

En el caso de la biotecnología farmacéutica, se identifica que los procesos de concentración y centralización son inminentes. Las empresas multinacionales tienen un predominio de las cadenas globales de valor, apropiándose de las cuasi rentas tecnológicas a través de las patentes. Este hecho ha quedado constado por diversos estudios y apuntan hacia la concreción de los llamados monopolios intelectuales. Los grandes laboratorios que históricamente han controlado el mercado de la salud gozan de una posición privilegiada, dado que son los únicos que tienen capacidad de financiamiento en I+D en los niveles que se requieren. Además, el poder económico que tienen también se expresa a través del poder de negociación con los órganos reguladores nacionales e internacionales. Ello ha limitado las capacidades tecnológicas de las pequeñas y medianas empresas y si a esto se suma la falta de una política industrial que les ayude a construir y consolidar capacidades tecnológicas y de innovación, el panorama parece desolador. Sin embargo, hay que considerar que, dada la experiencia de algunos países, es conveniente sugerir que lo que se necesita es la formulación de políticas dirigidas a aminorar estas brechas, considerando nuevos esquemas de participación pública y privada.

Por otra parte, el análisis la biotecnología en la agricultura dejó claro el grado de profundización de esta tecnología en la agricultura mundial, es decir, en la producción, distribución, comercialización y

consumo de los productos agrícolas. La consecuencia principal de esto es que va imponiendo como universal la agricultura biotecnológica, lo cual constituye un mecanismo de dominio, y los productores y las poblaciones rurales que no se subordinen a dicha lógica son excluidos.

Además, este nuevo sistema agroalimentario da pie a que las agroempresas transnacionales se convirtieran en los actores económicos principales de la agricultura mundial, mediante su interconexión en cadenas productivas y comerciales globales, al igual que en la distribución de insumos, maquinaria, infraestructura, equipos y servicios agrícolas, buscando realizar el abastecimiento global de alimentos. Dicho rasgo ha llevado a caracterizar a este régimen agroalimentario como “corporativo”.

En este contexto, la biotecnología ha tenido también un fuerte papel en la construcción de este sistema, lo cual permitió deducir que esta tecnología se ha convertido en la herramienta principal de este régimen en la agricultura. Lo anterior debido a que este recurso transforma continuamente la producción agropecuaria, las prácticas agrícolas, las formas de organización y comercialización, así como su procesamiento, consumo porque obliga a las poblaciones rurales mundiales a incluirlas en la nueva dinámica productiva y tecnológica.

Así, la conjunción del régimen alimentario corporativo y la biotecnología agrícola se convierte en la fórmula idónea para la articulación de un proyecto agroalimentario, encabezado por los países centrales y sus agroempresas transnacionales, basado en la monopolización de la ciencia y la tecnología alrededor de la agricultura, con el objetivo de garantizar la circulación de valor de los países en vías de desarrollo a los desarrollados, lo cual intensifica la extracción de rentas tecnológicas, bloqueando el desarrollo tecnoagrícola propio, independiente y aut centrado de los países y productores, en especial los de los países en vías de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alavez, Valeria, Elena R. Álvarez-Buylla, Alma Piñeyro Nelson, Ana Wegier, José Antonio Serratos Hernández y Jorge Nieto-Sotelo (2013). “Las líneas de maíz transgénico disponibles para la agricultura: promesas, hechos y potencial en el contexto de México”. En *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso de México*, coordinado por E. Álvarez-Buylla y A. Piñeyro. México: UNAM/UCCS.
- Amaro, Marcela, y Seyka Sandoval (2019). “Industria biotecnológica, concentración y oportunidades para las empresas mexicanas en el panorama de encadenamientos productivos”. En *La Biotecnología en México: Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Morales y Marcela Amaro. México: Facultad de Economía-UNAM.
- Amaro, Marcela (2021). “La Industria Biofarmacéutica en México ante la crisis sanitaria por el Sars-Cov-2: desafíos y reacciones creativas de innovación”. *Revista Política y Cultura*. México: UAM-X.
- Amaro, Marcela y Mario Morales (2016). “Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes”. *Redes* 31 (42): 137-140.
- Argenbio (2020). *La Biotecnología* [en línea]. Disponible en <<https://www.argenbio.org/biotecnologia/la-biotecnologia?start=2>> (consulta: 14 de febrero de 2020).
- Bello, Walden (2009). *The Food Wars*. Nueva York: Verso.
- Bolívar-Zapata, Francisco (2007). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. México: El Colegio Nacional, Conacyt, Cibiogem, UNAM.
- CDB (1992). Convenio Sobre la Diversidad Biológica. ONU (en línea) Disponible en <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>>.
- Chauvet, Michelle. (2016). *Biotecnología y sociedad*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Clive, James (2014). *Situación mundial de los cultivos biotecnológicos/gm comercializados*, 42. Washington: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications.
- Collazo, Manuel (1997). “El poder de mercado de la industria farmacéutica”. *Revista Cubana de Farmacia*, 31(2), 119-124.
- Clarivate Analytics (2017). “Biotechnology Reports. State of Innovation Report Shows that Global Innovation is Growing, but at a Slower Rate. Londres: Derwent.
- Dasgupta, Partha, y Joseph Stiglitz (1980). “Industrial structure and the nature of innovative activity”. *The Economic Journal* 90 (358): 266-293.

- De Bernis, G. D. (1966). "Industries industrialisantes et contenu d'une politique d'integration régionale". *Economie Appliquée*, vol. XIX [en línea] Disponible en <https://www.persee.fr/docAsPDF/tiers_0040-7356_1971_num_12_47_1802.pdf>.
- De Francesco Laura (2021). "Financing breaks all records in 2020". *Nature Biotechnology* 39: 123-134 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1038/s41587-021-00817-7>>.
- ETC Grupo (2019). "Tecno-fusiones comestibles. Mapa del poder corporativo en la cadena alimentaria". [en línea]. Disponible en <<https://www.etcgroup.org/es/content/tecno-fusiones-comestibles>>.
- ETC Grupo (2016). "Monsanto, voracidad infinita. Megafusiones y amenazas a la soberanía alimentaria" (Nota informativa, marzo) [en línea]. Disponible en <<http://www.etcgroup.org/es/content/monsanto-voracidad-infinita-megafusiones-y-amenazas-la-soberania-alimentaria>>.
- Festel, Gunter (2018). "Economic aspects of industrial biotechnology". En *Sustainability and Life Cycle Assessment in Industrial Biotechnology* (pp. 53-74). Springer: Cham.
- Flores, Carlos, y Selma Avendaño (2019). "Breve Panorama de la innovación biotecnológica en México". En *La Biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Morales y Marcela Amaro. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Gómez, Luis, y Rosario Granados (2016). "Las cuatro grandes empresas comercializadoras y los precios internacionales de los alimentos". *Revista Economía Informa* 400 (septiembre-octubre): 24-39. México: UNAM.
- Gutman, Graciela, y Pablo Lavarello (2017). "El sector biofarmacéutico: desafíos de política para una industria basada en la ciencia". En *Manufactura y cambio estructural. Aportes para pensar la política industrial en la Argentina*, coordinado por Martín Abeles, Mario Cimoli y Pablo Lavarello. Santiago CEPAL.
- Guzmán, Alenka, y Marco Pérez (2020). "Extensión de la pandemia Covid-19 frente al acceso a la vacuna y las capacidades tecnológicas". *Economía, Teoría y Práctica*. Nueva época, número especial, vol. 5, México.
- Guzmán, Alenka, y Flor Brown (2004) "Diseminación tecnológica en la industria farmacéutica mexicana". *Comercio Exterior* 54 (11). México.
- Harvey, David (2007). *Breve historia del neoliberalismo*. Madrid: Ediciones Akal.
- ICEX (2018). *El mercado de la Biotecnología en Estados Unidos*. Reporte de la Oficina Económica y Comercial de España en Chicago, [en línea]. Disponible en <<https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2018790237.html?idPais=US>>.
- López, Manuel (2018). "Las narrativas de la biotecnología". *Revista Argumentos de Razón Técnica* 21: 47-76.

- Lynskey, Michael (2006). "Transformative technology and institutional transformation: Coevolution of biotechnology venture firms and the institutional framework in Japan". *Research Policy* 35 (9): 1389-1422.
- McMichael, Philip (2015). *Regímenes alimentarios y cuestiones agrarias*. México: Universidad Autónoma de Zacatecas/Miguel Ángel Porrúa.
- Narbondo, Pedro (2014). *Estado neoliberal, Estado desarrollista y Estado de bienestar universalista: definiciones conceptuales y aplicación a una caracterización preliminar de algunas de las reformas del Estado y del sector público de los gobiernos del Frente Amplio*. Montevideo: Instituto de Ciencia Política. Universidad de la República [en línea]. Disponible en <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Uruguay/icp-unr/20170217031324/pdf_579.pdf>.
- Niosi, Jorge y Marc Banik (2005), "The evolution and performance of biotechnology regional systems of innovation", *Cambridge Journal of Economics* 29 (3): 343-357.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2009). "Manual de estadísticas de patentes de la OCDE" [en línea]. Disponible en <http://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos_relacionados/Publicaciones/monografias/manualEstadisticas.pdf>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2016). "Main Science and Technology Indicators" [en línea]. Disponible en <http://stats.oecd.org/index.aspx?DatasetCode=MSTI_PUB>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2020). "Main Science and Technology Indicators" [en línea]. Disponible en <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *La erradicación del hambre en el mundo: evaluación de la situación diez años después de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (Informe)* [en línea]. Disponible en <<http://www.fao.org/3/a0750s/a0750s00.pdf>>. Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). "Biotechnologies for agricultural development". En *Agricultural Biotechnologies in developing countries: options and opportunities in crops, forestry livestock, fisheries and agro-industry to face the challenges of food insecurity and climate change* (Informe). Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015a). *Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles* (Informe). Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015b). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación* (Informe). Roma: FAO, FIDA y PMA.

- Otero, Gerardo (2014). *La dieta neoliberal: globalización y biotecnología agrícola en las Américas*. México: Simon Fraser University/Universidad Autónoma Metropolitana/Miguel Ángel Porrúa.
- Oxfam (2012). "The world's largest grain traders and global agriculture" (Reporte de investigación [en línea]. Disponible en <<https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/rr-cereal-secrets-grain-traders-agriculture-30082012-en.pdf>>.
- Pérez, Carlota (2004). *Revoluciones Tecnológicas y Capital Financiero. La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. México: Siglo XXI Editores.
- Rikap, Cecilia. (2019). "Asymmetric power of the core: technological cooperation and technological competition in the transnational innovation networks of big pharma". *Review of International Political Economy*, 26 (5): 987-1021.
- Rikap Cecilia, Fernando Garelli, Mercedes García Carrillo, Pablo Nicolás Fernández Larrosa, Matías Blaustein (2020) "Lucro empresarial, extractivismo y pandemia: el rol del modelo científico hegemónico en la acumulación de capital basada en la monopolización de conocimiento", *Antagónica. Revista de investigación y crítica social* 2: 67-100.
- Rubio, Blanca (2014). *El dominio del hambre: crisis de hegemonía y alimentos*. México: Universidad Autónoma Chapingo/Colegio de Posgraduados/Universidad Autónoma de Zacatecas/Juan Pablos Editor.
- Seguí, José (2016). *Biología vegetal. La ciencia que revoluciona el futuro de las plantas*. Madrid: Editorial Guadalmazan.
- Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas [ISAAA] (2018). Estado Global de los Cultivos Biotecnológicos/MG Comercializados en 2018 (Informe 54). Ithaca, NY: Cornell University-ISAAA [en línea]. Disponible en <<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/download/isaaa-brief-54-2018.pdf>>.
- Stiglitz, Joseph, y Eric Greenwald (2015). *La creación de una sociedad del aprendizaje*. Ciudad de México: Ediciones Culturales Paidós.
- Trejo, Sergio (2010). *La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su factibilidad de desarrollo*. Tlaxcala: CIBA. IPN.
- Villavicencio, Daniel (2019). "Los desafíos de las políticas de innovación en México". En *La Biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Morales y Marcela Amaro. Ciudad de México: Facultad de Economía, UNAM.

Inserción de empresas mexicanas en la cadena de valor biotecnológica

*Rubén Oliver Espinoza
Federico Andrés Stezano Pérez*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se inserta en la temática de las posibilidades de inserción de las firmas mexicanas en cadenas de valor biotecnológicas. Partiendo de datos obtenidos por la Primera Encuesta de Actividades de biotecnología (BT) de empresas en México,¹ el objetivo de este capítulo es conocer el tipo de inserción que adoptan las firmas mexicanas de biotecnología en las cadenas de valor (CV) del sector. Esto se realiza desde una exploración derivada de la técnica multivariada análisis de trayectorias, la cual permite establecer la trayectoria de los vínculos de las empresas encuestadas en la CV. De este modo, este trabajo busca discernir el tipo de procesos de encadenamiento productivo en que suelen involucrarse las firmas analizadas con el fin de perfilar el grado de complejidad técnica, cognitiva y productiva de esas fases en que tienden a involucrarse.

¹ En 2014, un grupo de investigadores latinoamericanos especializados en el análisis de actividades innovativas de empresas biotecnológicas inició un trabajo de vinculación y colaboración que culminó en 2014 con el diseño de un Primer Cuestionario para el relevamiento de actividades de BT en empresas en Argentina, Brasil, México y Uruguay (Bianchi et al., 2015). En 2015, este cuestionario fue ajustado técnicamente para su aplicación en México. Ese mismo año, el instrumento fue aplicado a 53 empresas biotecnológicas nacionales.

Como trasfondo de este objetivo de trabajo circunda el debate sobre los espacios potenciales de inserción de empresas de VT en México y América Latina y los senderos de desarrollo productivo que podrían adoptarse, las políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) más acordes a esos fines. Y, muy especialmente, el tipo de política industrial más compatible con objetivos de escalamiento productivo y de cambio estructural de los esquemas nacionales predominantes a nivel de desarrollo productivo, industrial, tecnológico y social.

Este trabajo parte de hallazgos previos recientes de las investigaciones realizadas por este equipo de investigación:

- I. la existencia de capacidades técnicas en más de la mitad de las firmas encuestadas, incluyendo la generación de sistemas (55%), de prototipos (60%), la integración de sistemas (62%) y el desarrollo de pruebas y enlaces de servicios con organizaciones de CTI (67.5%);
- II. altos niveles de desarrollo de capacidades de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D): entre 70% y 90% de las firmas muestran habilidades de investigación básica y aplicada (especialmente con organizaciones de CTI), líneas tecnológicas, cartera de productos y tecnología y actividades de desarrollo tecnológico;
- III. capacidades de innovación reflejadas en la introducción reciente de innovaciones en tres de cada cuatro firmas encuestadas;
- IV. el peso decisivo de las capacidades de innovación, centralmente de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) en los desempeños de innovación de la firma;
- V. la escasa y nula influencia de las capacidades de gestión y de absorción de conocimientos respectivamente sobre esos mismos desempeños;
- VI. el nulo efecto que tiene sobre la probabilidad de que una firma innove su estrategia de financiamiento a la I+D, sea a través de la inversión interna o desde la recepción de subsidios públicos (Stezano y Oliver, 2019; Oliver y Stezano, 2019 y 2021).

Estos hallazgos previos confirman la importancia de conocer los nexos existentes entre las capacidades productivas, los desempeños innovativos y las diferencias existentes entre esas dinámicas en las distintas instancias (eslabones) de la cv. Esta investigación busca así sumar evidencia que agregue insumos empíricos y analíticos que contribuyan a una reflexión sobre los posibles tipos de inserción productiva en cv biotecnológicas de las empresas mexicanas y las posibles vías de intervención a través de instrumentos de política industrial para el sector.

El trabajo presenta el siguiente orden. La segunda sección desarrolla el marco analítico y explicativo del trabajo a partir de la revisión de dos temas centrales de este capítulo: i) los esquemas de innovación y las formas organizacionales preponderantes de las empresas de BT; ii) los rasgos singulares de la cv sectorial. Posteriormente, la tercera sección caracteriza estilizadamente al sector BT en México, sus dinámicas y agentes principales. La cuarta sección presenta el detalle del análisis del estudio de caso. Los resultados del estudio conducen a inducir la inserción de los resultados de innovación de las empresas en la cv biotecnológica y, en esa perspectiva, a dimensionar el tipo de innovación en función del grado de novedad, a partir del mercado al que se destina la producción biotecnológica. Los alcances de estos resultados ponen en evidencia, como se señalan en las conclusiones del trabajo, la importancia de: i) establecer esquemas de política CTI sectorialmente orientada a la BT y, muy especialmente, ii) una política industrial activa que priorice al sector BT en México. Sin embargo, como también se señala en la sección final del trabajo, la posibilidad de establecer políticas industriales y de CTI orientadas a promover procesos de cambio estructural chocan con una tradición de ausencia de consensos históricos entre Estado y elites económicas. Esta falta de acuerdos ha sido muy notoria en relación con senderos de desarrollo productivo nacional que se reflejen en estrategias de promoción de industrias infantiles y los caminos para fomentar el surgimiento de empresas tecnológica y organizacionalmente competentes.

MARCO ANALÍTICO

INNOVACIÓN Y CADENA DE VALOR BIOTECNOLÓGICA

Innovación biotecnológica y estructuración del mercado

La organización estructural de las actividades de innovación, los patrones de división laboral, las estructuras de incentivos y los mecanismos de selección de los agentes del sector biotecnológico están determinados por la existencia de dos agentes principales:

i) las grandes empresas integradas verticalmente, se han vuelto en los actores corporativos predominantes en el sector y ii) las empresas de BT (especializadas o nuevas).²

Las firmas especializadas en biotecnología o nuevas empresas biotecnológicas (NEB) desarrollan el potencial comercial de los desarrollos en ciencia y tecnología (CyT) logrados por investigadores científicos, médicos y sus equipos de investigación tanto en universidades como en hospitales. El papel central de estas empresas ha sido transferir el conocimiento científico básico generado por el sector científico público y transformarlo en técnicas y productos comercialmente viables (McKelvey y otros, 2004; Reynolds *et al.*, 2016).

La estructura competitiva del sector es de alta complejidad para las NEB, lo cual complejiza enormemente su ingreso al mercado BT. Dos requisitos especialmente complejos limitan su posicionamiento en un sector caracterizado por altas barreras de entrada y pocos (y grandes) actores clave: i) recursos para costos regulatorios y de investigación y desarrollo (I+D)³ y ii) una infraestructura de comercialización

² Taxonomías más amplias sobre grandes modelos organizacionales de las empresas del sector (muchas veces relacionadas a especificidades de nichos de mercado en ciertos subsectores BT) pueden encontrarse en: McKelvey (2004); Nosella *et al.*, (2005); Khilji y otros (2006); Buhler *et al.*, (2007); Patzelt *et al.*, (2008); Konde (2009); Vanhala y Reijonsaari (2013) y Niosi y McKelvey (2018).

³ Los costos del sector farmacéutico son elocuentes de los grandes flujos de capital que implica la producción de un nuevo medicamento. Para 2016, el costo de la I+D para el desarrollo de nuevos fármacos por las grandes empresas dominantes del sector se estimó

que involucra contratos con una base de clientes y un sistema de gestión que vincule a la empresa con sus clientes (Wield y otros, 2010; Ireland y Hine, 2007). Esto es más evidente en la industria farmacéutica, donde los riesgos, costos y tiempos se presentan con mayor complejidad que los usualmente asumidos y difundidos por los *policy-makers* (creadores de políticas) (Hopkins *et al.*, 2007).⁴

En el segundo gran modelo organizacional, la gran empresa integrada verticalmente se involucra en casi todas las actividades para desarrollar y comercializar nuevos productos o procesos BT, incluyendo I+D, producción, distribución y comercialización. Estas firmas obtienen ingresos por la venta de productos BT y el desarrollo de sus productos, y proporcionan un mercado para los descubrimientos realizados por NEB (Hinterhuber, 2002; OCDE, 2009; Reynolds *et al.*, 2016).

En los distintos subsectores de aplicación de conocimientos biotecnológicos (farmacéutica, sector agrícola, BT industrial) hay una trayectoria común que comparten todas las grandes empresas verticalmente integradas: la búsqueda de una base de conocimiento más amplia (esfuerzos para aumentar sus capacidades de investigación y

en 524 millones de dólares por desembolso y 1 044 millones en gasto de capitalización en promedio y por cada nueva droga. Considerando los costos de I+D en todo el ciclo de vida del producto y el desarrollo y estimando los costos de I+D tras la aprobación inicial, el costo de desembolso por cada nuevo medicamento aprobado fue de 1 861 millones de dólares y el costo capitalizado de 2 870 millones (DiMasi *et al.*, 2016).

⁴ Muchas NEB pasan años (incluso décadas) en transición de un descubrimiento a un producto potencialmente rentable, porque generalmente carecen de los recursos necesarios para fabricar, distribuir y comercializar sus inventos. En consecuencia, sus modelos de negocio dependen del capital de riesgo, la compra de licencias de conocimiento especializadas a grandes empresas o la colaboración en el desarrollo de investigaciones mediante contratos o empresas conjuntas. Por esto, en sus inicios, las NEB son desafiadas organizacionalmente por limitaciones de recursos y un entorno competitivo que les exige capacidades complejas de gestión empresarial para coordinar recursos, habilidades y competencias y crear nuevas oportunidades tecnológicas (Khilji *et al.*, 2006). Se vuelve clave así en el desempeño de las NEB su habilidad de combinar eficientemente su agenda de negocios con su agenda de CyT (Ireland y Hine, 2007). Esta destreza es una capacidad organizacional ambidiestra y de dura construcción (Ambos *et al.*, 2008).

absorción) y un vínculo más significativo con la comunidad científica financiada con fondos públicos basada en una estrategia centrada en su consolidación como actores relevantes en el ámbito científico mejor que meros observadores y usuarios pasivos (McKelvey *et al.*, 2004: 94-95).

Cadena de valor biotecnológica

Una cv, en su forma más básica, es el proceso por el cual la tecnología se combina con insumos de materias primas y trabajo para su posterior procesamiento, comercialización y distribución. Un punto central abordado en la literatura sobre cv repasa en qué actividades y tecnologías permanecen en la empresa, cuáles se desplazan a otras y la relocalización de tales actividades (Gereffi *et al.*, 2005). La cadena de valor es un marco para identificar las actividades discretas e interconectadas que dirigen una firma y cómo esas actividades afectan tanto el costo como el valor entregado a los compradores (Kapeleris y otros, 2004).

La perspectiva de cv permite: i) discernir analíticamente y descubrir la secuencia de las distintas etapas de producción, I+D e innovación y ii) identificar los vínculos y las redes que determinan donde residen las actividades de valor agregado en dos niveles: la empresa y el sector industrial (Martínez-Piva *et al.*, 2008). Desde una perspectiva de sectores industriales y tecnológicos, la idea de cv implica que la creación de valor en ciertos sectores de negocios puede representarse en configuraciones diferentes a una cadena, como por ejemplo siguiendo el abordaje relacional, una red de actividades y no siempre como una secuencia (Bianchi *et al.*, 2015).

En tal sentido, el análisis de cadenas permite además profundizar sobre aspectos críticos de la conformación de redes globales de tecnología: el proceso productivo entendido como una serie de actividades que generan valor agregado desarrolladas por distintas entidades; la fragmentación de actividades a través de distintas empresas, países y regiones; la distribución de actividades productivas a lo largo de la

cadena global de valor; y el tipo de coordinación entre las empresas que pertenecen a esa cadena global (OCDE, 2008).

Así, la visión de CV coincide con la perspectiva de sistemas nacionales de innovación (SNI) en cuanto ambas se centran en el mapeo y caracterización de los actores y sus interacciones. Sin embargo, lo que difieren son los énfasis que cada perspectiva da con relación al aspecto central que busca detectarse a través del análisis de los actores y sus vinculaciones. Así, mientras la visión de SNI se centra en la generación y uso del conocimiento (en ocasiones en una etapa particular de una CV), el enfoque de CV se centra en la creación de valor, las oportunidades de mercado y los vínculos a lo largo de la sucesión de actividades productivas de una cadena (Anandajayasekeram y Gebremedhin 2009).

Por ejemplo, la CV biotecnológica se compone de una sucesión de actividades que realizadas por distintas organizaciones que incluyen múltiples agentes: las empresas dedicadas a biotecnología, universidades, institutos tecnológicos, organizaciones intermedias de manufactura e investigación y las autoridades gubernamentales de nivel nacional, estatal y local y sus medidas de política sectorial (Bianchi *et al.*, 2015).

RASGOS CENTRALES DEL SECTOR BIOTECNOLÓGICO EN MÉXICO

En México, el sector de la BT está dominado por las empresas transnacionales (ETN) y las empresas nacionales de biotecnología especializadas se enfrentan a obstáculos importantes para acceder al mercado. El panorama de la producción en el sector muestra que la mayoría de las empresas relacionadas con la biotecnología utilizan procesos de fermentación tradicionales. Por lo tanto, las empresas nacionales de BT son pocas, y se basan principalmente en tecnología de ADN recombinante. La brecha entre las empresas transnacionales, que utilizan sistemáticamente técnicas y procesos de biotecnología, y las empresas nacionales, caracterizadas por incipientes y excepcionales desarrollos biotecnológicos, la falta de departamentos de I+D y prácticas

informales de consultoría sobre sus actividades de innovación es muy evidente (Amaro y Morales, 2010).

Las cuatro instituciones educativas y de investigación nacionales cuya investigación tiene el mayor impacto en la ciencia y tecnología de la BT son UNAM, UAM, Cinvestav e IPN. Dado su número de científicos, la antigüedad de los grupos académicos, la infraestructura y la disponibilidad de equipos de análisis, representan la infraestructura biotecnológica fundamental en México. No obstante, la producción científica medida por trabajos publicados, el número de patentes del sector registradas (Morales y otros, 2019) y los indicadores de gasto nacional en I+D para el sector reflejan una debilidad general de México como competidor en el sector a nivel latinoamericano y mundial (Stezano, 2019).

El número de empresas biotecnológicas mexicanas fue revelado inicialmente por un estudio que identificó 375 empresas que utilizan productos y procesos asociados con la biotecnología en 2010. Se descubrió que la biotecnología es el negocio principal de 20% (67) de estas empresas. Se estima que solo la mitad de estos (30-35) basaron su desarrollo en sus propias tecnologías e innovaciones (Trejo, 2010: 366). La estimación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) basada en su Encuesta Sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Esidet) de 2010 indicó la presencia de 406 empresas que utilizaban técnicas modernas de biotecnología en los años 2010 y 2011. La versión última de Esidet publicada en 2017 determinó la presencia de 283 empresas que utilizaron biotecnología entre los años 2014 y 2015 y 370 que lo hicieron en 2016. La OCDE (2018) estimó la presencia de 426 empresas biotecnológicas activas en 2016.⁵

⁵ La presencia temporal y técnicamente discontinua de estadísticas sistemáticas sobre las empresas del sector biotecnológico en México, así como algunas inconsistencias metodológicas en los instrumentales y herramientas de recolección estadística de datos pone de manifiesto la necesidad de: i) buscar legitimar entre la comunidad de involucrados a nivel científico, tecnológico, empresarial y de diseño de políticas el reforzar los

ANÁLISIS DE TRAYECTORIAS

Encuesta

Este artículo presenta un estudio de las trayectorias de la cadena de valor de la innovación de las empresas biotecnológicas mexicanas, utilizando datos de una encuesta nacional de empresas biotecnológicas en 2015. Este instrumento adoptó a las empresas de biotecnología como unidad estadística y de relevamiento (Gutman y Lavarello, 2014; Bianchi *et al.*, 2015). El cuestionario se dividió en tres módulos centrales: trayectoria, capacidades y desempeño de proyectos en BT.

La trayectoria de la empresa está delimitada en el cuestionario por preguntas que permiten definir la posición histórica de participación en el mercado y modelo de negocio de las empresas. Los aspectos centrales recabados en esta sección son: principales productos de la empresa; productos en biotecnología, cuota de mercado de la empresa y de los competidores; proyectos en biotecnología; patrón de importación de productos biotecnológicos, y posicionamiento en la cadena de valor de su sector. El módulo de capacidad está definido por los siguientes grupos de temas: capacidades de absorción; capacidades de investigación y desarrollo; capacidades científicas; y capacidades empresariales. Por último, el módulo de rendimiento en el cuestionario se compone de dos grandes categorías. La primera refiere al impacto de la BT en el negocio de las empresas y la segunda trata del impacto en las actividades de propiedad intelectual (Chiapa, 2015; Stezano y Oliver, 2019).

fundamentos de debate de policía pública del sector de CTI desde evidencia sustentable que parta de esquemas de recolección de datos e información más rigurosos y sistemáticos y, asimismo, ii) una apelación a la comunidad de académicos y analistas de los procesos de I+D e innovación del sector BT para, de forma creativa y original, generar indicadores alternativos que puedan servir como *proxie* de las dinámicas innovativas y competitivas del sector.

Método

El análisis de trayectorias forma parte del análisis de regresión múltiple. En este proceso estadístico se define un conjunto de dependencias, de modo que se identifica el conjunto de variables que parecen tener efectos unas sobre otras. Para este trabajo, el ejercicio busca establecer la trayectoria de la cadena de valor de las empresas y, considerando ese objetivo, se intenta identificar la dependencia entre eslabones de la cadena de valor.

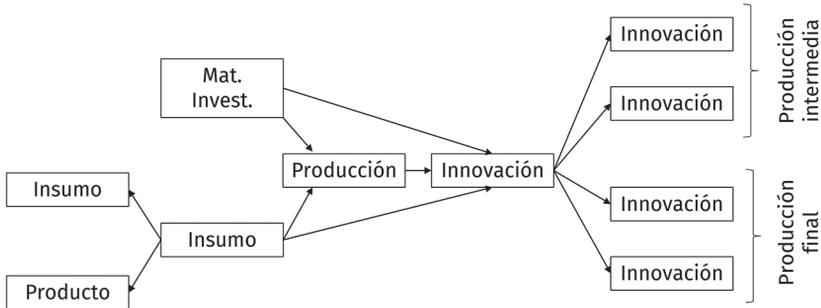
El análisis de dependencia puede establecerse a través de un diagrama de flujos (véase diagrama 1) que define la diversidad de dependencias que buscan estudiarse. En el caso del presente trabajo, este diagrama muestra las establecidas en función de una definición de cv operativa establecida en Bianchi, Stezano y Torres (2015:3):

[...] una cadena de valor (cv), en su forma más básica, es el proceso por el cual la tecnología se combina con insumos de materias primas y trabajo para su posterior procesamiento, comercialización y distribución. Un punto central abordado en la literatura sobre cv repasa en qué actividades y tecnologías permanecen en la empresa, cuáles se desplazan a otras y la relocalización de tales actividades.

Es relevante observar que el diagrama 1 no define un modelo de innovación, sino que modela el análisis estadístico de trayectorias, operacionalizado a partir de la definición previamente anotada de cadena de valor. No obstante, debe reconocerse que las empresas biotecnológicas realizan un conjunto de actividades desde la incorporación de insumos usados para la I+D, hasta que se coloca la producción de biotecnológicos en el mercado, por lo que dentro de la cadena de valor está incluida una serie de actividades que identificamos en función de su nivel de madurez tecnológica: investigación básica, desarrollo tecnológico (validación del producto de investigación en ambiente de laboratorio), la integración del sistema final completo evaluado a través de pruebas y demostraciones (que implica que las empresas

han probado prototipos) y la puesta del primer lote de la producción en el mercado.

DIAGRAMA 1
RELACIÓN DE TRAYECTORIAS DE LA CV BIOTECNOLÓGICA



Fuente: elaboración propia.

La definición precedente marca los principios analíticos de concepción de una CV que se asume en este trabajo. Estos supuestos conceptuales se reflejan en el diagrama previo, el cual ejemplifica cómo un insumo o unos materiales empleados para la realización de actividades de I+D puede asumir dos funciones: i) dirigirse directamente a la comercialización como producto o integrado en un servicio, sin mayor transformación o ii) destinarse a la producción o incorporado al proceso de innovación.

En consecuencia, es posible asumir que la innovación se integra en la producción intermedia como insumo (sea para el mercado local o global) o en la producción final como insumo (también para el mercado local o el global). También es posible la opción de que alguno de los eslabones de los biotecnológicos intermedios o finales se relacionen con su comercialización como producto o insumo (que haya una trayectoria que va de la producción intermedia y final (local y global) hacia el producto.

La pregunta central de investigación de este trabajo reside en el destino de la producción biotecnológica. Puesto que 75% de las empresas BT reveladas en la encuesta innovan, resulta central indagar en qué eslabones de la cadena se insertan las innovaciones.

La encuesta que constituye la base de información de este trabajo se compone de variables de observación que son cualitativas dicotómicas y permiten saber *i)* si una empresa innova o no y *ii)* si la producción de la empresa se destina a uno u otro eslabón de la cv.

Las respuestas dicotómicas a las preguntas del cuestionario obedecen a una distribución de Bernoulli. Por lo tanto, en este trabajo el análisis de trayectorias se inserta en el marco de los modelos generales de ecuaciones estructurales. Desde estos modelos se calcula, por método de máxima verosimilitud, la probabilidad de éxito de que ocurran trayectorias. Esto significa, para el caso de la investigación, la probabilidad de que: *i)* los insumos se incorporen a la producción, *ii)* se integren en el proceso de innovación y *iii)* que ésta se destine a uno u otro mercado como parte de un bien intermedio o final.

En la bibliografía especializada se identifican pros y contras en el uso de tales métodos. Como la ventaja principal del empleo de estos modelos se destaca su capacidad para poder identificar efectos directos e indirectos simultáneamente, a partir de un conjunto de variables dependientes e independientes. No obstante, los debates sobre el método califican como desventajoso el cálculo de efectos indirectos que puedan asumirse como una imputación causal. De igual modo se considera como un posible riesgo la definición de trayectorias diversas, sin la posibilidad de identificar cuál de ellas es la más correcta (Stage, Carter y Nora, 2010).

Este último aspecto tiene particular relevancia para este trabajo que supone una cierta secuencia lógica del proceso de producción de biotecnológicos, a partir del uso de los insumos y la incorporación de las innovaciones relacionadas con el proceso productivo. No obstante, para evitar este riesgo se asume en el trabajo este supuesto con fundamento en los datos de correlación de variables (véase el cuadro 2).

Resultados

El cuadro 1 muestra el porcentaje de empresas que innovan, producen lo que innovan y el destino de la producción en la cv. Una primera observación relevante es que el destino de la producción de las empresas se destina a más de un mercado, si bien es en una baja proporción (de ahí que, por ejemplo, la producción para mercados intermedios locales y globales suma más de 100%). Un segundo dato relevante es que las empresas producen para mercados globales, pero en menor proporción que para mercados nacionales.

El cuadro 2 muestra la correlación de Spearman para las variables seleccionadas en la tabla precedente. De particular interés para este trabajo nos resulta identificar: i) las trayectorias de la innovación para identificar si existe alguna relación entre ella y las etapas de la cadena de valor y ii) las trayectorias de los bienes y servicios que ofrecen las empresas con el fin de observar si se integran en algún o algunos eslabones de la cv.

CUADRO 1
INNOVACIÓN Y CADENA DE VALOR BIOTECNOLÓGICA
Porcentaje de empresas

Innovación	75.0
Producción	75.0
Cadena de valor	
Investigación	75.0
Mat prima	77.5
Insumo de proceso Intermedio local	65.0
Insumo de proceso intermedio global	42.5
Insumo de proceso final local	65.0
Insumo de proceso final global	40.0
Servicios	60.0
Producto	72.5

Fuente: Elaboración propia con base en levantamiento.

CUADRO 2
CORRELACIÓN DE SPEARMAN

	Innov.	Prod.	Inves.	Mat.	InLo	InGlo	FiLo	FiGlo	Serv.	Bien
Innov.	1									
Prod.	0.60	1								
Inves	0.20	0.07	1							
Mat	0.52	0.38	0.52	1						
InLo	0.30	0.18	0.30	0.48	1					
InGlo	0.38	0.15	0.26	0.22	0.31	1				
FiLo	0.42	0.42	0.18	0.61	0.45	0.31	1			
FiGlo	0.26	0.12	0.24	0.32	0.39	0.74	0.60	1		
Serv	0.35	0.35	0.00	0.29	0.47	0.29	0.47	0.35	1	
Bien	0.55	0.68	0.29	0.61	0.25	0.19	0.72	0.39	0.41	1

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados que se presentan a continuación, se constata que las relaciones más intensas de la innovación ocurren con la producción de biotecnológicos (*Prod.*) y con producto final (*Bien*) y con las materias primas para la elaboración de biotecnológicos. A su vez, la producción final presenta las relaciones más intensas con la producción y con su incorporación como insumo de procesos productivos finales locales y con las materias primas con que se producen los biotecnológicos.

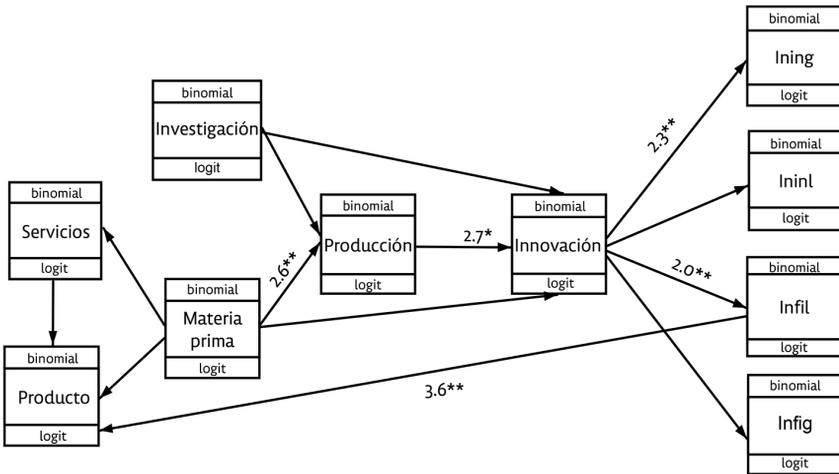
Estos resultados brindan evidencia y sustento empírico que marcan indicios iniciales del tipo de relaciones relevantes que pueden encontrarse en términos de los eslabones de la cv biotecnológica. De esta forma, puede delinearse de forma estilizada el siguiente perfil predominante en las trayectorias de las firmas analizadas: innovaciones biotecnológicas que se integran como parte de los insumos de productos biotecnológicos finales cuyo mercado es local (nacional).

Como se señaló previamente, como las respuestas obtenidas para las variables son de carácter dicotómico, el modelo general de ecuaciones estructurales es estimado desde regresiones logísticas. Los resultados más significativos de este trabajo son sintetizados en el diagrama 2. El diagrama, básicamente, muestra el valor de los estimadores significativos al 5%⁶ y el significativo al 1%.⁷

El diagrama muestra las siguientes trayectorias significativas:

- Materias primas → producción
- Producción → innovación
- Innovación → insumos para procesos intermedios globales
- Innovación → insumos para procesos finales locales
- Insumos para procesos finales locales → producto final

DIAGRAMA 2
REGRESIONES BINOMIALES



Fuente: elaboración propia

⁶ Marcados con dos asteriscos.

⁷ Marcado con un asterisco.

Reunidos los elementos anteriores, es posible sintetizar los dos hallazgos clave de esta investigación en las siguientes proposiciones empíricas y analíticas:

- i) para las empresas encuestadas, la producción de biotecnológicos predominantemente se incorpora a la cv como componentes de procesos intermedios globales y de procesos finales locales;
- ii) las innovaciones tienen una incidencia indirecta sobre el producto final, incorporándose como insumos para procesos productivos locales.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Este trabajo se ha orientado a conocer el tipo de inserción que adoptan las firmas mexicanas en biotecnología en las cv biotecnológicas. Esta meta se ha abordado desde una exploración basada en la técnica multivariada de análisis de trayectorias, para así establecer la trayectoria de los vínculos de las empresas en la cv.

En términos de los conjuntos de análisis existentes en México sobre el sector y subsectores biotecnológicos, la perspectiva de cadena de valor ha sido escasamente explorada,⁸ con la excepción del trabajo de Amaro y Sandoval (2019).⁹ En dicho sentido, los hallazgos de este trabajo buscan aportar evidencia exploratoria e inicial en debates sobre el tema en el campo de estudio en México.

Estos hallazgos centrales cobran mayor relevancia a la luz de la óptica analítica de cv. La perspectiva de cv, en cuanto asume un enfoque relacional, permite situar el análisis en torno a la temática de

⁸ Una caracterización exhaustiva del tipo de estudios biotecnológicos realizados en México se encuentra disponible en Amaro (2021).

⁹ En su trabajo, las autoras analizan la estructuración global de las cadenas globales de valor del sector biotecnológico y reflexionan sobre las posibles ventanas de oportunidad tecnológica que existen en el sector para los distintos tipos de empresas predominantes, atendiendo especialmente a las dinámicas y desempeños del sector en México.

la participación de las firmas en los procesos de generación de valor. Este es un aspecto clave a recuperar en el análisis desde los países en vías de desarrollo. Al aplicar un enfoque de cv al estudio de la BT, este estudio además aporta evidencia sobre la etapa de la cadena de valor biotecnológica en que tiende a insertarse México a través de sus empresas.

Los hallazgos de este trabajo describen un sendero de desarrollo e inserción productiva en la cv biotecnológica donde: i) la incorporación de las firmas mexicanas en mercados globales es baja e indirecta, ii) los procesos productivos y mercados locales son el espacio preferente de inserción de las formas nacionales y iii) las innovaciones tienen un papel indirecto sobre los productos finales alcanzados y limitados a los mercados locales.

Estos resultados son congruentes con resultados y análisis previos que discuten las posibles vías de escalamiento tecnológico en México (Stezano, 2019; Oliver y Stezano, 2021) y para los países en vías de desarrollo como Argentina (i.e. Gutman y Lavarello, 2013). Los países desarrollados se han centrado en actividades de I+D y, especialmente, en la transformación de los resultados de esas actividades (generalmente nuevas moléculas) en productos comercializables. Por su parte, los países en vías de desarrollo se insertan o bien como imitadores o como usuarios. No obstante, en los países de América Latina (principalmente Brasil, Argentina, Cuba y México) existen ciertas capacidades de I+D, tecnológicas y productivas, que pueden permitir hipotetizar sobre otro tipo de inserción en la cadena de valor. Por ello, el análisis de estos casos debe reparar, además de las especificidades nacionales, las características sectoriales que hacen a la relevancia o no de ciertas capacidades (Bianchi y otros, 2015).¹⁰

Las BT abren ventanas de oportunidad sólo transitorias para las empresas de los países en desarrollo. En las fases iniciales de difusión

¹⁰ Sobre la existencia de ciertos tipos de capacidades en las firmas mexicanas del sector biotecnológico, véase Stezano y Oliver (2019).

de los paradigmas, las capacidades productivas acumuladas por los grandes grupos empresariales de los países centrales en tecnologías de síntesis química dejan de ser barreras a la entrada. Las actividades de innovación en esta etapa pasan a ocupar un rol preponderante sobre la producción de nuevas moléculas y sólo los países que logran consolidar una base de conocimientos BT reducen sus brechas tecnológicas respecto a los países centrales. Si bien las mayores oportunidades tecnológicas reducen las barreras a la entrada, la mayor fluidez de la tecnología se traduce en una alta incertidumbre tecnológica y regulatoria. Dependiendo del sector de aplicación, las oportunidades de entrada dependen así del grado de complementariedad de las BT con las tecnologías previas. A menor complementariedad tecnológica, mayores las oportunidades de entrada de las empresas y viceversa (Lavarello, 2014).¹¹

Atendiendo a lo anterior, las empresas biotecnológicas de los países en vías de desarrollo enfrentan distintos contextos de competencia según el grado de consolidación de sus tecnologías y la fase de la trayectoria del paradigma tecnológico analizado. Así, son limitadas las oportunidades que pueden abrirse a las empresas mexicanas para insertarse en mercados globales de mediana y alta tecnología como los del sector BT (Stezano, 2019; Oliver y Stezano, 2019).¹²

¹¹ Las oportunidades tecnológicas solo existen mientras los paradigmas tecnológicos no se consoliden en un artefacto tecnológico, heurísticas de búsqueda compartidas por la industria y/o mecanismos de apropiación de resultados institucionalizados. Conforme se consolida el paradigma y se definen los derechos de propiedad intelectual y el marco regulatorio, se consolidan las ETN de los países líderes que han logrado acumular experiencia en las nuevas tecnologías, y se elevan las barreras (tecnológicas y regulatorias) a la entrada para las empresas de países en desarrollo (Gutman y Lavarello, 2014).

¹² Comparadas con las firmas líderes del mercado mundial, las empresas de los países en desarrollo tienen distintas posibilidades para diversificar sus bases cognitivas a través del desarrollo de conocimientos BT en sus departamentos de I+D y para acceder a fuentes externas de conocimiento. Excepto en períodos de despliegue tecnológico en que surgen etapas caracterizadas por bajas barreras a la entrada para los nuevos competidores (y por tanto más posibilidades de entrada de nuevos agentes), las empresas de los países en vías de desarrollo dependen de las estrategias competitivas de las firmas líderes del sector (Stezano, 2018).

La evolución de la industria BT en México, tras la liberalización comercial consagrada desde 1994 a partir del Tratado de Libre Comercio con Canadá y Estados Unidos (Tlcan), ha cerrado posibles caminos de desarrollo con base en capacidades previas acumuladas. La trayectoria reciente del sector BT mexicano ha estado marcada por fenómenos de desaprendizaje. El alto contenido tácito del conocimiento BT, la rigidez del mercado de trabajo para los profesionales especializados en ciencia e ingeniería y la desaparición de las empresas mexicanas ante la creciente apertura a la competencia internacional provocada por el Tlcan, supuso la pérdida de buena parte de las capacidades, habilidades y conocimientos acumulados para el país (Gonsen, 1998).

En este contexto, los hallazgos de este trabajo reivindican la importancia de establecer políticas industriales activas y que prioricen al sector BT como sector estratégico para el desarrollo económico. Esto implicaría que el Estado, a partir de instrumentos específicos de política industrial, apoye activamente a empresas especializadas en biotecnologías en formación, allí donde son menores las barreras de entrada a nuevas firmas. Una estrategia de escalamiento (*upgrading*) tecnológico sea secuencial o de salto de etapa (*leapfrogging*) siempre deberá articularse a partir de políticas industriales y de ciencia, tecnología e innovación, impulsadas por una visión y estrategia nacional de desarrollo coordinadas por el Estado (Lavarello, 2018). Los desarrollos históricos del sector muestran que la capacidad innovativa depende de la configuración precisa de las relaciones sociales entre los agentes involucrados y el modo en que estos vínculos son mediados por el Estado (Loepky, 2005).

CONCLUSIONES

Los elementos discutidos en este trabajo ponen de relieve la importancia de una política industrial y de CTI centrada en el sector BT desde los países en vías de desarrollo. Los nuevos escenarios de presión competitiva internacional requieren respuestas de la periferia basadas en políticas de desarrollo productivo, industrial y tecnológico. Los pro-

cesos de cambio estructural, entendido como el desplazamiento progresivo de las estructuras económicas y productivas desde sectores de baja a alta productividad, nunca son espontáneos. Se trata de transformaciones que dependen de las dinámicas y rutinas de las estructuras económicas en cuanto ciertas actividades presentan mayores rendimientos y oportunidades de aprendizaje que otras. La acumulación de capacidades técnicas e institucionales coevoluciona como parte de los procesos productivos de aprendizaje. El giro hacia estas actividades se favorece de un apoyo político deliberado, que afecta directamente a las capacidades tecnológicas, los incentivos y los contextos de selección en los que operan las empresas. Así, la política industrial es un componente del cambio estructural (Abeles y otros, 2017).

En este debate, es central el papel del Estado como promotor de procesos de cambio estructural y de políticas orientadas a la construcción, actualización y mejora de las capacidades de la empresa. Muy especialmente en sectores como el biotecnológico basados en actividades productivas intensivas en conocimiento. En entornos y tradiciones históricas como las de América Latina, las políticas horizontales de formación y apoyo técnico pueden ser insuficientes. La trayectoria histórica de los procesos de industrialización fuertemente influidos por el Estado en la región, han demostrado que el apoyo a industrias nacientes a menudo no ha logrado atraer a los empresarios nacionales a los sectores estratégicos. Y que, en estos casos, el Estado terminó actuando como empresario (Mazzucato, 2013; Evans y Rauch, 1999; Cimoli y otros, 2020).

BIBLIOGRAFÍA

- Abeles, Martín, Mario Cimoli y Pablo Lavarello (coords.) (2017). *Manufactura y cambio estructural. Aportes para pensar la política industrial en la Argentina*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Amaro, Marcela (2021). “Reflexiones interdisciplinarias para la investigación de la ciencia, la tecnología y la innovación de la biotecnología en México”. En *Perspectivas contemporáneas de la investigación en ciencias sociales*, coordinado por Miguel Armando López Leyva, 69-110. México: Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.
- Amaro, Marcela, y Seyka Sandoval (2019). “Industria biotecnológica, concentración y oportunidades para las empresas mexicanas en el panorama mundial de encadenamientos productivos”. En *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Morales y Marcela Amaro, 127-170. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Amaro, Marcela y Mario Morales (2010). “La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación”. *Ideas CONCYTEG*, 5 (64): 1224-1246.
- Ambos, Tina, Kristiina Mäkelä, Julian Birkinshaw y Pablo D’Este (2008). “When does university research get commercialized? Creating ambidexterity in research institutions”. *Journal of Management Studies*, 45 (8): 1424-1447.
- Anandajayasekeram, Ponnina y Berhanu Gebremedhin (2009). “Integrating innovation systems perspective and value chain analysis in agricultural research for development: Implications and challenges”. *Improving Productivity and Market Success (IPMS) of Ethiopian Farmers Project*. Working Paper 16.
- Bianchi, Carlos, Federico Stezano y Carlos Torres-Freire (2015). “Apuntes metodológicos para estudios sobre biotecnología en América Latina”. Buenos Aires: inédito.
- Bühler, Fritz, C. Mark Tang, Pratik Shah, Mark Leuchtenberger, Ko-Chung Lin y Pedro de Noronha Pissarra (2007). “The preeminence of clusters”. *Bioentrepreneur*, 25 (11): 1207-1209.
- Chiapa, Antonio. (2015). “Nota técnica a la Encuesta de firmas biotecnológicas en México”. Ciudad de México: Red Temática Conacyt Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad, inédito.
- Cimoli, Mario, Giovanni Dosi y Xiaodan Yu (2020). “Industrial Policies, Patterns of Learning and Development: An Evolutionary Perspective”. *LEM Papers Series 2020/08*. Laboratory of Economics and Management (LEM). Sant’Anna School of Advanced Studies.

- DiMasi, Joseph, Henry Grabowski y Ronald Hansen (2016). "Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs". *Journal of Health Economics*, 47: 20-33.
- Evans, Peter, y James Rauch (1999). "Bureaucracy and growth: A cross-national analysis of the effects of "weberian" state structures on economic growth". *American Sociological Review*, 64 (5): 748-765.
- Gereffi, Gary, John Humphrey y Timothy Sturgeon (2005). "The governance of global value chains". *Review of International Political Economy*, 12 (1): 78-104.
- Gonsen, Rubi (1998). *Technological Capabilities in Developing Countries: Industrial Biotechnology in Mexico*. Londres: Palgrave Macmillan.
- Gutman, Graciela, y Pablo Lavarello (2013). "Nuevos paradigmas, estrategias de los grupos biotecnológicos líderes a nivel internacional y oportunidades para empresas en Argentina". En *Desafíos internacionales y nacionales para el diseño de políticas en el sector de biotecnología*, coordinado por Federico Stezano: 1-9. México: Flacso-México
- Gutman, Graciela, y Pablo Lavarello (2014). *Biotecnología industrial en Argentina: estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*. Buenos Aires: Gran Aldea Editores.
- Hinterhuber, Andreas (2002). "Value chain orchestration in action and the case of the global agrochemical industry". *Long Range Planning*, 35 (6): 615-635.
- Hopkins, Michael, Paul Martin, Paul Nightingale, Alison Kraft y Surya Mahdi (2007). "The myth of the biotech revolution: An assessment of technological, clinical and organisational change". *Research Policy*, 36 (4): 566-589.
- Ireland, David, y Damian Hine (2007). "Harmonizing science and business agendas for growth in new biotechnology firms: Case comparisons from five countries". *Technovation*, 27 (11): 676-692
- Kapeleris, John, Damian Hine y Ross Barnard (2004). "Towards definition of the global biotechnology value chain using cases from Australian biotechnology SMEs". *International Journal of Globalisation and Small Business* 1 (1), 79-91.
- Khilji, Shaista, Tomasz Mroczkowski y Boaz Bernstein (2006). "From invention to innovation: Toward developing an integrated innovation model for biotech firms". *Journal of Product Innovation Management*, 23: 528-540.
- Konde, Viren (2009). "Biotechnology business models: An Indian perspective". *Journal of Commercial Biotechnology*, 15: 215-226.
- Lavarello, Pablo (2018). "Financierización, promesas (latentes) de la biotecnología y nuevas barreras a la entrada: Algunas lecciones para los países semi-industrializados". *Revista Estado y Políticas Públicas* 10 (6), 61-79.
- Lavarello, Pablo (2014). "Convergencia de paradigmas biotecnológicos y estrategias de los grupos líderes mundiales". *Problemas Del Desarrollo* 45 (1777): 9-35.

- Loeppky, Rodney (2005). "History, technology, and the capitalist state: The comparative political economy of biotechnology and genomics". *Review of International Political Economy* 12 (2): 264-286.
- Martínez-Piva, Jorge, Ramón Padilla y Claudia Schatan (2008). *Comercio internacional: de bienes a servicios. Los casos de Costa Rica y México*. Serie Estudios y Perspectivas, 97. México: Unidad de Comercio Internacional e Industria, CEPAL-México.
- Mazzucato, Mariana (2013). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Nueva York: Anthem Press.
- McKelvey, Maureen, Luigi Orsenigo y Fabio Pammolli, F. (2004). "Pharmaceuticals analyzed through the lens of a sectoral innovation system". En *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*, coordinado por Franco Malerba: 73-120. Cambridge: Cambridge University Press.
- McKelvey, Maureen (2004) *Health biotechnology: emerging business models and institutional drivers*. OECD International Futures Project on The Bio-economy to 2030. París: OCDE.
- Morales, Alberto, Marcela Amaro y Federico Stezano (2019). "Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos". *Economía: Teoría y Práctica* 27 (51): 17-44.
- Niosi, Jorge, y Maureen McKelvey (2018). "Relating business model innovations and innovation cascades: the case of biotechnology". *Journal of Evolutionary Economics* 28: 1081-1109.
- Nosella, Anna, Giorgio Petroni y Chiara Verbano (2005). "Characteristics of the Italian biotechnology industry and new business models: The initial results of an empirical study". *Technovation* 25 (81): 841-855.
- OCDE. (2009). *The Bioeconomy of 2030. Designing a Policy Agenda*. París: OCDE.
- OCDE. (2008). *oecd Science, Technology, and Industry Outlook: 2008. Industry, Services y Trade*. París: OCDE.
- Oliver, Rubén, y Federico Stezano (2021). *Actividades de innovación de empresas de biotecnología en México*. México: Porrúa, IPN y Conacyt.
- Oliver, Rubén y Federico Stezano (2019). "Capacidades y desempeños de innovación en empresas biotecnológicas de México". En *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Morales y Marcela Amaro: 271-320. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Patzelt, Holger, Dodo Zu Knyphausen-Aufseß y Petra Nikol (2008). "Top management teams, business models, and performance of biotechnology ventures: An upper echelon perspective". *British Journal of Management* 19 (3): 205-221.

- Reynolds, Elizabeth; Ezequiel Zylberberg y M. Victoria del Campo (2016). "Brazil's Role in the Biopharmaceutical Global Value Chain". Cambridge: MIT-IPC Working Paper 16-004.
- Stage, Frankes, Hasani Carter y Amaury Nora (2010). "Path Analysis: An Introduction and Analysis of a Decade of Research". *The Journal of Educational Research* 98: 5-13.
- Stezano, Federico, y Rubén Oliver Espinoza (2019). "Innovation capabilities and performance of biotechnology firms: Some insights from a national survey in Mexico". *Management Research* 17 (4): 445-473.
- Stezano, Federico (2019). "Industrial and Innovation Policies in the Mexican Biotechnology Sector". *Journal of Industry, Competition and Trade* 19 (1): 123-140.
- Trejo, Sergio (2010). *La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su factibilidad de desarrollo*. Tlaxcala: CIBA-IPN.
- Vanhala, Antero, y Karita Reijonsaari, K. (2013). *Direct-to-Consumer Genome data Services and their Business Models*. Finnish Innovation Fund SITRA: PricewaterhouseCoopers Oy.
- Wield, David, Joanna Chataway y Maurice Bolo (2010). "Issues in the political economy of agricultural biotechnology". *Journal of Agrarian Change* 10 (3): 342-366.

La agricultura de exportación en Sonora y su relación con la biotecnología: impactos productivos y socioeconómicos

Juan Luis Hernández Pérez

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la agricultura comercial recurre más que nunca a los avances de la ciencia, la tecnología e innovación para impulsar y articular gran parte de la producción y comercialización de alimentos en el mundo, y para la generación de soluciones a distintos problemas de la agricultura, tanto climatológicos como de plagas y enfermedades. En el caso de Sonora, la agricultura comercial ligada a la exportación, en el marco de la globalización y apertura comercial, depende también, en parte, de técnicas agroproductivas ligadas al actual modelo intensivo-biotecnológico para llevar a cabo “con éxito” sus distintas labores y, sobre todo, cumplir con el propósito de generar divisas para el país.

En este sentido, el objetivo principal del trabajo es conocer los rasgos principales de la modernización tecnológica, en particular la relacionada con los principios de la biotecnología, ocurrida en las actividades agrícolas comerciales del país y su impacto tanto a nivel productivo como socioeconómico, a partir del estudio de una región

agrícola icónica como es el estado de Sonora, lugar de origen de la pasada revolución verde.

Para ubicar en este contexto la presente investigación, se presenta primero un cuadro general de la agricultura de exportación de esta región del país, con sus características principales. El desarrollo metodológico de esta investigación consistió en la recolección tanto información cuantitativa como cualitativa. Ambos tipos de datos se retomaron de documentos e informes oficiales gubernamentales y de organizaciones empresariales, en su mayoría de informes de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGARHPA) del Gobierno Estatal de Sonora, mediante el portal electrónico de la Oficina de Información Agropecuaria, Pesquera y Acuícola de Sonora (Oiapes). Además, se utilizaron informes de organizaciones agrícolas empresariales regionales como la Asociación Agrícola Local de Productores de Uva de Mesa (AALPUM) y la Asociación de Organismos Agrícolas del Norte de Sonora (AOANS), cuya información fue de suma importancia al ser ésta en algunas ocasiones más precisa y actualizada que la gubernamental. En lo que respecta a la información cualitativa, se llevó a cabo una búsqueda y revisión detallada de información documental, hemerográfica, videográfica, bibliográfica y en línea, tales como: libros, tesis, periódicos, memorias, planes y programas de gobierno, páginas de Internet, blogs, redes sociales y revistas especializadas.

Paralelamente, durante el año 2018 se realizaron entrevistas semiestructuradas a actores sociales clave, tales como: productores agrícolas de la región, trabajadores agrícolas, ingenieros agrónomos, asesores técnicos, funcionarios públicos, investigadores, representantes técnico-comerciales de diversas empresas proveedoras de insumos y tecnología agrícola, directivos de asociaciones de productores y otros actores claves, con el fin de lograr un mayor acercamiento al conocimiento de los rasgos más importantes del desarrollo biotecnológico ocurrido en la región.

Para ello, el trabajo se divide en tres apartados y las conclusiones. En el primero se describe el desempeño actual de la agricultura sono-

rense y, en particular, el de la región agrícola de la Costa de Hermosillo, en donde se lleva a cabo una notable dinámica hortofrutícola. En el segundo apartado, se señalan de manera general los principios del modelo biotecnológico implementado en la agricultura sonorense en los últimos años. Y en el tercero y último, se precisan los impactos tanto en la productividad agrícola como los socioeconómicos, es decir, en las prácticas de trabajo entre los productores y trabajadores agrícolas, para lo cual se ha realizado trabajo de campo y documental. Las conclusiones muestran que el modelo biotecnológico implementado en la producción agrícola sonorense genera una mayor competitividad y productividad, hecho que les permite a algunos de los productores tener un “mayor éxito” comercial exportador; también revelan que su implementación es costosa y compleja por su predominante carácter transnacional y privado, lo que ha generado exclusión comercial de aquellos productores (la mayoría), que no pueden integrarla a sus actividades agrícolas.

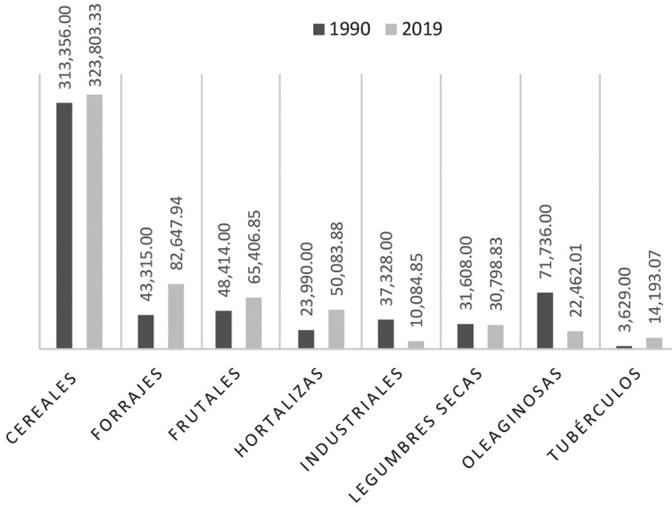
LA AGRICULTURA SONORENSE Y SU DESEMPEÑO ACTUAL

Por el valor de los alimentos generados anualmente, Sonora se ha convertido en la quinta entidad del país que más valor aporta al PIB nacional agropecuario (6.8% en 2019), sólo por debajo de estados como Jalisco, Veracruz, Michoacán y Sinaloa (INEGI, 2021). Lo anterior, se ha logrado gracias a la modernización de las actividades agrícolas y a la reconversión del patrón de cultivos; sin olvidar que, en los últimos años, la entidad obtuvo gran apoyo financiero público y privado (nacional y transnacional) para el fomento de la agricultura de exportación.

En la actualidad, la agricultura sonorense se destaca por un patrón de cultivos diversificado, integrado por los siguientes cultivos: trigo, garbanzo, papa, melón, sandía, calabaza, chile verde, maíz, pepino, uva de mesa, espárrago, alfalfa, nuez y naranja, entre otros. En 2019, la superficie agrícola sembrada total abarcó alrededor de 540 mil hectáreas, en las cuales es notable el predominio de los ce-

reales como el trigo, mismo que abarca más de 50% de la superficie sembrada en toda la entidad. Esta tendencia genera que Sonora haya producido más de 40% de la producción de trigo a nivel nacional en la última década, convirtiéndolo en el mayor estado productor de trigo de México. De igual manera destaca en su producción el aumento de los cultivos forrajeros relacionados con la producción ganadera. La anterior tendencia definitivamente rememora su pasada vocación como “granero del país” durante la revolución verde (1940-1970).

Gráfica 1
Cultivos de exportación en Sonora, 1990-2019



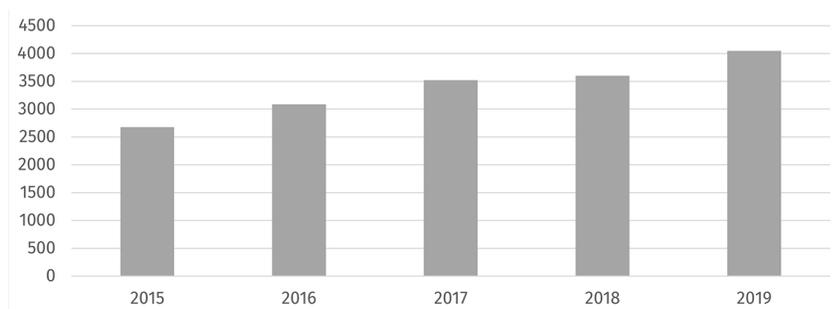
Fuente: elaboración propia con base en datos de SIAP (2020).

Debido al proceso de reconversión orientada hacia la exportación, se aprecia el aumento sustancial en la superficie sembrada de hortalizas y frutales, tales como: uva de mesa, espárrago, nuez, sandía, entre otros; a partir de esta tendencia, algunos autores describen estos síntomas como reflejo de una “nueva agricultura sonorenses” (Bracamonte y otros, 2007).

Un aspecto importante del actual patrón de cultivos es que genera una gran cantidad de jornales: en el 2018 la actividad agropecuaria de la entidad aportó 13% del empleo estatal (INEGI, 2018). Es importante señalar que en Sonora existen un poco más de 87 mil productores y que se generan anualmente 17 millones de jornales. De hecho, cada año se emplean 5 mil trabajadores agrícolas de planta y a un aproximado de 50 mil más (jornaleros) que laboran como eventuales o estacionales del campo, cifra que varía cada año.

Por otra parte, en los últimos años, además de seguir siendo una fábrica de alimentos básicos para la nación, el campo sonorense ha desarrollado una importante vocación exportadora al registrar un incremento superior a 50% en las ventas al mercado foráneo en los últimos años.

GRÁFICA 2
SONORA: EXPORTACIONES AGROPECUARIAS, 2015-2019



Fuente: elaboración propia con base en SAGARHPA, 2020.

Con una exportación de 4 048 millones de dólares en 2019, que representa 32% a nivel estatal y 2% a nivel nacional, la entidad se coloca como líder agroexportador de la región Noroeste y del país. Los principales productos agropecuarios exportados son: a) *agrícolas*: uvas de mesa, sandía, espárragos, calabacita, melón, nogal, cítricos, garbanzos, trigo cristalino, tomate y chiles frescos; b) *pecuarios*: cabezas

de ganado y carne de cerdo; c) *pescas y acuicultura*: camarón, sardina, agua mala, caracol y jaiba. Del total de sus exportaciones, 73% fueron a Estados Unidos y Canadá y el resto a países como China, Japón, Brasil, Chile, entre otros (SAGARHPA, 2020).

Con estos atributos, el sector agropecuario sonorense en general, y el subsector agrícola en particular sobresalen en el plano nacional, y dan cuenta los siguientes indicadores:

1. Primer lugar nacional en producción de hortalizas (calabacita, sandía, papa y calabaza), trigo, cártamo, vid de mesa, dátil y espárrago.
2. Primer lugar nacional en volumen de pesca y acuicultura (sardina, sierra, berrugata, anchoveta y medusa bola de cañón).
3. Segundo lugar nacional en la producción de cerdo (en canal), exportación de bovino (en pie y en corte), camarón y nogal pecanero.
4. Quinto lugar en la producción agropecuaria nacional.
5. Sonora tiene un estatus fitozoosanitario privilegiado, ya que esta casi libre de todas las enfermedades y plagas que afectan al sector.

En el nivel subregional, el estado de Sonora presenta un comportamiento económico heterogéneo. De los doce Distritos de Desarrollo Rural (DDR) en que está dividido el territorio (véase el mapa 1), sólo cinco distritos generan 88% de la riqueza (véase el cuadro 1).

Los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) 148 (Cajeme) y 149 (Navjoa), localizados en el sur del estado, representan en la actualidad alrededor de 65% de la superficie sembrada en Sonora. En ambas zonas predomina el cultivo de granos básicos como, por ejemplo, trigo, cártamo, frijol y maíz. Paralelamente, se cultivan hortalizas, las cuales registraron una superficie sembrada de casi 19 mil hectáreas en 2020. Sin embargo, en la última década se observa una disminución paulatina de la superficie sembrada en ambos distritos de alrededor de 20%, ocasionada, entre otros aspectos, por la escasez de agua en las presas que abastecen dicha zona.

MAPA 1
SONORA: DISTRITOS DE DESARROLLO RURAL



Fuente: tomado de Sagarhpa (2021)

Según el cuadro 1 el distrito de Hermosillo, el cual representa el 12.5% de la superficie sembrada estatal, generó 26% del valor de la producción agrícola durante 2020, cifra que lo ubica como la principal región económica del estado. A su vez, las regiones del sur como el valle del Yaqui (Cajeme) y del Mayo (Navojoa), generan 25% y 8% del valor de la producción estatal, respectivamente. Por último, destacan también las regiones de Caborca y Guaymas, ya que estas generan 19% y 9% del valor de la producción estatal, respectivamente.

CUADRO 1
SONORA: INFORMACIÓN AGRÍCOLA POR DISTRITO, 2020

Districtos	Superficie sembrada (Has)	Superficie cosechada (Has)	Producción obtenida (Ton)	Valor de la producción (Miles \$)	Valor de la producción (%)
DDR 139 CATORCE	34 040	33 653	515 765	9 280 069	19.2
DDR 140 MAGDALENA	8 293	8 163	154 550	569 491	1.2
DDR 141 AGUA PRIETA	7 891	7 792	138 164	238 841	0.5
DDR 142 URES	11 392	10 334	270 764	532 087	1.1
DDR 143 MOCTEZUMA	5 914	4 695	64 672	140 021	0.3
DDR 144 HERMOSILLO	67 117	63 824	1 254 099	12 611 881	26.1
DDR 145 MAZATAN	4 523	3 662	42 858	57 682	0.1
DDR 146 SAHUARIPA	3 530	2 876	56 915	97 699	0.2
DDR 147 GUAYMAS	18 836	18 123	714 514	4 557 093	9.4
DDR 148 CAJEME	247 549	244 593	2 373 270	12 316 679	25.4
DDR 149 NAVOJOA	102 751	97 136	696 980	4 128 370	8.5
DDR 193 SAN LUIS RIO COLORADO	27 082	26 888	315 048	3 865 721	8.0
TOTAL	538 915	521 736	6 597 600	48 395 634	100

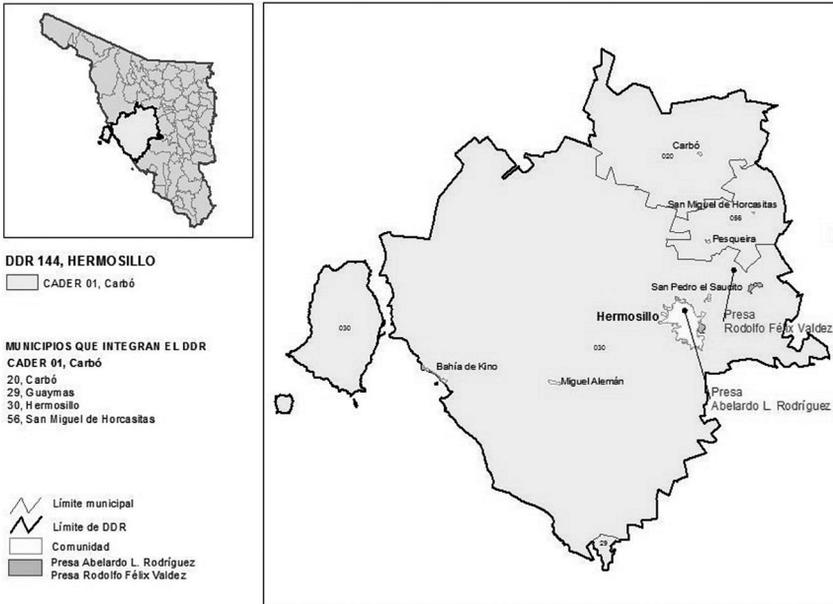
Fuente: elaboración propia con base en datos del SNIDRUS-Sagarhpa (2021).

Con el propósito de profundizar en las transformaciones que han venido ocurriendo en la agricultura del estado de Sonora en los últimos años, a continuación se señalan las características particulares de la región agrícola conocida como la Costa de Hermosillo, por ser ésta, como ya se señaló, la más relevante en términos económicos.

Costa de Hermosillo: un vergel agrícola y económico

La región agrícola de la Costa de Hermosillo forma parte tanto del Distrito de Desarrollo Rural 144 (formado por tres municipios: Hermosillo, Carbó y San Miguel Horcasitas) como del Distrito de Riego 051. Con relación a los recursos hidrológicos, la zona se abastece principalmente de un manto acuífero subterráneo, el cual se encuentra en la actualidad sobreexplotado.

MAPA 2
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE HERMOSILLO, SONORA



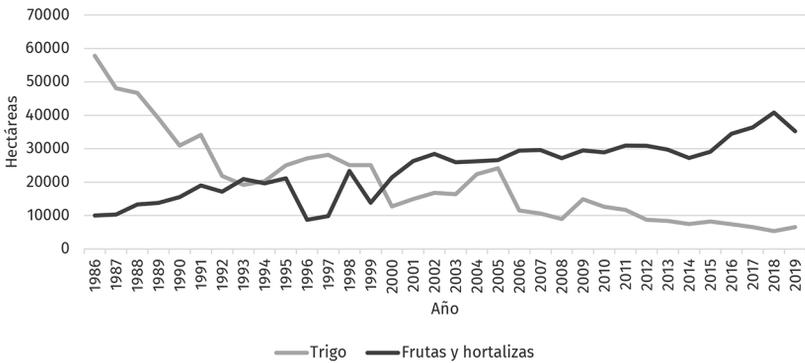
Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2019).

Hoy en día, la producción agrícola de la zona se encuentra dividida entre dos tipos de productores: a) los del sector privado (empresarios agrícolas) junto con los pequeños propietarios (colonos) y b) los del sector social (ejidatarios). Esta gama de agricultores se dedica a sembrar, con base en sus distintas capacidades productivas, los siguientes cultivos: garbanzo, uva de mesa, nuez, cítricos, hortalizas y forrajes; de igual manera, siembran cultivos dirigidos a la agroindustria como trigo, uva industrial y algodón, y aunque cada vez menos, maíz y naranja.

En la actualidad, como se muestra en la gráfica siguiente, en la región se ha presentado un cambio importante en el perfil productivo, en el cual destaca el crecimiento de la superficie sembrada de frutas y hortalizas a costa de la disminución del cultivo del trigo, gramínea icónica durante el pasado periodo de la revolución verde. Así, durante 2020 se sembraron casi 6 mil hectáreas de trigo, mientras que de hor-

talizas fueron aproximadamente 13 mil hectáreas; también se sembraron 10 mil hectáreas de nogal y 13 mil hectáreas de uva de mesa (Sagarhpa, 2021).

GRÁFICA 3
COSTA DE HERMOSILLO: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE SEMBRADA (HECTÁREAS)
DE TRIGO Y CULTIVOS HORTOFRUTÍCOLAS, 1986-2019



Fuente: elaboración propia con base en datos de Siacon (2020)

Con base en este nuevo perfil agrícola, la región de la Costa de Hermosillo se destaca en el contexto estatal, como un vergel agrícola y económico, por los siguientes aspectos:

- Primer lugar en valor de la producción de: uva de mesa, nogal, sandía, pepino, calabaza y naranja.
- Genera 26% del valor de la producción agrícola total estatal.
- Contribuye con más de 50% de las exportaciones agrícolas del estado.
- Aporta más de 30% de los empleos (jornales) generados en la entidad.

Este destacado comportamiento productivo comprueba el papel primordial que tiene la región en el estado de Sonora. Ahora bien, este desempeño se ha logrado obtener, en parte, gracias a la moderniza-

ción e incorporación de un sofisticado paquete tecnológico basado en la biotecnología y otras tecnologías, como a continuación se describe.

LA BIOTECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA SONORENSE¹

A la luz de los argumentos e hipótesis discutidos en el capítulo 1 de este libro, denominado “Biotecnología: dinámicas, tendencias y condiciones socioeconómicas contemporáneas”, en relación con el cuestionamiento sobre si es la biotecnología (moderna) la vía principal para enfrentar los problemas y desafíos de la agricultura en la actualidad, a continuación se exponen, tomando en cuenta el caso de la agricultura sonorense, algunos impactos productivos y socioeconómicos que subyacen a esta tecnología, lo cual permitirá contribuir, en parte, al debate sobre sus alcances y limitaciones.

RASGOS Y APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA

La profundización de la globalización en la agricultura sonorense en la década de 1990, en particular de la región de la Costa de Hermosillo, obligó, desde su inicio, a realizar modificaciones en las prácticas agro-tecnológicas convencionales, provenientes del modelo tecnológico de la revolución verde (1940-1970), para dar cauce al desarrollo de un nuevo modelo relacionado con la biotecnología moderna.

El nuevo modelo fue impulsado por el gobierno, empresas transnacionales y una élite de agricultores, con el propósito principal de que la biotecnología resolviera las problemáticas inmediatas de estos actores, es decir: generar una mayor productividad y rentabilidad (peso invertido/peso obtenido). También se emprendió para realizar un uso “eficiente” de los factores productivos (mano de obra, tierra y agua) y así enfrentar de mejor manera los efectos negativos del clima, plagas

¹ Este apartado es producto de una síntesis que deriva de otras investigaciones: Hernández (2019a y 2019b) y Martínez y Hernández (2021).

y enfermedades. Lo anterior con el objetivo de integrarse y participar en el complejo mercado externo, principalmente el estadounidense.

En el caso de la agricultura sonorenses, la biotecnología moderna se ha convertido en la continuación del anterior paradigma tecnológico de la revolución verde (en el cual el estado de Sonora jugó un papel fundamental al ser centro de origen de este proyecto)² que consistió en el uso de técnicas de fitomejoramiento e insumos convencionales para la producción de nuevas y mejores variedades de plantas. Sin embargo, el mejoramiento por medio de la biotecnología actual es radicalmente distinto al realizado por las técnicas tradicionales ya que sus rasgos principales trascienden las barreras impuestas por las incompatibilidades fisiológicas naturales entre las plantas y otras especies que no pudo superar el fitomejoramiento tradicional.

En Sonora, la aplicación de las novedades biotecnológicas se ha concentrado en los cultivos de mayor trascendencia económica en la región. Por ejemplo, el “éxito” de la producción y exportación de uva de mesa de la Costa de Hermosillo estriba en la ventaja competitiva de su ventana de mercado más temprana que la de California, en Estados Unidos; esto es posible gracias a las condiciones agroclimáticas más favorables y al uso de biotecnología que ayuda a forzar a las vides a obtener cosechas más precoces, inocuas y sostenibles.

En particular, el desarrollo biotecnológico relacionado con la uva de mesa tiene que ver principalmente con el uso de variedades genéticamente mejoradas,³ todas de origen estadounidense, que se han adquirido (mediante la compra de patentes) por ser las idóneas para ser cosechadas en los meses de mayo a junio, debido a que la venta-

² Se considera que la revolución verde comienza con el ingeniero agrónomo estadounidense Norman Borlaug, quien se dedicó a realizar cruces selectivos de variedades de trigo, maíz y arroz, en la región sur de estado, particularmente en el valle del Yaqui y del Mayo. Dicha revolución consistió en un cambio de paradigma importante, en el que los productos sintéticos, las técnicas agrícolas y la selección de variedades sustituyeron a las formas tradicionales.

³ Las principales variedades de uva de mesa empleadas en la región son: Flame Seedless, Perlette, Superior y Red Globe, entre otras.

na de comercialización en la cual se alcanza un mayor valor de venta en los mercados internacionales es en dichos meses. También han sido seleccionadas porque permiten obtener racimos de medianos a grandes, de color rojo o verde, cilíndricos, con bayas sin semilla, compactos y de un peso apto para exportación. Además, estas variedades son acompañadas con el uso de portainjertos,⁴ aplicación de promotores químicos de brotación y coloración, y pruebas de fructibilidad, entre otros aspectos.⁵

La calidad de las uvas comercializadas es preponderante pues de ello depende su comercialización. Sin embargo, el cultivo de vid de mesa es amenazado por varias plagas, enfermedades y malezas,⁶ y el daño provocado disminuye la calidad de la fruta, reduce la producción y los ingresos generados por ventas, ya que es rechazado en los mercados de exportación. El uso de la biotecnología (insecticidas, fungicidas y herbicidas químicos) por parte de los productores hace posible reducir los daños al mínimo. En los últimos años, el control o combate de malezas (como la correhuela y el zacate Johnson), se ha realizado mediante la aplicación de diversos herbicidas químicos, entre ellos, el glifosato (INIFAP, 2021).

Además, el nuevo modelo biotecnológico ha venido acompañado de una forma de agricultura de carácter: *intensiva, protegida y espe-*

⁴ El uso y desarrollo de portainjertos tanto *in vivo* como *in vitro* (clonales o híbridos) ha sido también otro de los cambios más importantes en las prácticas de producción agrícola relacionados con la uva. Los portainjertos, originarios de California en Estados Unidos, se emplean principalmente para regular el vigor de la planta y su resistencia a algunas plagas y/o enfermedades; además, son considerados ahorradores de insumos como agua y fertilizantes. Incluso, pueden mejorar la calidad de la uva. Las principales variedades de portainjertos empleados en la región son: "Saltcreek", "Freedom" y "Harmony" (Márquez, 2007).

⁵ El análisis de fructibilidad de yemas permite predecir el número de racimos que emergerán. Al conocer los resultados se puede modificar la práctica de poda con el fin de evitar una baja productividad.

⁶ Las principales enfermedades son: Cenicilla polvorienta (*Uncinula necator*), Pudrición negra (*Phyllostictia lambruscae*), Mildiu vellosa (*Plasmopara viticola*) y la Pudrición texana (*Phymatotrichum omnivorum*). Las plagas que atacan el cultivo de la vid son: Chicharrita de la vid (*Erythroneura variabilis*), Gusano presidiario (Harrisinae brillans), Trips (*Frankliniella spp* y otras especies) y el Piojo Harinoso (*Planococcus ficus*).

cializada. Además, el uso de biotecnología (tradicional y moderna) se complementa de la informática e Internet, junto con una forma de organización empresarial con gestión de los recursos productivos de manera privada.

En cuanto a la agricultura intensiva, si bien aún sigue presente la agricultura extensiva en la región, la novedad radica en que ésta se combina con el método de uso intensivo de la tierra ya que, se cultiva dos veces al año: en primavera-verano y en otoño-invierno, y además emplea fertilizantes y pesticidas químicos, así como maquinaria y sistemas de riego que necesita de menos tierra para producir una mayor cantidad de alimentos o materia prima que el obtenido en la agricultura extensiva.

Continuando con el ejemplo de la uva de mesa, la práctica intensiva se ha reflejado en el aumento de la densidad de siembra, cuyo principal impacto es el incremento de la producción. Por ejemplo, en la actualidad existe una densidad de 2 500 plantas por hectárea, cuando en décadas anteriores era de 1 750 plantas por hectárea. Con esta mayor densidad, se ha logrado un mayor volumen de cosecha logrando obtener en una caja 8.2 kilogramos por planta, o sea 2 500 cajas por hectárea.

En cuanto a la implementación de sistemas de riego por goteo en la región, del total de la superficie tecnificada con riego en el estado de Sonora que abarca 105 mil hectáreas, una tercera parte, es decir, 34 mil hectáreas, corresponden a la Costa de Hermosillo. De igual manera, en cuanto a la mecanización del campo sonoreño, la maquinaria e implementos agrícolas registrados en existencia alcanzan casi los 70 mil elementos, entre estos, destacan: arados, cultivadoras, fertilizadoras, rastras, sembradoras, sistemas de navegación (GPS), tractores y trilladoras (Oiapes, 2021).

Por otra parte, la agricultura protegida está integrada por todos los sistemas de producción que utilizan estructuras y técnicas para abrigar plantas, con la finalidad de protegerlos de los fenómenos ambientales adversos a su desarrollo, recreando las condiciones idóneas para un mejor desarrollo y producción de cultivos, mediante técnicas

que van desde el uso de bolsas para proteger racimos hasta grandes estructuras altamente tecnificadas, donde se implementa un control automatizado y completo de todos los factores ambientales (Bastida, 2017). En el caso sonorenses, se ha extendido cada vez más el uso de invernaderos, túneles, casas sombra y otras técnicas como los acolchados y los enmallados y la hidroponía. Así, de las 3 mil hectáreas de agricultura protegida (invernadero y malla-sombra) que existen en el estado de Sonora, alrededor de 22% se encuentra en la Costa de Hermosillo (Oiapes, 2021).

Un ejemplo de lo anterior es el caso de las transformaciones en la infraestructura de conducción y crecimiento de la planta de la uva de mesa; dichos sistemas de conducción mejoran el aprovechamiento del espacio, dan mayor exposición de la planta al sol, promoviendo mayor fructificación, repercutiendo directamente en la calidad del producto y en la sanidad del cultivo. Los sistemas de conducción presentes en la región son variados, y entre los más utilizados se encuentran: la colocación de tutores o postes de madera, concreto o metal para el apoyo y crecimiento de la planta, la instalación de alambrado galvanizado para el sostenimiento de la planta y, recientemente, se ha innovado con la introducción del sistema conocido como pérgola inclinada. Es un sistema de amplia expansión vegetativa con una mayor exposición a la luz solar que aumenta el potencial productivo. En Hermosillo esta es la infraestructura de conducción que da más resultados, aunque el costo es elevado ya que varía de 10 a 11 mil dólares por hectárea.

Por otra parte, al hablar de biotecnología en la agricultura sonorenses, en particular de la Costa de Hermosillo, hay que destacar que, ésta ha surgido de la interacción entre diferentes actores locales y transnacionales, entre éstos, los principales son: empresas privadas transnacionales y subsidiarias nacionales, agroindustria, brokers o intermediarios comerciales, productores agrícolas, instituciones y organizaciones privadas y públicas, y asesores privados.

En términos de los roles entre dichos actores, Hernández (2019a) señala que existe un sistema de innovación agrícola regional, el cual

se caracteriza por su carácter subordinado, desestructurado pero competitivo. Subordinado, porque la mayoría de los procesos de innovación tecnológica son realizados y proceden de empresas privadas extranjeras, las cuales transfieren la tecnología de manera jerárquica. Desestructurado, porque las interrelaciones o vínculos de algunos actores del sistema son aún débiles, principalmente entre los productores agrícolas, el gobierno y las universidades o centros de investigación nacional. Pero competitivo porque, en el marco de la globalización, esta región es considerada como un referente de competitividad agrícola.

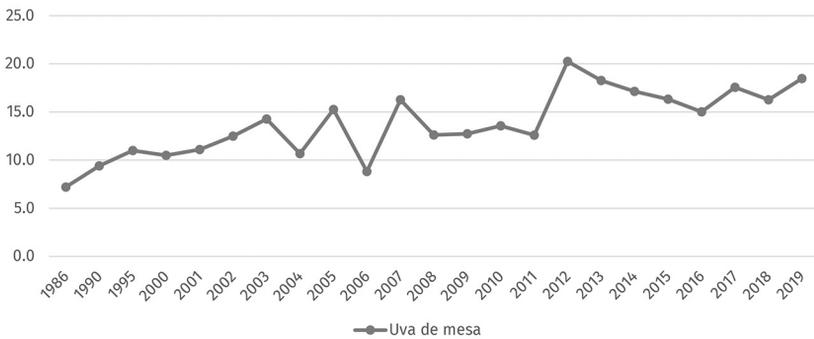
Hasta aquí, se han planteado de manera general las características del desarrollo biotecnológico en la agricultura sonoreense, no obstante, es pertinente señalar también los impactos que este esquema tecnológico ha provocado, como a continuación se explica.

IMPACTOS PRODUCTIVOS Y SOCIOECONÓMICOS DE LA BIOTECNOLOGÍA

El desarrollo biotecnológico que ha venido ocurriendo en la agricultura de la Costa de Hermosillo se ha manifestado en una fuerte dinámica agrícola que se refleja en el aumento de la producción, los rendimientos y una mejor calidad e inocuidad de los productos, que ha servido para la integración de algunos productores agrícolas en las cadenas globales de valor agrícolas.

En particular, la uva de mesa, por su alta productividad, se ha convertido en uno de los cultivos hortofrutícolas más relevantes en la región. Este cultivo, entre 1986 y 2019, registró un incremento en su producción que pasó de 18 733 toneladas a 177 337 toneladas anuales, respectivamente, logrando aumentar el volumen de producción, al pasar de 4.1 millones de cajas cosechadas en 1995 a 22 millones en la actualidad. De igual forma, sus rendimientos aumentaron casi al triple, al pasar de 7.2 toneladas por hectárea en 1986, a 20.3 en 2012 y 18.4 en 2019 (Siacon, 2021).

GRÁFICA 4
COSTA DE HERMOSILLO: RENDIMIENTOS (TON/HA) DE UVA DE MESA, 1986-2019



Fuente: elaboración propia con base en datos de Siacon-SADER (2021).

Este fenómeno de crecimiento de los rendimientos de la uva de mesa (no observado en la región en ningún otro cultivo desde el aumento de los rendimientos en el trigo en el periodo de la revolución verde 1940-1970), deja entrever los síntomas de una nueva “Revolución biotecnológica” en la región, hecho que es poco reconocido en la actualidad, como se aprecia en el siguiente testimonio: “En términos de rendimiento, se podría estar hablando de una nueva revolución verde en la uva de mesa. De hecho, se dio, y poco se supo. Por ejemplo, hace 20 años Sonora exportaba 4 millones de cajas de uva, y el año pasado exportamos 20 millones de cajas”. (entrevista al director general de la Asociación de Organismos de Agricultores del Norte del Estado de Sonora, AOANS, Hermosillo, Son.).

El incremento de la productividad en este cultivo también se ha reflejado en el hecho de que se ha logrado aumentar el volumen de producción, al pasar de 4.1 millones de cajas cosechadas en 1995 a 20 millones de cajas en la actualidad, lo cual ha permitido conservar la competitividad de los productores, como se confirma en el siguiente testimonio:

Hace 20 años, el productor que producía 1 500 cajas de uva por hectárea era un campeón. Ahorita, el productor que produzca 1 500 cajas de uva por hectárea que se retire del negocio. Entonces que hizo pasar de 1 500 cajas a 3 000 o 4 000 cajas por hectárea como lo hacen ahorita, pues con la tecnología. Y, además, ahorita tienes que producir 3 000 o 4 000 cajas de uva, pero de mejor calidad y sanas (entrevista al director general de la Asociación de Organismos de Agricultores del Norte del Estado de Sonora, AOANS, Hermosillo, Son.).

Es importante reiterar que los rendimientos alcanzados en la producción de uva de mesa en la Costa de Hermosillo, de más de 20 toneladas por hectárea, equiparables a los alcanzados en el estado de California en Estados Unidos, principal región productora de uva de mesa y de las más avanzadas tecnológicamente del mundo, se deben a la incorporación de la biotecnología que permite sortear los límites y obstáculos climatológicos, además de aumentar la producción.

Otro aspecto importante ha sido que la relación cosecha-siembra, por ejemplo, en la uva de mesa, ha mejorado notablemente en los últimos 30 años (como en el resto de los cultivos hortofrutícolas). En 1986 se cosechaba solamente 68% de la superficie establecida con uva de mesa, mientras que para 2019 se cosechaba 98% de la superficie cultivada con uva, clara evidencia de la alta eficiencia técnico-productiva.

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS: SEGMENTACIÓN Y EXCLUSIÓN DE LOS PRODUCTORES AGRÍCOLAS

A pesar del incremento en la productividad de la producción, lo cual se traduce en el aumento de las utilidades de los productores, el empleo de los sofisticados paquetes tecnológicos relacionados con la biotecnología en la producción ha implicado que los productores realicen inversiones económicas muy elevadas. Los propios productores señalan que adquirir dicho paquete biotecnológico y otros insumos en muchas ocasiones es costoso, lo cual se convierte en un obstáculo, en espe-

cial para los productores pequeños y ejidatarios o del sector social, como se muestra en los siguientes testimonios:

En la actualidad, no hay ningún ejido en la Costa de Hermosillo sembrando uva. Esto es porque el establecimiento de la uva es muy costoso, y el cuidado de la uva en su desarrollo también es muy costoso. Aparte no se cuenta con agua para su riego. Ahí son totalmente opuestos el sector social y el sector privado en La Costa. Los principales cultivos que tienen mejor pago y ganancia, como la uva, los garbanzos, las hortalizas, etc. y mejor comercialización, ningún ejido están sembrando eso. Además, el combustible es muy caro y eso te impide realizar la actividad (entrevista al presidente ejidatario del Ejido San Miguel, Hermosillo, Son.).

Y otro productor agrega: “Existe una nueva tecnología llamada rastreo de ADN de suelos (vía satelital), es una tecnología carísima que ni el agricultor más grande la tiene. Y en otros países se usa desde hace 20 años” (entrevista a productor agrícola, Hermosillo, Son.).

De esta manera, podemos afirmar que el costo de la nueva biotecnología es elevado, especialmente para los pequeños productores, lo cual los orilla a la exclusión de su actividad agrícola, y para otros productores no representa un beneficio mayor en términos de ganancias debido a los incrementos en los costos de producción, costo que muchas veces impide el acceso de los productores a la tecnología de vanguardia.

Por último, es necesario señalar que el empleo de la biotecnología en la agricultura de la región implica la compra de semillas mejoradas y/o nuevas variedades, maquinaria y otros insumos, que proceden principalmente del extranjero, y que en su mayoría son tecnologías con derechos de propiedad. Para todos los productores, esto significa un verdadero reto económico al tener que pagar regalías por los derechos de su uso, con la correspondiente transferencia de recursos económicos de la región hacia las empresas transnacionales, como se muestra en el siguiente testimonio:

Por ejemplo, un productor diría ¿cómo vas a pagar regalías por una uva si esa uva se parece a la otra, ? ¿cómo vas a saber? Pero ahorita esta tan regulada la actividad agrícola que una uva que detecten que está en el mercado y sea una uva patentada que no se pagó, y no la reportan los productores, le hacen una prueba de ADN, y ahí se te acabo el negocio, esta penadísimo y los productores lo saben (entrevista al director general de la Asociación de Organismos de Agricultores del Norte del Estado de Sonora, AOANS, Hermosillo, Son.).

Con base en lo anterior, es posible señalar que, si bien con la biotecnología se han obtenido incrementos en los rendimientos de la mayoría de los cultivos, que son reflejo de una nueva revolución verde, estos resultados excepcionales son muestra de las innovaciones que han sido adoptadas principalmente siguiendo los requerimientos del mercado externo, por lo que se puede sostener que, el “éxito” de la competitividad de los productores se logra principalmente por su subordinación tecnológica, es decir, porque la mayoría de los procesos de innovación biotecnológica son realizados y proceden de empresas privadas extranjeras, las cuales transfieren la tecnología de manera jerárquica.

Por otra parte, el desarrollo biotecnológico ha provocado también diferentes repercusiones sociales que afectan a los productores y trabajadores agrícolas, tanto en sus roles como en sus prácticas, como se señala a continuación. A partir del trabajo de campo realizado, se observó que está surgiendo una creciente segmentación entre los productores, entendida como un proceso de diferenciación de los distintos grupos y actores sociales, en el que unos son “ganadores”, y otros son “perdedores”, según su posibilidad y su habilidad para adaptarse al nuevo sistema productivo de carácter intensivo-biotecnológico necesario para satisfacer las nuevas demandas del mercado y la competitividad. Esta segmentación incluye la concentración, la marginación y la exclusión de la mayoría de los productores agrícolas. Así, se observa cómo la tesis sobre que el sistema agroalimentario corporativo mundial en conjunción con la biotecnología refuerza el proceso

de diferenciación y desigualdad entre los productores, se ha ido materializando en el caso sonorensé.

Como se ha señalado anteriormente, en la región de la Costa de Hermosillo la producción agrícola se encuentra dividida entre, por un lado, los pequeños productores privados conocidos como colonos y los productores del sector social llamados ejidatarios, quienes son reconocidos como productores pobres. Y por el otro, se encuentran los grandes y medianos productores, también conocidos como empresarios agrícolas, que son vistos como los ricos.

En general, todos estos productores, tanto los del sector privado como los del sector social, se diferencian por la escala productiva que tienen, es decir: por la extensión de tierra y agua que poseen; los cultivos que siembran; la tecnología que emplean; la infraestructura en sus explotaciones; la forma en que se organizan y llevan a cabo su proceso productivo; el grado de vinculación que tienen con los mercados internos y de exportación, así como por sus diferentes esquemas de pensamiento (cultura empresarial) que influye en su actividad agrícola.

Los grandes y medianos productores (es decir, los empresarios agrícolas) del sector privado, cuentan con explotaciones agrícolas que abarcan entre 200 a mil hectáreas, y pueden estar repartidas en varios campos. También, estos productores, quienes orientan su producción hacia cultivos para la exportación, hacen uso del paquete biotecnológico, y cuentan con una estructura productiva amplia y un fuerte capital, elementos que les permiten liderar la actividad agrícola. Además, han desarrollado una mentalidad empresarial, es decir, una manera de pensar basada en la racionalidad económica, donde lo que importa es obtener ganancias mediante el uso eficaz de los medios de producción. Esta mentalidad entraña criterios donde la tecnología es vista como sinónimo de progreso y éxito, e incrementa la posibilidad de hacerse más ricos, razón por la cual los productores consideran de vital importancia estar en la vanguardia tecnológica.

Por otro lado, los pequeños productores y ejidatarios, cuyas explotaciones abarcan entre 5 y 50 hectáreas, emplean tecnología convencional o tradicional. Además, estos productores si bien tienen una

actitud y un interés por aprender nuevos conocimientos e incorporar nueva tecnología en sus actividades, encuentran dificultades económicas para adquirir el paquete tecnológico de la agricultura intensiva-biotecnológica, cuyos componentes son muy caros.

Ciertamente, son los altos precios de los componentes del paquete tecnológico lo que ha profundizado aún más estas diferencias productivas, por lo que los productores agrícolas, en especial los menos capitalizados, están enfrentando distintas problemáticas que comprometen su presencia en la dinámica agrícola de exportación regional, empujando a la mayoría de éstos hacia una situación de exclusión, como lo comentan varios productores en los siguientes testimonios: “Actualmente no produzco agrícolamente. Pero antes sí tuvimos una actividad agrícola plena, pero el problema fueron los costos fijos, nuestras economías de escala. Entonces, mientras sigamos teniendo caro el diésel, la luz, los insecticidas, las semillas y los agroquímicos no se puede” (entrevista a colono y exproductor, Hermosillo, Son.).

Otro productor agrega

Ahorita la mayoría de los productores que ya desaparecieron de la Costa de Hermosillo se fueron a Guaymas, o para acá para el Rio Sonora, y ahí están sembrando las 5 o las 10 hectáreas. El que se está quedando en la Costa de Hermosillo es el agrotitan, el que se pudo reconvertir tecnológicamente, el que el dueño del campo ya no es un agricultor sino es un empresario, y tiene a su cargo una empresa, y el agricultor que se quedó tiende a desaparecer (entrevista a productor y administrador, Hermosillo, Son.).

Como se refleja en estos testimonios, el productor “ganador” ha sido el empresario agrícola, el cual cuenta con la capacidad productiva y tecnológica suficiente para hacer frente a las demandas del nuevo modelo agro-tecnológico; y el “perdedor”, ha sido el pequeño productor o colono y los productores ejidatarios, que muestran señales de estancamiento y decadencia en su estructura productiva y tecnológica, por lo que ellos mismos reconocen que estos productores están condenados a desaparecer, como uno de ellos señala: “Yo tengo amigos

productores de mi generación que tienen 120 o 150 hectáreas de naranja, y van a desaparecer. Me atrevo a decir que sus hijos ya no van a alcanzar a tener eso” (entrevista a administrador y productor, Son.).

Ante tal situación, algunos productores marginados de la actividad agrícola han implementado “estrategias adaptativas” para hacerle frente a tal situación, incursionando en otras actividades, como se señala en el siguiente testimonio: “Unos productores se han reconvertido hacia el ganado, aunque La Costa no tiene mucha vocación ganadera por la falta de alimento, pero ahorita sí hay compañeros que subsisten de la ganadería. Otros con borregos han trabajado, pero ahí se requiere de un gran volumen” (entrevista a productor colono, Hermosillo, Son.).

Por otra parte, la incorporación de la biotecnología tiene efectos diferentes sobre el uso de la fuerza de trabajo. En algunos casos se traduce en la aparición de nuevos puestos, y en otros, en su desaparición. Por ejemplo, la biotecnología en materia de riego, fertilización, plasticultura y otras pueden reemplazar a cierto tipo de trabajadores (regadores, canaleros, peones que aplican fertilizantes o que realizan los desyerbes, etc.) por mano de obra calificada en las nuevas técnicas de fertirrigación (técnicos o ingenieros), de cosecha y poscosecha. Y, por otra parte, respecto a los cambios en las características de la mano de obra, se observó durante las visitas a los campos, que se han elevado los requisitos de cualificación entre los jornaleros, debido a que los productores están interesados en un trabajador agrícola experimentado, con conocimientos técnicos y capacidad de adaptación a la tecnología.

CONCLUSIONES

El propósito general de esta investigación fue examinar las características y los impactos del desarrollo biotecnológico en la agricultura sonorenses en los últimos años. Para ello, se estudió una región tradicional en la producción agrícola de exportación como es la Costa de Hermosillo, la cual ha experimentado a lo largo de las últimas tres

décadas un proceso de reconversión productiva y tecnológica que responde a la lógica de apertura comercial y del modelo nacional de producción agrícola orientado a las exportaciones.

En la investigación se señaló que dicha modernización ha consistido en la aplicación de un innovador paquete tecnológico basado en la biotecnología, que consiste en: el uso de semillas mejoradas (híbridas y transgénicas) mediante técnicas de fitomejoramiento y/o genéticas; nuevas variedades de cultivos; sistemas de tecnificación de riego por goteo en combinación con sistemas de fertiirrigación que permiten suministrar fertilizantes y plaguicidas mediante el riego; modernas técnicas de producción como la plasticultura que permite proteger el desarrollo de las plantas con una mayor eficiencia; agricultura protegida mediante infraestructura de cultivo tipo invernaderos y mallas-sombras en combinación con sistemas de conducción y crecimiento de las plantas para cultivar todo el año; y, la mecanización de una parte importante de los campos e instalaciones con el uso de maquinaria y equipos de nueva generación con vinculación al Internet.

En este sentido, se logró detectar que el principal impacto del nuevo esquema biotecnológico en la agricultura sonorense ha sido el crecimiento de la productividad. Con relación a esto, se señaló que el caso del cultivo de la uva de mesa es el más ilustrativo, ya que este cultivo es el que más refleja los síntomas de la actual revolución biotecnológica, tanto en el incremento en su producción como en sus rendimientos alcanzados, los cuales se han casi triplicado en los últimos veinte años.

En cuanto al análisis del impacto socioeconómico de la biotecnología en el campo sonorense, se encontró que si bien los grandes y algunos medianos productores (empresarios agrícolas), han logrado consolidarse en el nuevo modelo agrícola y tecnológico, debido a que participan “activamente” en el desarrollo biotecnológico, producto de una nueva perspectiva empresarial, también es preciso mencionar que dicho modelo, en lo general, es de carácter transnacional, es decir, esta tecnología es promovida y desarrollada en su mayoría por empresas agrícolas privadas extranjeras lo cual genera un gran reto,

el de pagar costosos derechos de uso (patentes), de lo contrario, se enfrentan a la exclusión de dicha dinámica agroexportadora.

Tener en cuenta tal situación permitirá visibilizar las asimetrías, las oportunidades y los retos que enfrenta la agricultura de exportación sonorense, sobre todo en el contexto del nuevo tratado comercial trilateral denominado T-MEC, en el cual se ha profundizado los aspectos relacionados con la biotecnología (véase Hernández, 2021).

A manera de conclusión general, se sostiene que una solución a esto en el rubro agrícola es fortalecer el contenido nacional de estas biotecnologías (y no mayoritariamente importarlas), con un proceso de innovación propio, que se alimente de las necesidades reales de los agricultores mexicanos, y participen junto con empresarios, Estado y centros de investigación. Además, es necesario democratizar dichas tecnologías con el afán de disminuir el monopolio que sobre ellas tienen las empresas transnacionales. Esto podría ayudar a disminuir las desigualdades tecnológicas y sociales, así como provocar mayores espacios de soberanía y autonomía. Y, por ende, ayudaría a disminuir los costos elevados por transferencia de tecnología, además de que mitigaría la reproducción de las relaciones monopólicas que asfixian a los productores en el país.

Finalmente, es necesario fomentar y consolidar prácticas sostenibles que aumenten la productividad sin dañar la salud de la población ni la naturaleza. Por ello, es importante reconocer que existen otras formas de tecnología agrícola que no involucran la manipulación transgénica ni química, como la llamada agricultura agroecología. Estas formas alternativas se caracterizan por proponer otras formas de desarrollo agrícola basadas en el aprovechamiento racional de los recursos naturales y humanos, el impulso del mercado interno mediante cadenas cortas de comercialización y tecnologías que provengan de la invención propia.

BIBLIOGRAFÍA

- Bastida Tapia, Aurelio (2017). *Evolución y Situación Actual de la Agricultura Protegida en México. Memoria del Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas* [en línea]. Disponible en <https://dicea.chapingo.mx/wpcontent/uploads/2018/05/MEMORIA_MESA_3_2_CONGRESO2017.pdf>.
- Bracamonte Sierra, Álvaro, Norma Valle Dessens y Rosana Méndez Barrón (2007). “La nueva agricultura sonorenses: historia reciente de un viejo negocio”. *Revista Región y Sociedad* 19 (número especial): 51-70 [en línea]. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252007000400004&lng=es&tyng=es>. (consultado: 30 de agosto de 2021),
- Fundación Produce Sonora A. C. (2011). *Modelo de la Agricultura Moderna en México en el Siglo XXI*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) [en línea]. Disponible en <<http://www.redinnovagro.in/casosexito/48sonorauvademesa.pdf>>.
- Hernández, Juan (2021). “La agricultura mexicana del TLCAN al TMEC: consideraciones teóricas, balance general y perspectivas de desarrollo”. *Revista Trimestre Económico* vol. LXXXVIII (4), núm. 352 (octubre-diciembre).
- Hernández, Juan (2019a). Sistema de innovación agrícola como estrategia de competitividad de los productores sonorenses en el contexto del TLCAN”. *Revista Estudios Sociales*. CIAD [en línea]. Disponible en <<https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i54.828>>.
- Hernández, Juan (2019b). “Desarrollo tecnológico e integración comercial de los productores agrícolas de la Costa de Hermosillo en la globalización”. *Revista Región y Sociedad*. El Colegio de Sonora [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1006>>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2021). *Banco de Información Económica*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2019). *Biblioteca Digital de Mapas*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)*. Primer trimestre, 2018. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) [2021]. *Ficha sobre Paquete tecnológico para la uva de mesa* [en línea] Disponible en <<http://oiapes.sagarhpa.sonora.gob.mx/paq-tec/paq-vid-mesa.pdf>>.
- Márquez Cervantes, Jesús A., Gerardo Martínez Díaz y Humberto Núñez Moreno (2007). “Portainjerto, fertilidad de yemas y producción de variedades de uva de mesa”. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (1) (enero-marzo) [en línea]. Disponible en <<https://www.redalyc.org/pdf/610/61030111.pdf>>.

- Martínez-Borrego, Estela, y Juan Luis Hernández Pérez (2021). “La agricultura sonorense y guanajuatense en la globalización: estructura productiva, integración comercial, desarrollo tecnológico y actores sociales”. México: Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM (mimeo).
- Oficina de Información Agropecuaria, Pesquera y Acuícola de Sonora (Oiapes) [2021]. *Bases de datos Agrícolas de Sonora. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura*. [en línea]. Disponible en <<http://oiapes.sagarhpa.sonora.gob.mx/portada1.htm>>.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Siacon) [2020], *Bases de datos Agrícolas Municipales de Hermosillo, Sonora. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Siacon) (2020)]. *Módulo Agrícola Municipal. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SADER*, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2015). *Reportes de Información Agrícola, 1980-2013*. México: SAGARPA-SIAP [en línea]. Disponible en <www.siap.gob.mx>.

SEGUNDA PARTE

PROCESOS INSTITUCIONALES Y DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Patentes, derechos de obtentor, acceso a los recursos genéticos y biotecnología

Myrsia Eliany Sánchez Goicochea

INTRODUCCIÓN

La biotecnología¹ entendida como una ciencia y a la vez una tecnología de uso transversal aplicable a distintos sectores económicos desempeña una función cada vez más importante en un número considerable de actividades industriales, cuyos desarrollos tecnológicos exigen inversiones de alto riesgo que sólo pueden ser rentabilizadas con una protección jurídica adecuada (a través de la propiedad intelectual), que impactará en el desarrollo industrial de esta tecnología (Directiva 98/44). De la misma manera, distintos organismos destacan la importancia de la biotecnología para los países en vías de desarrollo, tanto en el ámbito de la salud como en la lucha contra el hambre; por lo que es oportuno impulsar mediante el sistema de propiedad intelectual la investigación y fomentar mecanismos que

¹ La biotecnología moderna (BM) es toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos, parte de ellos o sus derivados en la creación o modificación de procesos, productos, servicios y conocimientos para usos específicos (Sánchez, 2020). La BM abre la oportunidad de reemplazar tecnologías existentes basadas en el petróleo por nuevas materias primas biológicas, y así recomponer la productividad (Gutman y Lavarello, 2014).

garanticen la difusión de estas tecnologías en provecho de la población (OMPI, 1998).

Pese a que hay un amplio debate sobre si el conocimiento debe ser privatizado, es importante tener presente que sin un ambiente que aporte seguridad y recompensa para los innovadores, se perdería el incentivo para desarrollar nuevas tecnologías, realizar nuevas inversiones y difundir los beneficios del cambio técnico, con lo cual la sociedad en su conjunto perdería (Solleiro y Briseño, 2003). Siguiendo a los mismos autores, los derechos de propiedad intelectual en biotecnología incluyen diversas legislaciones y figuras jurídicas, tales como patentes, derechos de obtentor de variedades vegetales y secretos industriales; recientemente, el acceso a los recursos genéticos apareció como tema relevante, derivado del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).

Entonces, en una tecnología intensiva en conocimiento valorizado en el mercado como la biotecnología, la cual requiere fuertes inversiones de alto riesgo para producir nuevos procesos y productos con oportunidad de mercado, mientras que su imitación es relativamente sencilla y el costo relativamente bajo, la propiedad intelectual desempeña un papel clave, ya que es un modo de asegurar que las empresas biotecnológicas puedan apropiarse de los resultados de su I+D y reducir la probabilidad de ser imitados por la competencia (Burro-ne, 2006; Solleiro y Briseño, 2003). Es por ello que este trabajo tiene como objetivos: discutir teóricamente las implicaciones de las patentes, derechos de obtentor y acceso a los recursos genéticos; analizar la situación actual de la propiedad intelectual en la biotecnología y los impactos de la actual estructura de la propiedad intelectual en la biotecnología en México.

PROPIEDAD INTELECTUAL Y BIOTECNOLOGÍA

Producir nuevos procesos y productos biotecnológicos con oportunidad de mercado requiere obtener financiamiento del capital de riesgo, ya que transitar de una invención a un producto comercializable

puede tomar años e incluso décadas para muchas empresas (Stezano, Morales y Amaro, 2019); sin embargo, la imitación de estos es relativamente sencilla y el costo relativamente bajo. Tal como lo menciona Kenney (1992), en la biotecnología:

Al igual que con otras tecnologías, la copia es más fácil que el descubrimiento inicial. Por ejemplo, una vez que un gen ha sido secuenciado, cualquiera que tenga ciertos conocimientos en este campo y reciba la secuencia, puede reproducir el gen de manera poco costosa. En términos económicos esto significa que, si no se cuenta con nuevos tipos de derechos a la propiedad, la capacidad de apropiación de este invento resulta comparativamente baja (Kenney, 1992: 51-52).

La propiedad intelectual juega un papel clave para asegurar que las empresas biotecnológicas puedan apropiarse de los resultados de su I+D, y así reducir la probabilidad de ser imitados por la competencia (Solleiro y Briseño, 2003; Burrone, 2006). En este apartado, discutiremos la función y avances de las patentes, derechos de obtentor, acceso a recursos genéticos y biotecnología.

Patentes

En tecnologías intensivas en conocimiento y relacionadas de manera directa con la actividad científica como la biotecnología, las patentes, a pesar de ser un indicador imperfecto de las actividades de innovación, son importantes porque representan una de las principales estrategias de competencia en el mercado mundial. Las patentes son generalmente utilizadas como un indicador de resultado, ya que se obtienen una vez que ha concluido un largo proceso previo de I+D; en sí mismas, éstas no representan un éxito comercial, es decir, no garantizan que la invención se convierta en innovación, pero muchas de ellas dan cuenta de la capacidad científica, tecnológica y de innovación en el área en cuestión (Jaffe, 1986; Morales y Amaro, 2017).

Siguiendo a Stezano y otros (2019), las empresas biotecnológicas usan las patentes como mecanismos de apropiación de la innovación y como activos estratégicos para crear y mantener posiciones dominantes (redefinir posiciones jerárquicas y aumentar su poder de negociación). En los mercados de conocimiento como el biotecnológico, el licenciamiento de tecnologías (patentes) se vuelve un componente esencial y las patentes se convierten en activos líquidos intercambiables entre empresas. En este sentido, las patentes tienen “un valor en sí basado en expectativas de futuro: por la potencial importancia de la innovación patentada para futuras innovaciones, para bloquear la entrada de nuevos competidores o para aumentar el valor de la firma al indicar capacidades tecnológicas potenciales” (Cimoli y Primi, 2008: 20-21)

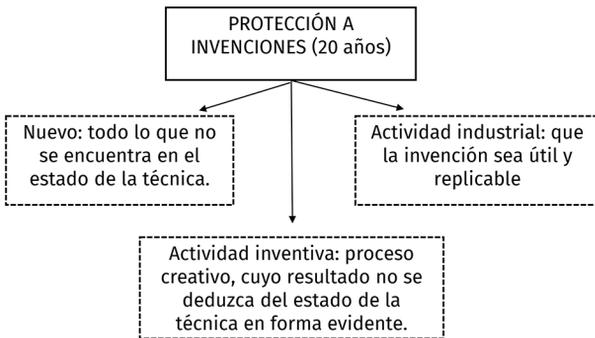
Una patente es un derecho de propiedad otorgada por el Estado para proteger las invenciones. Las patentes garantizan que el conocimiento de los inventos se encuentre accesible a todos, pero limita su uso comercial a quienes son dueños de éstas; es decir, las patentes son documentos que otorgan el derecho exclusivo temporal a una persona física o jurídica para explotarla en el plano industrial y comercial (Foray, 2004; Solleiro y otros, 2019). Según el artículo 27 del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (AdpiC), las patentes podrán obtenerse por todas las invenciones, sean de productos o de procedimientos, en todos los campos de la tecnología siempre que cumplan con tres requisitos: novedad,² entrañen una actividad inventiva y sean susceptibles de aplicación industrial (véase la figura 1).

Una patente es válida en el territorio donde se concedió y tiene un periodo de validez de 20 años, pasado este tiempo la invención pasa a ser de dominio público; aunque se pueden solicitar exten-

² Conjunto de conocimientos que se ha hecho público a través de una descripción oral o escrita por la explotación u otro medio de difusión.

siones. Por otro lado, no todas las invenciones son patentables; tal es el caso de:

FIGURA 1
REQUISITOS DE PATENTABILIDAD



Fuente: Elaboración propia con base en Solleiro y otros (2019).

- Las plantas y los animales, excepto los microorganismos (bacterias, virus, hongos).
- Los procedimientos esencialmente biológicos (reproducción sexual) para la producción, reproducción y propagación de plantas y animales.
- Material biológico y genético tal como se encuentra en la naturaleza, es decir, se patentan las invenciones no los descubrimientos.
- El cuerpo humano y las partes vivas que la componen.
- Variedades vegetales y razas de animales.³

Bajo lo expuesto anteriormente, la patentabilidad de invenciones biotecnológicas difiere en cuanto a la patentabilidad de otras tecnologías, porque se trata justamente de materia viva que está presente en

³ Los miembros otorgarán protección a todas las obtenciones vegetales mediante patentes, mediante un sistema eficaz *sui generis* (Ley de Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales) o mediante una combinación de aquellas.

la naturaleza y que forma parte de organismos inferiores y/o superiores (Bergel, 1999; 2006). Esto ha conllevado a lo largo de los años a un debate ético sobre la posibilidad de otorgar derechos exclusivos sobre plantas, animales o partes del cuerpo humano. Desde los años treinta hasta los ochenta, sólo se concedían patentes sobre invenciones a materia no viva. Sin embargo, con la decisión de la Corte Suprema de los Estados Unidos en 1980 de extender la protección a organismos vivos (excepto humanos) y la entrada en vigor de la Convención de Múnich sobre patentes europeas, marco el inicio de las patentes biotecnológicas (Aparisi y López, 1999; Coriat y otros, 2003).

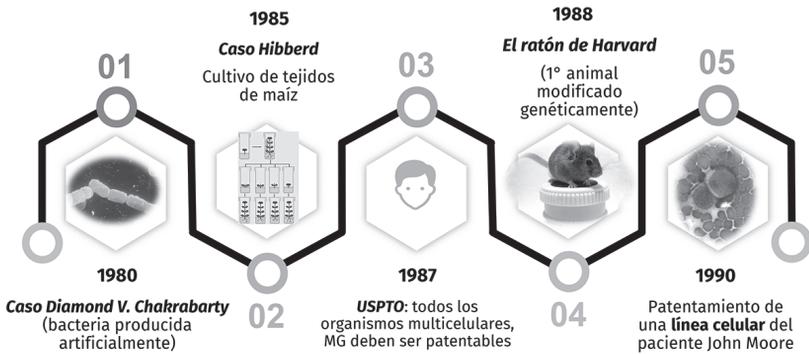
La mayoría de los países avanzados son los que han promovido modificaciones en las leyes, orientadas por supuesto a una apertura cada vez mayor para la patentabilidad de invenciones biotecnológicas; desde 1993, cuando se reconoció la patentabilidad de microorganismos, estos países han permitido el patentamiento de microorganismos, procesos biotecnológicos, productos farmacéuticos y químicos diversos (Solleiro y Arriaga, 1990). En un inicio, se respetaron las exclusiones de patentabilidad propuestas por el AdpiC, pero a medida que evolucionaron las patentes biotecnológicas se dio el paso a patentar materia viva en Estados Unidos, tal es el caso del ratón de Harvard o el patentamiento de una línea celular del paciente Moore (véase la Figura 2).

Por otro lado, según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual hay distintos debates sumados al anterior en torno a las patentes y las invenciones biotecnológicas. El primero es el relacionado al alcance de la protección por patentes de invenciones relacionadas con la biotecnología (invenciones o descubrimientos); lo segundo, que ha dado mucho que hablar es la concesión de licencias y otras cuestiones relativas a la explotación de las patentes; el tercero tiene que ver con la problemática entre las patentes y otras formas de protección; y el último, en cuanto a la dimensión moral y ética relacionado al acceso de recursos genéticos y la participación de los beneficios (<<https://www.wipo.int/patent-law/es/developments/biotechnology.html>>).

Derechos de obtentor de variedades vegetales

La protección a las variedades vegetales se presentó, tras intensos debates, como una alternativa de patentes que considera las características específicas de la innovación en el cultivo de plantas. En 1930, con el fin de incentivar la inversión y promover las obtenciones de multiplicación asexual, Estados Unidos promulgó la Plant Protection Act; más adelante, en 1942, Holanda introdujo en su legislación la figura de protección de obtenciones vegetales (POV); y en 1961, en París se suscribió el Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales, que a su vez dan origen a la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) que fue revisado en 1972, 1978 y 1991 (Molina y Solleiro, 2021).

FIGURA 2
EVOLUCIÓN DE LA PATENTABILIDAD DE LA MATERIA VIVA EN ESTADOS UNIDOS



Fuente: Elaboración propia con base en Melgar (2003) y Solleiro y otros (2019).

Mediante esta modalidad de propiedad intelectual se brinda protección a las nuevas variedades, otorgándoles a los obtentores el derecho exclusivo de explotación, como en el caso de las patentes, pero que solo alcanza al material de propagación, es decir, mediante estos

títulos se protegen exclusivamente a las semillas⁴ (Solleiro y Briseño, 2003; Melgar, 2003). En este aspecto:

El derecho de obtentor de variedades vegetales es un sistema *sui generis* de protección de variedades vegetales, que busca reconocer el esfuerzo de quienes desarrollan nuevas variedades de plantas, en aras de promover la innovación en la producción agrícola, a través del reconocimiento de su derecho moral, como generadores de nuevas alternativas tecnológicas, y de un derecho de exclusividad temporal, como una forma de incentivar la inversión, promover la competencia leal, crear nichos de mercado, y promover el desarrollo y la competitividad agrícola (Molina y Solleiro, 2021: 9).

Al inicio, los que se dedicaban a generar las variedades vegetales eran Instituciones públicas y luego transferían las innovaciones (variedades vegetales). Después, las que empezaron a generar y transferir innovaciones fueron las instituciones privadas; claro está que las públicas lo siguieron haciendo, pero en menor medida. Las variedades vegetales pueden generarse a partir de plantas silvestres y variedades mejoradas, utilizando el mejoramiento genético; la generación de innovaciones de variedades vegetales requiere inversiones considerables a mediano y largo plazo (SNICS, 2020).

Los requisitos para obtener derechos de obtentor son diferentes a los correspondientes a las patentes, ya que contienen dos excepciones importantes la “excepción del obtentor” y el “privilegio de los agricultores” y varían según el Acta (1978, 1991) de la UPOV a la que el país esté adscrito (véase el cuadro 1). Antes de describir los requisitos, es necesario tener en cuenta dos definiciones claves de acuerdo con el artículo uno el Acta de 1991 del convenio:

⁴ Ejemplo, cortas varitas a la planta de la uva, la haces enraizar y sacas otra planta igual.

CUADRO 1
CRITERIOS DEL DERECHO DE OBTENTOR DE VARIEDADES VEGETALES (UPOV)

Crterios	Acta de 1978	Acta de 1991
Protección (Art. 4)	Variedades vegetales de especies definidas a nivel nacional (al menos 24)	Variedades vegetales a todos los géneros y especies botánicas
Alcance de la protección (Art. 5)	<ul style="list-style-type: none"> • Material de propagación (uso comercial). • Someter a la autorización del obtentor la producción con fines comerciales, la puesta en venta y la comercialización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Material de propagación y puede extenderse al producto de la cosecha (uso comercial). • Agrega la oferta en venta, la reproducción, preparación a fines de reproducción, la exportación, y la importación.
Requisitos para proteger una variedad (Art. 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguible: claramente por uno o varios caracteres importantes de cualquier otra variedad. • Nueva: no deberá haber sido ofrecida en venta o comercializada. • Homogénea: su reproducción sexuada o su multiplicación vegetativa. • Estable: en sus caracteres esenciales • La variedad deberá recibir una denominación. 	
Duración de la Protección (Art. 8)	No puede ser inferior a 15 años y 18 para el caso de árboles frutales, forestales y ornamentales.	No puede ser inferior a 20 años y 25 para el caso de árboles frutales, forestales y ornamentales.
Derecho del agricultor	Un agricultor puede reservar y reutilizar semillas obtenidas del cultivo de una variedad protegida (sí, en la práctica).	Cada Parte Contratante podrá restringir el derecho de obtentor respecto de toda variedad (es facultativo, es decir, depende de las legislaciones nacionales).
Excepción del fitomejorador	Se puede usar la semilla comercial para hacer mejoras genéticas, con la salvedad de uso repetido.	Sí, con la salvedad de uso repetido y se introduce la cláusula de variedades derivadas y algunas otras variedades.
Marco privado	No previsto	Sí (explícito)
Experimental	No previsto	Sí (explícito)

Fuente: Elaboración propia con información del Acta (1978). Acta (1991) Molina y Solleiro (2021).

Variedad: Conjunto de plantas de un solo taxón botánico del rango más bajo conocido que, con independencia de si responde o no plenamente a las condiciones para la concesión de un derecho de obtentor.

Obtentor: a) la persona que haya creado o descubierto y puesto a punto una variedad, b) la persona que se el empleador de la persona antes mencionada o que haya encargado su trabajo.

De acuerdo con Molina y Solleiro (2021), el Acta de 1991 adiciona dos excepciones más con respecto al Acta de 1978: a) el uso dentro de un marco privado con fines no comerciales, y b) los actos con fines experimentales. Es decir, esta acta ofrece otras alternativas para la utilización de las variedades protegidas sin requerir autorización del obtentor, teniendo en cuenta la importancia de garantizar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria de la agricultura de subsistencia, por lo que se busca con este sistema impulsar y acelerar el desarrollo de nuevas variedades, y por tanto diversificación de alternativas para agricultores y consumidores (Molina y Solleiro, 2021: 21).

Actualmente, la UPOV está conformada por 76 miembros que suman 95 países (<https://www.upov.int/edocs/pubdocs/en/upov_pub_423.pdf>). En el caso de México, pese que esta adherido al Acta de 1978, tiene muchos elementos del Acta de 1991 en su Ley Federal de Variedades Vegetales; por ejemplo, otorga permiso de protección para todas las especies, la cláusula del Acta de 1991, porque en la de 1978 tiene restricciones en este sentido (Solleiro *et al.*, 2019).

Finalmente, es importante mencionar que los innovadores de variedades vegetales tienen la opción de solicitar o no la protección intelectual como reconocimiento al intelecto y a la inversión realizada. Según el SNICS (2020), en México, los Fito-mejoradores tienen tres opciones: a) Proteger su innovación a través de la solicitud del título de obtentor (protección intelectual). b) Registrar la variedad en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, es decir, producir semilla certificada. c) Declarar la variedad (sin registro), esto es, sin protección y sin opción de certificación.

Propiedad intelectual y recursos genéticos

El último eslabón en la cadena de la protección del material biológico (en relación con la biotecnología) es la posibilidad de apropiación de los recursos genéticos a través de tres modalidades: permiso de colecta, contratos de acceso y acuerdos de transferencia del material biológico. En 1983, la FAO lanzó la iniciativa “Compromiso internacional sobre los Recursos Fitogenéticos”, donde se establece el libre acceso a los recursos porque son considerados patrimonio de la humanidad; no obstante, en 1992 con la CDB, se observa un cambio de paradigma (véase la figura 3), los países tienen derechos soberanos sobre su biodiversidad biológica y habrá que garantizar el acceso libre pero no gratuito (Solleiro, 2012; 2019).

FIGURA 3
CAMBIO DE PARADIGMA EN RELACIÓN CON EL ACCESO DE RECURSOS GENÉTICOS



Fuente: Solleiro (2012)

- a) *Permiso de colecta*: consiste en firmar un contrato de acceso al material biológico.⁵

⁵ Se entienden los recursos genéticos, los organismos o partes de ellos, las poblaciones o cualquier otro tipo del componente biótico de los ecosistemas de valor o utilidad real o potencial para la humanidad.

- b) *Contrato de acceso*: establecen los términos para una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del acceso a los recursos genéticos.⁶ El Protocolo de Nagoya⁷ establece los lineamientos para elaborar y negociar los contratos de acceso que implican: seguridad jurídica, claridad y transparencia en su legislación; normas y procedimientos justos y no arbitrarios sobre el acceso a recursos genéticos; información clara sobre cómo solicitar el consentimiento fundamentado previo; conceder una decisión por escrito en materia de costos y dentro de un plazo razonable; permiso del consentimiento; un precio fundamentado y condiciones mutuamente acordadas; y finalmente establecer normas para condiciones mutuamente acordadas.
- c) *Acuerdo de transferencia de material biológico*: es un documento suscrito entre dos instituciones que gobierna la transferencia de uno o más materiales biológicos de un proveedor a un receptor para uso exclusivo de investigación científica (INS, 2019: 8).

Es interesante discutir el impacto del acceso a los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales en un contexto donde los países desarrollados cuentan con escasos recursos genéticos, pero con amplios avances científicos y tecnológicos; versus los países en vías de desarrollo, ricos en biodiversidad, pero carentes de una estructura científico tecnológico. En el pasado, los recursos genéticos eran considerados patrimonio cultural de la humanidad, muchos países industrializados se apropiaron, vía patentes, de información genética de plantas y animales, así como de conocimiento tradicional relacionado con recursos genéticos de países en vías de desarrollo; por ello, fue necesario cambiar de paradigma y aplicar reglas para la conservación de la

⁶ Cualquier material genético (todo material de origen vegetal, animal, microbiano o de otro tipo que contenga unidades funcionales de la herencia) con valor real o potencial.

⁷ Es un acuerdo complementario al CBD que tiene como objetivo la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos; entró en vigor desde octubre de 2014.

biodiversidad y el reparto justo y equitativo de los beneficios que deriven de la utilización de dichos recursos (Solleiro y Briseño, 2003; Bergel, 2006).

En este sentido, tanto la CDB como el Protocolo de Nagoya han brindado mecanismos para salvaguardar la biodiversidad, así como los intereses de ambas partes. El “proyecto Manhattan” de la empresa Natura es un ejemplo exitoso de la puesta en práctica de estos convenios. Cuando Natura lanzó su línea Ekos⁸ implementó el proyecto Manhattan, cuyos objetivos fueron: “uso de activos de la biodiversidad brasileña, sustentabilidad socioambiental y aprovechamiento de las tradiciones y costumbres populares”; dando resultados positivos para ambas partes (Guzmán, 2010: 46) a través de:

- i. Establecer convenios y acuerdos con las comunidades tradicionales para mejorar los procesos de extracción y manejo de la producción y así contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades.
- ii. Establecer esquemas de colaboración con instituciones y órganos ambientalistas para que la materia prima utilizada (activos de la biodiversidad) obtenga los sellos de certificación ambiental que garanticen la extracción sustentable.
- iii. Aplicar una política de incentivos a la investigación básica que propicie el descubrimiento de nuevos activos de la biodiversidad con potenciales usos cosméticos.

Sin embargo, así como Natura ilustra el funcionamiento de los principios establecidos en la CDB y el respeto al acceso a los recursos

⁸ La línea Ekos incorporó desde un principio ingredientes naturales que ya los usaban la cosmética nacional e internacional. Estos ingredientes se obtienen en siete estados y los abastecedores son las firmas Cognis y Croda [...] A pesar de que Natura no compra insumos directamente en las comunidades, se ha ido involucrando al fomentar programas de certificación de activos en cada una de las comunidades abastecedoras de materia prima (Guzmán, 2010: 47).

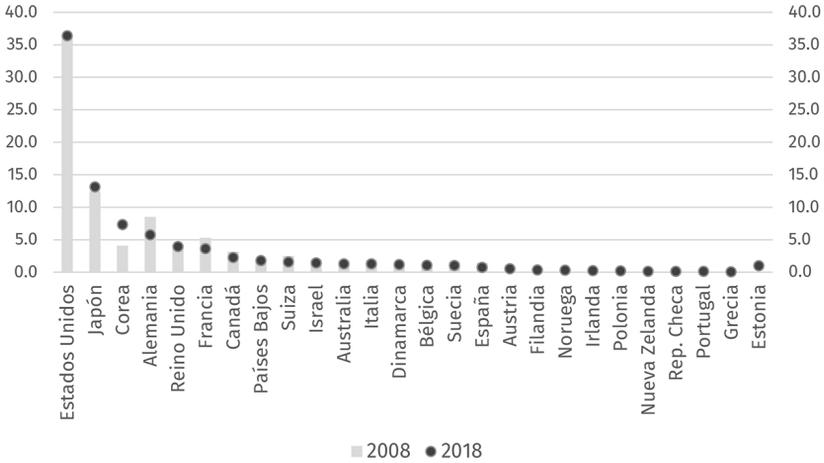
genéricos en los países en vías desarrollo, en otros casos observamos lo contrario, como el de la patente sobre la planta del Ayahuasca (conocimiento de los pueblos indígenas acerca de las plantas medicinales de esta planta del Amazonas), contraviniendo los principios de la CDB. Esto es lo que comúnmente se conoce como biopiratería, utilización de los derechos de propiedad intelectual para obtener el control monopólico sobre la utilización de recursos genéticos asociados a conocimientos tradicionales (Melgar, 2003).

ESTADO ACTUAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL EN LA BIOTECNOLOGÍA

Según Sánchez (2020), en términos de patentes, pese a son un indicador de invención más que de innovación, esta variable representa una aproximación para identificar ciertas capacidades tecnológicas en sectores que utilizan tecnologías intensivas en conocimientos y con una fuerte relación con la ciencia. En la figura 4 se presenta el porcentaje de participación en patentes relacionadas con la biotecnología en las cinco principales oficinas de propiedad intelectual durante 2008 y 2018 para los países de la OCDE.

Siguiendo la misma línea de Morales y Díaz (2019), se observa que existe una correlación positiva entre gasto en I+D en biotecnología y patentes. Un claro ejemplo es Estados Unidos, el país con mayor volumen de gasto en I+D en biotecnología, también es el país que más patenta en este rubro; en 2008 concentró cerca de 36.4% de todas las patentes registradas en biotecnología, y pese a que no hay un incremento sustancial para el año 2018, sigue siendo el país de la OCDE que más patenta en biotecnología. Además, podemos destacar que se observa un rápido crecimiento de Corea en este rubro, pasó de 1.7% de participación en patentes en el año 2000, a 4.1% en 2008 y a 7.3% en 2018 y no es casualidad que sea uno de los países que ha incrementado su nivel de gasto en I+D en los últimos años, siendo el país que reportó mayor gasto del sector público en I+D en biotecnología para el 2017 (Sánchez, 2020).

FIGURA 4
PARTICIPACIÓN DE LOS PAÍSES EN PATENTES RELACIONADAS
CON LA BIOTECNOLOGÍA (2008-2018)



Fuente: Elaboración propia con datos de la OCDE.

En términos generales, según el último reporte de indicadores de propiedad intelectual en el mundo, podemos destacar que en 2018 se solicitaron en todo el mundo 65 562 patentes para el campo de biotecnología, reportando una tasa de crecimiento de 6% en diez años (2008-2018) y en materia de brecha de genero entre inventores PCT, las mujeres representaron más de una cuarta parte de los inventores PCT en los campos de biotecnología (31%); y la tendencia en depósito de microorganismos en todo el mundo (2005-2019) han aumentado: para 2018 se registraron aproximadamente 7 mil depósitos, los cuales son claves para las invenciones biotecnológicas (WIPO, 2020).

Para el caso de México, entre 1980 y 2000 se concedieron 742 patentes en biotecnología y se registraron 1813 solicitudes publicadas (1991-2001); de las patentes concedidas, 96% de los solicitantes fueron titulares extranjeros (empresas estadounidenses, japonesas y en menor grado europeas); estas patentes cubrieron los campos principalmente de la medicina humana y animal, agricultura, alimentos y bebidas fermentadas (Solleiro y Briseño, 2003). Datos más actuales

evidencian una tendencia similar para el periodo 2009-2014, de los 7 270 registros de patentes biotecnológicas en el IMPI,⁹ sólo 1% perteneció a titulares mexicanos y la distribución por áreas varió muy poco; los agentes nacionales que más patentan son las universidades y los centros de investigación (Stezano, Morales y Amaro, 2019). Por último, para 2018 se registraron 364 patentes biotecnológicas PCT para México, 17 de titulares mexicanos y 347 de extranjeros.

El trabajo de Morales y Manzano (2019) corroboran esa información; a través de una base de CIPS relacionados con la biotecnología identifican 8 382 patentes biotecnológicas concedidas por el IMPI entre 1995 y 2015. Sus resultados muestran que seis países concentran la mitad de las patentes otorgadas (76% de las patentes fueron otorgadas a organismos localizados en Estados Unidos y Europa.): Estados Unidos figura en primer lugar con 4 211 patentes, seguido por 2 161 patentes que suman las patentes de Alemania, Suiza, Francia, Japón y Países Bajos, otros con 1 842 y México con 168. Se otorgó derechos de propiedad especialmente a “métodos”¹⁰ en materia de biotecnología, de igual manera el escenario de la biotecnología de titulares mexicanos de patentes también se inclina hacia el proceso más que el producto (Sánchez, 2020: 58).

En cuanto a los derechos de obtentor de variedades vegetales, en 2019 la oficina correspondiente de China recibió 7834 solicitudes de variedades vegetales, 36% más que en 2018. Ahora representa más de un tercio de las solicitudes de variedades vegetales presentadas en todo el mundo. A China le siguió la Oficina Comunitaria de Variedades Vegetales de la Unión Europea, con 3 525 solicitudes; y las oficinas pertinentes de los Estados Unidos, con 1 590 solicitudes; seguidos de

⁹ Incluyen los CIPS que más patentes registran en IMPI: C12N, C12Q, C12P, A61K38/00, A61K39/00, C07K14/00, C07K16/00.

¹⁰ “Esta palabra puede referir a métodos diversos utilizados en diferentes técnicas biotecnológicas, pero se atribuye a tecnologías variadas de propósito general” (Morales y Manzano, 2019).

Ucrania (1 238) y Japón (822). En 2019, entre las cinco oficinas principales, China y Ucrania registraron un crecimiento de 36% y 1.1%, respectivamente con relación a las solicitudes de variedades vegetales; mientras que Japón (-6,6%), Estados Unidos (-1,2%) y la OcvV (-0,8%) registraron una caída en solicitudes (WIPO, 2020).

Para el caso de México, los derechos de obtentor de variedades vegetales han tenido una cara más positiva, ya que 35% de los registros son para nacionales, seguido de 34% para estadounidenses, 16% para holandeses y 4% para franceses (Reyes, Morales y Amaro, 2015). Con la colaboración de distintas organizaciones e instituciones nacionales e internacionales, México ha impulsado distintos programas de formación, capacitación y difusión del derecho de obtentor; lo que ha permitido al país un fortalecimiento de las capacidades nacionales y la generación de experiencias que se reflejaron en el incremento de la participación de solicitudes mexicanas (Molina y Solleiro, 2021).

IMPACTOS DE LA ACTUAL ESTRUCTURA DE LA PROPIEDAD INTELLECTUAL EN LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Según Reyes, Morales y Amaro (2015) para el caso de México se produjeron cambios importantes en relación con la propiedad intelectual a partir de la incorporación del país al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio en 1986, dado que este exigía, entre otras cosas un sistema de propiedad intelectual fuerte, el cual incentivara la innovación, pero sobre todo protegiera los derechos de uso y comercialización del conocimiento producido por particulares. Tanto en el Tratado de libre comercio como en el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) se contemplaron y contemplan mecanismos que obligan a México al cumplimiento de las reglas en materia de propiedad intelectual bajo la influencia estadounidense (Aboites, 1992). En materia biotecnológica se establecen al menos cuatro cambios importantes en cuanto a la propiedad intelectual.

- Ley de Invencciones y Marcas (1987), la cual permite el patentamiento en productos químicos, farmacéuticos, alimenticios y algunos de procedencia biotecnológica.
- Ley de Fomento y Protección a la propiedad Industrial (1991), se propone como materia patentable a las variedades vegetales, aunque el material genético, tal como se encuentra en la naturaleza, no es materia patentable.
- Ley Federal de Protección a la propiedad Industrial (2020),¹¹ moderniza su marco legal para responder a los retos del siglo XXI para promover la innovación, al tiempo que cumple con sus compromisos internacionales (T-MEC Y TIPAT). Esta nueva ley establece entre otras exclusiones lo siguiente: no se considerarán invenciones el material biológico y genético tal como se encuentra en la naturaleza; no serán patentables variedades vegetales y las razas de animales, salvo en el caso de microorganismos (esta salvedad se encuentra en vigor desde 1994).
- Ley Federal de Variedades Vegetales (1996),¹² establece las bases y procedimientos para la protección al derecho del obtentor, y establece los siguientes principios: determina como autoridad competente para la aplicación e interpretación de la Ley, a la Secretaría de Agricultura (hoy Sader); en el Reglamento de la Ley se designa al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS); protección bajo un sistema *sui generis* de protección (derecho de obtentor), de conformidad con el Acta UPOV 1978 (Molina y Solleiro, 2021).

¹¹ Ley promulgada el 1 de julio de 2020, entró en vigor el 5 de noviembre de 2020 y quedó abrogada la Ley de Propiedad Industrial (1994).

¹² Ante los cambios tecnológicos, legales, comerciales y sociales que inciden sobre la agricultura en las últimas décadas y la entrada vigor del T-MEC (1 de julio de 2020) que establece el compromiso de México para implementar en su totalidad el Acta de 1991, es necesario modificar la Ley Federal de Variedades Vegetales. Es por ello que desde el 2019 se ha revisado una nueva iniciativa de reformas a la Ley Federal de Variedades Vegetales, publicada en la *Gaceta Parlamentaria de la H. Cámara de Diputados* el 5 de marzo de 2020, y turnada para su análisis y dictamen a la Comisión de Desarrollo y Conservación Rural, Agrícola y Autosuficiencia Alimentaria (Molina y Solleiro, 2019).

En cuanto, a la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente modificados, México presenta un avance significativo en diversos aspectos, por ejemplo, el trabajo de evaluación que se realiza en conjunto con la Secretaría de Salud ha permitido concluir si un alimento es igualmente seguro y nutritivo que el producto homólogo convencional con el que se le ha comparado. Siguiendo a Sánchez (2020), la Ley Federal de Variedades Vegetales ha propiciado incentivos para generar condiciones de mercado favorables, al reconocer una serie de derechos para los obtentores como el periodo de explotación (18 años). Pero también observamos la otra cara de la moneda, pese a que la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados y la Comisión Nacional de Bioética mantienen una relación directa con el quehacer de la biotecnología, en especial con la producción agrícola y alimentaria, y han realizado una serie importante de actividades de regulación sobre el tema, poco inciden en la investigación que se realiza en los desarrollos tecnológicos de las empresas (Amaro y Villavicencio, 2015).

CONCLUSIONES

En síntesis, si bien la propiedad intelectual en la biotecnología ha jugado un papel determinante para impulsar el desarrollo de nuevos productos y procesos biotecnológicos al proporcionar un marco de protección a largos procesos de I+D y fuertes inversiones de alto riesgo, los resultados en materia de patentabilidad, derechos de obtentor y acceso a recursos genéticos para países en vías de desarrollo y los países desarrollados han sido muy dispares, generando dependencia tecnológica y ampliando las brechas tecnológicas existentes.

Tal es el caso de México, donde podemos concluir preliminarmente que hay un amplio rezago en materia de patentabilidad, tanto por las condiciones de las empresas como por el marco regulatorio. Observamos dependencia tecnológica en materia de patentabilidad ya que más de 50% de patentes biotecnológicas pertenecen a empresas extranjeras y menos de 2% a titulares mexicanos. El argumento de

que las patentes en biotecnología aumentarían las innovaciones y difusión del conocimiento científico no parece haber funcionado para países en vías de desarrollo.

Asimismo, las empresas biotecnológicas se enfrentan a los ajustes en los sistemas de propiedad intelectual y a fuertes regulaciones y permisos sanitarios. De este modo, el marco regulatorio y jurídico en México aún sigue siendo débil para fomentar una mayor actividad biotecnológica, poco ha incidido en el diseño e implementación de políticas y más bien ha favorecido la homogenización con la legislación internacional; además de que hay muchos vacíos legales y jurídicos que lejos de impulsar la industria biotecnológica mexicana fortalece el monopolio de las transnacionales. Queda pendiente para futuras investigaciones analizar el impacto y repercusiones de la nueva ley de propiedad industrial y las posibles modificaciones que se realizan a la Ley Federal de Variedades Vegetales.

En términos generales, se considera que, pese a que los países en vía de desarrollo cuentan con amplias capacidades científicas y conocimientos de la biotecnología tradicional, este potencial no está siendo aprovechado en su totalidad en el campo empresarial. No es suficiente tener capacidades científicas y biodiversidad para desarrollar la biotecnología en América Latina, se requiere un trabajo conjunto de distintos actores sociales, con un aparato científico fuerte, una sólida infraestructura, énfasis en la formación de recursos humanos y legislaciones claras y justas en materia de protección intelectual, de acuerdo con nuestro contexto y oficinas de patentes especializadas, para una difusión eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aboites, Gilberto (1992). "Problemas que plantea la biotecnología en el marco legislativo de la propiedad intelectual: el caso de México". En *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, coordinado por Rosalba Casas, Michelle Chauvet, y Dina Rodríguez, 63-87. México: IIS-IIEC-UNAM.
- Amaro, Marcela y Daniel Villavicencio (2015). "Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México". *Estudios Sociales* xxiii (35): 35-45.
- Aparisi, Ángela y José López (1999). "Biotecnología y patentes: ¿Reto científico o nuevo negocio?", *Cuadernos de Bioética* 2 (38): 282-288 [en línea]. Disponible en <<http://aebioetica.org/revistas/1999/2/38/282.pdf>>.
- Bergel, Salvador (1999). *Requisitos y excepciones a la patentabilidad. Invenciones Biotecnológicas. Derecho de Patentes*. Buenos Aires: Ed. Ciudad Argentina
- Bergel, Salvador (2006). "Biotecnología, Propiedad Intelectual y los intereses de los Países Subdesarrollados". *Propiedad Intelectual* 8-9: 27-53.
- Burrone, E. (2006). *Las patentes, pilar esencial del sector de la biotecnología*. OOMPI [en línea]. Disponible en <https://www.wipo.int/sme/es/documents/patents_biotech.htm>
- Cimoli, Mario, y Annalisa Primi (2008). "Intellectual Property and Development: An Interpretation of the (new) Markets for Knowledge". En *Knowledge Generation and Protection Intellectual Property, Innovation and Economic Development*, coordinado por Jorge Martínez, 3-26. Nueva York: Springer.
- Coriat, Benjamin, Fabianne Orsi y Oliver Weinstein (2003). "Does Biotech Reflect a New Science-based Innovation Regime?". *Industry and Innovation* 10 (3): 231-253.
- Foray, David (2004). *The Economics of Knowledge*. Londres: The MIT Press.
- Gutman, Graciela y Pablo Lavarello (2014). *Biotecnología industrial. Estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*. Buenos Aires: CEUR-CONICET y Letra Prima.
- Guzmán, Mauricio (2010). "Cosmética Verde: la apropiación de los discursos sobre la crisis de la biodiversidad en Brasil". *Nueva Antropología* 23 (72): 85-198.
- Instituto Nacional de Salud (INS) (2019). *Procedimiento técnico para la transferencia de material biológico para fines de investigación* [en línea]. Disponible en <https://web.ins.gov.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/transferencia_tecnologica/Procedimiento%20t%C3%A9cnico%20para%20la%20transferencia%20de%20material%20biologico-c.pdf> (consulta: 28 de febrero 2021).
- Jaffe, Adam (1986). "Technological Opportunity and Spillovers of RyD: Evidence from Firms Patents, Profits, and Market Value". *The American Economic Review* 76 (5): 984-1001.

- Kenney, Martin, (1992). "Propiedad Intelectual, biotecnología y desarrollo internacional". En *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, coordinado por Rosalba Casas, Michelle Chauvet y Dina Rodríguez, 51-62. México: IIS-IIEc-UNAM.
- Melgar, M. (2003). *Las relaciones entre los regímenes de la biodiversidad y la propiedad intelectual en el derecho internacional contemporáneo: Un enfoque integrado*. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra.
- Molina, Enriqueta y José Luis Solleiro (2021). *Fortalecimiento del Sistema de Protección de Variedades Vegetales. Beneficios socioeconómicos para México*. Ciudad de México: Asociación Mexicana de Semilleros (AMSAC).
- Morales, Mario y Marcela Amaro (2017). "Panorama general de la biotecnología en México y el mundo". En *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*, coordinado por Daniel Villavicencio, 33-69. México: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
- Morales, Mario y Héctor Díaz (2019). "Perspectiva geneal y delimitación del sector biotecnológico desde la Economía de la Innovación". En *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Morales y Marcela Amaro, 23-51. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Morales, Mario, y Francisco Manzano (2019). "Sector biotecnológico en México: un análisis de patentes a través de minería de textos". En *Innovación y desarrollo tecnológico en México. Estudios sectoriales y regionales*, coordinado por Germán Sánchez e Ismael Núñez, 67-84. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2005). *Key biotechnology indicator* [en línea]. Disponible en <<https://www.oecd.org/sti/inno/keybiotechnologyindicators.htm>> (consulta: 25 de enero 2021).
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (1998). *Directiva 98/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la protección jurídica de las invenciones biotecnológicas*. Comunidad Europea: OMPi.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (1998). *Biotecnología* [en línea]. Disponible en <<https://www.wipo.int/patent-law/es/developments/biotechnology.html>> (consultado: 20 de febrero 2021).
- Reyes, Juan, Mario Morales y Marcela Amaro (2015). "Efectos de la legislación de la propiedad industrial en el patentamiento. El caso de la biotecnología agrícola en México". En *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad*, coordinado por Mario Morales, Rebeca de Gortari y Federico Stezano, 77-98. México: Conacyt.
- Sánchez Goicochea, Myrsia (2020). "Capacidades tecnológicas en empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial ali-

- mentario". Tesis de maestría en Economía. Ciudad de México: Facultad de Economía-UNAM.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) (2020). "Protección a la propiedad intelectual de las innovaciones vegetales". México, 28, 29 y 30 de septiembre.
- Solleiro, José Luis y Elena Arriaga (1990). "Patentes de biotecnología: amenazas y opciones para América Latina". *Comercio Exterior* 40 (12): 1160-1170.
- Solleiro, Jose Luis y Adriana Briseño (2003). "Propiedad Intelectual II: el caso de la biotecnología en México". *Interciencia* 28 (2): 90-96.
- Solleiro, José Luis (2012). *Conocimientos tradicionales, recursos genéticos y expresiones culturales*. Lima: CCADET-UNAM.
- Solleiro, José Luis (2019). Diplomado en Gestión de la Propiedad Intelectual. Ciudad de México: UNAM.
- Stezano, Federico, Mario Morales y Marcela Amaro (2019). "Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos". *Nueva Época*: 17-44.
- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). *UPOV Members Of The International Union For The Protection Of New Varieties Of Plants* [en línea]. Disponible en <https://www.upov.int/edocs/pubdocs/en/upov_pub_423.pdf> (consulta: 2 de marzo de 2018).
- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) (1961). *Convenio Internacional para la protección de Obtenciones Vegetales* [en línea]. Disponible en <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/treaties/es/upov/trt_upov_3.pdf> (consulta: 2 de marzo de 2018)
- World Intellectual Property (WIPO) (2020). *World Intellectual Property Indicators 2020* [en línea]. Disponible en: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2020.pdf>

La responsabilidad social de la biotecnología agrícola en el marco de la convergencia tecnológica

Michelle Chauvet Sánchez Pruneda

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la biotecnología agrícola tiene varios actores: academia, investigadores públicos, investigadores independientes, empresas nacionales y transnacionales con una alta cobertura del mercado mundial. Para algunos países los cultivos genéticamente modificados (GM) han contribuido a la economía local, como es el caso de la soya transgénica que hace años libró a Argentina de una crisis económica por el aumento de su producción y exportaciones, o en Colombia, donde el algodón GM reactivó la producción del cultivo en ese país. No obstante, el proceso de introducción de cultivos GM no ha estado exento de tensiones y conflictos sociales en toda la región latinoamericana. En el caso mexicano, las autoridades competentes en el uso de sus facultades han decidido establecer restricciones a las liberaciones en las diferentes etapas para el cultivo de maíz y consideraciones para la liberación de soya GM. Los nuevos desarrollos con el uso de la edición de genes han abierto la discusión técnica sobre si estos productos caen en los supuestos de la regulación actual vigente para organismos genéticamente modificados, debido a que su fundamento y

práctica son distintas a la transgénesis mediante biotecnología moderna, y el producto resultante no entra dentro de la definición de OGM descrita en los marcos regulatorios. Además, la convergencia de la biotecnología en general y la agrícola en particular con otras tecnologías como la nanotecnología, la inteligencia artificial, la digitalización potencian sus alcances, pero también sus efectos sociales, con lo cual se requiere priorizar la responsabilidad social.

En este capítulo, el objetivo que se plantea es analizar los nuevos desarrollos de la edición genética mediante la técnica de CRISPR Cas9 y su vinculación con otras tecnologías, para evaluar la responsabilidad social y la gobernanza del riesgo en esos desarrollos. Los avances de la biotecnología agrícola van a un ritmo más rápido que las regulaciones (Kuzma y otros, 2016) y ahora este fenómeno se potencia en la convergencia tecnológica. En efecto, la agrobiotecnología en este primer cuarto del siglo XXI se enmarca en lo que se conoce como la agricultura digital, la cual consiste en que las actividades en el predio se ajusten a diversos datos relacionados con las condiciones climáticas, agronómicas, ambientales, así como información económica de precios de mercado, indicadores financieros, entre otros. Todos estos datos mediante información satelital que llega a determinados sensores, maquinaria, drones, de manera que se tiene un seguimiento en tiempo real de suelo, nutrientes, pH, disponibilidad de agua, plantas, animales y humanos (Klerkx *et al.*, 2019). Frente a esta realidad se formuló la siguiente pregunta ¿En qué medida en México se toma en consideración la responsabilidad social y la gobernanza del riesgo de la edición genética para su implementación?

Para dar respuesta a los objetivos y la pregunta de investigación se realizó un análisis de la situación actual en México de las nuevas técnicas de edición de genes, particularmente CRISPR-Cas9. La revisión del marco regulatorio en bioseguridad en México para organismos genéticamente modificados, desde la perspectiva de la responsabilidad social y gobernanza del riesgo permite reflexionar sobre los desafíos a enfrentar. El análisis se complementa con la presentación de los resultados de una encuesta realizada en 2017 a investigadores, re-

guladores, empresarios y estudiantes de posgrado en biotecnología agrícola de México, Colombia y Argentina sobre el uso de esas herramientas y su opinión en cuanto a su conocimiento actual de la técnica y su consideración sobre la implementación de la normatividad en estos avances; así, finalmente, se proponen líneas de acción para el caso de México en el contexto de la actual administración.

EL MARCO DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA INNOVACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de la ciencia hacia la sociedad es un tema cada vez más recurrente en la esfera económica, social y política. La discusión sobre los aspectos éticos y de compromiso de parte de los científicos, hoy día es crucial por los desafíos que presentan los desarrollos científicos y las innovaciones tecnológicas que sostienen un debate sobre la necesidad o no de su regulación. No obstante, no es una preocupación reciente. Desde los inicios de la ingeniería genética la propia comunidad científica alertó sobre los posibles riesgos asociados al uso de ésta. En 1975 se llevó a cabo el Congreso Internacional sobre la Recombinación del ADN en Asilomar, California, donde se previno sobre las preocupaciones ante la posibilidad de que algunas de estas moléculas recombinantes resultaran biológicamente peligrosas y se estableció una moratoria en cuanto al uso de las nuevas técnicas (Berg *et al.*, 1975; Larrión, 2011; Chauvet, 2015; González-Torres, 2018).

De manera tal que se ha abierto una amplio abanico en torno a la gobernanza de la ciencia que va desde una racionalidad demarcativa donde los científicos se autoregulan, como en Asilomar, hasta en el otro extremo una integrativa, que sostiene que los actores sociales debieran de ser incluidos en el proceso de conducción de los proyectos, con el fin de influir en la dirección de la investigación, como fue el caso del proyecto de investigación Stratospheric Particle Injection for Climate Engineering (SPICE) de geoingeniería en el Reino Unido (Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015). Entre estos dos flancos se sitúan las racionalidades reflexiva y contributiva, la primera afirma

que los investigadores deben aprender de los problemas sociales y proveer soluciones, y la segunda, donde la investigación debiera de estar adecuadamente regulada y contar con la participación más activa de la sociedad para asegurar que sus resultados son útiles (Glerup y Horstb, 2014).

Con la implementación de CRISPR Cas9 en la edición de genes (que más adelante se explica), en 2015 se realizó una reunión a iniciativa de los investigadores pioneros de esta tecnología en Napa, California. Como resultado, en la revista *Science* se publicó un artículo pidiendo precaución en las investigaciones de edición genómica, principalmente en líneas germinales (Baltimore, 2015 citado en González-Torres, 2018). Paralelamente, la revista *Nature* (2015) también publicó un número especial sobre CRISPR que incluye artículos relacionados con las preocupaciones sobre gobernanza y bioseguridad de esta nueva técnica (McLeod y Nerlich, 2017 citado en González-Torres, 2018).

La tecnología CRISPR presenta la promesa de beneficio para la sociedad en muchos aspectos. Sin embargo, junto con estas enormes oportunidades vienen los riesgos de seguridad y las preocupaciones éticas (Doudna, 2017; Furrow, 2017; Winickoff, 2017).

En efecto, ante la complejidad tecnológica a la que se ha llegado y el reconocimiento por parte de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología de la construcción social del conocimiento que vincula estrechamente los ámbitos sociales con los científicos y tecnológicos, la regulación de la ciencia no puede restringirse a la comunidad científica en aras de garantizar su autonomía (Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015), de manera tal que cada vez más se impulsan nuevos debates en cuanto a lograr una gobernanza con responsabilidad social entendida como “cuidar el futuro a través de la administración colectiva de la ciencia y la innovación en el presente” (Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015: 1570)

Para lograrlo, a Stilgoe y colaboradores proponen cuatro dimensiones: anticipación, reflexividad, inclusión y capacidad de respuesta que deben verse de una manera integral.

La anticipación busca identificar de antemano las repercusiones más relevantes que aseguren, mediante el conocimiento de las posibles consecuencias, la toma de decisiones responsables en el futuro, y la creación de capacidades para acceder a ellas y forjar una investigación de riesgos socialmente sólida (Stilgoe, Owen y Macnaghten 2015). No obstante, este análisis previo de las probables repercusiones tiene que lidiar con las promesas que luego no se cumplen (Kuiken, Barrangou y Grieger, 2021) o que perfilan resultados que finalmente no se concretan (Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015).

La flexibilidad contribuye a establecer conexiones entre los sistemas de valores externos y la práctica científica, y en ese sentido se vincula con la anticipación porque se revisan los compromisos, supuestos y propósitos de manera consciente, se registran los límites del conocimiento y se reconoce que el enfoque de un aspecto no necesariamente es válido para todas las circunstancias (Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015).

En cuanto a la inclusión se refiere a integrar nuevos actores en la gobernanza de la ciencia, pero no para la simulación que lleve a la legitimización, ya que “la práctica de estos ejercicios de gobernanza inclusiva y su impacto en la formulación de políticas ha sido desigual y ha atraído críticas sustanciales” (Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015: 1571-1572). Para superar este escollo, Stilgoe y coautores recurren a los criterios que brinda Callon: en qué etapa del proceso se consulta al público y cuál es la composición del grupo de discusión; qué tan diverso y representativo es y, por último, el promover la continuidad de la discusión (Callon *et al.*, 2009 citado por Stilgoe, Owen y Macnaghten, 2015).

La cuarta dimensión es la capacidad de respuesta, qué tanto se pueden adaptar las instituciones y los sistemas de innovación para que sean lo más receptivos posible. Para obtener una innovación responsable es imperativo ubicarla en un marco de gobernanza científica que considere tanto los productos como los propósitos de los científicos, innovadores y reguladores.

El enfoque de investigación e innovación responsable ofrece dificultades que han llevado a una escasa aplicación en la agricultura digital, (Eastwood y *otros*, 2019; Opola y *otros*, 2020) sin embargo, el futuro de los sistemas alimentarios está marcado por las tecnologías digitales (Lajoie-O'Malley *et al.*, 2020) lo que justifica la pertinencia de avanzar en las consideraciones sociales y éticas (Novitzky *et al.*, 2020).

LA AGRICULTURA DIGITAL Y LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

La modernización de la agricultura ha avanzado sobre el objetivo de asemejar la actividad primaria lo más posible a un proceso industrial. Actualmente este modelo se ha potencializado con la convergencia tecnológica. En efecto, la robótica ha implementado los drones para diversas prácticas agrícolas, junto con la inteligencia artificial, la biotecnología agrícola, la nanotecnología, la biología sintética, las tecnologías de la información y comunicación (TIC), el procesamiento de múltiples datos conocido como Big Data, los invernaderos de ambiente controlado o agricultura de precisión, todo lo cual ha desembocando en la llamada agricultura digital que coloca al sector primario en un nuevo paradigma productivista y eficiente. Una de las consecuencias de esta nueva revolución tecnológica es la profundización de la exclusión social.

El uso de las innovaciones tecnológicas aplicadas a la agricultura presenta desafíos para campesinos y todos los productores del campo, entre ellos asuntos regulatorios, distribución y transferencia de las tecnologías, dado que se concentran en las grandes empresas, quienes fusionan estas invenciones y controlan el conocimiento y la información. Como sostienen Pablo Lavarello y colaboradores, sería ingenuo pensar que las consultas a determinadas páginas de Internet sobre clima, suelo, asesoría técnica que hacen los productores agropecuarios aportando datos en tiempo real, los beneficien directamente debido a la incapacidad de procesar y valorizar esa información (Lavarello *et al.*, 2019); sin embargo, la nueva generación de agricultores están más familiarizados con la tecnología y el uso de la información

para el trabajo en sus cultivos, ya sea desde bases de datos nacionales o internacionales.

[...] esta nueva oleada de TIC se encuentra asociada, por un lado, a la entrada de grandes grupos de tecnología triunfantes de la expansión de internet de los años 1990 (Google, Facebook, Amazon), y por el otro, grandes incumbentes industriales (General Electric, Siemens) y grupos vinculados al agronegocio (John Deere, AGCO, Monsanto) (Lavarello *et al.*, 2019: 168).

En efecto, sus opciones de selección de datos privilegian a los agricultores de cultivos comerciales y de gran escala de la agricultura industrial cuyo mapeo de datos no les sirve a los productores medianos, pequeños y los orgánicos (Bronson, 2019).

No obstante, los efectos de la digitalización en la agricultura no se limitan a la concentración de información y conocimiento, sino que también repercuten en el empleo de mano de obra para las diversas actividades agropecuarias, considerando que algunas acciones de manejo en el cultivo aun requieren la mano de obra y la experiencia de las personas en campo.

La agricultura digital combina el hardware y el software para realizar determinadas tareas desde el campo hasta la distribución de alimentos con el mínimo requerimiento de mano de obra. Se han automatizado los procesos, y si bien no desaparece la presencia de los humanos, éstos se sitúan en el nivel de programación, planeación y organización y son los robots con sus sensores quienes se dedican a las tareas operativas y rutinarias (Lavarello *et al.*, 2019; Mooney, 2019). De esa manera se obtienen los datos sobre los nutrientes del suelo, la emergencia temprana de enfermedades e incluso los niveles de humedad. Cabe resaltar que algunas de las innovaciones aún no se están comercializando y las que sí están en el mercado han sido adoptadas por un reducido número de grandes empresas de agronegocios.

En la agricultura digital convergen tres paradigmas tecno-económicos, como sostiene Pablo Lavarello: i) el fordista con la metalmeccánica; ii) el de la biotecnología agrícola, y iii) el de las tecnologías de

la información y la digitalización; y es en el tractor de última generación donde se cristaliza la convergencia tecnológica de estos paradigmas (Bronson, 2019; Lavarello, 2020).

La agricultura digital está modificando la manera en que se realizan los agronegocios de los grandes consorcios y la oferta de resultados positivos generados por los datos ha reemplazado la meta de maximizar las ganancias a través de la venta de insumos químicos y de semillas, así lo afirmó en 2018 para el Día Mundial de la Alimentación, Tobias Menne, jefe de agricultura digital en Bayer (Bronson, 2019).

Si bien estas innovaciones en la agricultura logran un uso eficiente de los recursos como son la tierra y el agua, al tiempo que aplican los insumos químicos en la medida exacta que se necesita favoreciendo al ambiente, se correlacionan con predios de grandes superficies, que se dedican al monocultivo lo que afecta a la agrobiodiversidad y, por tanto, no son de alcance generalizado para todos los productores (Bronson, 2019). Para México, si bien la agricultura de precisión ofrece un óptimo uso de los recursos hídricos, de insumos e incluso de semillas, al ser una innovación para grandes predios se profundizará la desigualdad entre productores y la exclusión social.

Para Kelly Bronson, la polarización de los productores en función de las tecnologías agrícolas inteligentes no es simplemente un problema de adopción que comienza con los productores, más bien su investigación sobre los diseñadores de estas innovaciones para la agricultura arrojó el resultado de que las decisiones de diseño y normativas han favorecido la separación entre agricultores ricos y pobres (Bronson 2019).

Si bien la ingeniería genética aplicada a la agricultura, durante la segunda parte del siglo xx se perfiló como una revolución tecnológica al dar paso a la agrobiotecnología moderna con los cultivos genéticamente modificados de primera generación, para el primer cuarto del presente siglo su potencialidad se basa en la convergencia tecnológica que es poderosa, compleja y controversial. En el siguiente apartado se explica la técnica de CRISPR-Cas9.

NUEVAS TÉCNICAS DE INGENIERÍA GENÉTICA APLICADAS A LA AGRICULTURA

El progreso de las técnicas de secuenciación, la disminución en los costos en los análisis genómicos y la obtención de la secuencia completa del genoma de algunos organismos han permitido dilucidar un nuevo panorama, con importantes posibilidades en todas las áreas, llamado edición genómica. Editar el genoma de forma precisa constituye una poderosa herramienta para la investigación en los procesos biológicos que presume rebasar varias de las limitaciones técnicas que presenta la transgénesis, entre ellas las tendientes a la comercialización de productos en un menor tiempo.

Aunque la generación de plantas transgénicas es ahora rutinaria, la integración de información genética foránea solía ser en sitios aleatorios en el genoma. En 1988, se presentó evidencia de integración dirigida en una localización pronosticada en el genoma de la planta huésped (Paszkowski y *otros*, 1988). En los años ochenta, se reportó la modificación específica del genoma en las plantas y durante mucho tiempo se mantuvo al margen de las aplicaciones prácticas de mejoramiento de plantas, esperando optimización en la eficiencia (Paszkowski *et al.*, 1988, Zhang *et al.*, 2020).

La tecnología CRISPR-Cas9, logra justamente eso, identificar un segmento específico de ADN en el organismo y eliminarlo o reemplazarlo, usando siempre las mismas herramientas, generando una nueva secuencia (Doudna y Charpentier, 2014).

En los últimos años, la edición con el sistema CRISPR-Cas9 con el uso de nucleasas ha demostrado el potencial de acelerar la investigación básica, así como el fitomejoramiento, proporcionando los medios para modificar los genomas rápidamente de una manera precisa y predecible (Bortesi y Fischer, 2015, Belhaj *et al.* 2015) que significó el reconocimiento como unos de los máximos hitos en la ciencia, otorgándose en el año 2020 el Premio Nobel en Química por el desarrollo de un método para la edición de genes a Emmanuelle Charpentier, de Max Planck Unit for the Science of Pathogens, en Berlin,

Alemania y a Jennifer A. Doudna, de la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos.

La edición de genomas de plantas sin introducir ADN extraño en las células puede evitar las preocupaciones regulatorias relacionadas con las plantas genéticamente modificadas (Woo *et al.*, 2015). Aunque las tecnologías de edición génica facilitan el cultivo eficiente de plantas sin introducir un transgén, están creando desafíos regulatorios con respecto al estado actual para organismos genéticamente modificados (OGM). Los rápidos avances en el fitomejoramiento por la edición de genomas requieren el establecimiento de una nueva política global para la nueva biotecnología, a la vez que llenan la brecha entre las regulaciones basadas en procesos y en los productos basados en OGM (Araki e Ishii, 2015).

Durante la última década, varias técnicas nuevas de fitomejoramiento (New Plant Breeding Techniques, NPBT) se han desarrollado, utilizando el conocimiento generado en diferentes áreas involucradas en el desarrollo de productos agrícolas, principalmente con estas nuevas técnicas se hace referencias a aquellos desarrollos técnicos en genómica, biología molecular, genética funcional e ingeniería genética que han permitido conseguir nuevas variedades con modificaciones genéticas precisas en las plantas en un mediano plazo, las cuales representan ventajas tecnológicas y hasta regulatorias conforme a las legislaciones existentes. El problema principal, aparte de aspectos técnicos, es la vaguedad de la regulación en relación con estas nuevas técnicas.

Desde la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 2007 un grupo de expertos europeos identificaron ocho nuevas técnicas de mejoramiento en las que llamaban la atención por las ventajas regulatorias que traían consigo sus productos y por el *momentum* en el que estaban en el campo investigativo. Este documento se genera en medio del debate sobre si las plantas resultantes de estas técnicas y sus productos están cubiertas por la legislación sobre OGM. La cobertura de la legislación sobre OGM en el uso de NPBT significa pasar por todo el procedimiento riguroso de la evaluación

de riesgo, los costos asociados a todo el trámite de las autoridades y a los tiempos estipulados para cada etapa del proceso de aprobación de OGM en la Unión Europea (EU) (Hartung y Schiemann, 2014).

La edición del genoma ha revolucionado la manipulación del ADN en eucariotas, permitiendo la mutagénesis precisa de pares de bases individuales, la introducción de inserciones y/o deleciones (indeles), la sustitución de fragmentos de ADN y la conversión de bases de nucleótidos. Los sistemas de edición genómica más frecuentes incluyen ODM (mutagénesis dirigida por oligonucleótidos), TALEN (nucleasas efectoras de tipo activador de la transcripción), ZFN (nucleasas de dedos de zinc) y CRISPR-Cas (repeticiones palindrómicas cortas agrupadas regularmente interespaciadas y proteínas asociadas a CRISPR) (Zhang y otros, 2020). Los experimentos recientes utilizados en la edición de genes de diferentes especies de plantas, animales, microorganismos y otras, incluidos células humanas, se han logrado con una precisión y eficacia sin precedentes (Sankar y Cho, 2016), con aplicaciones en medicina, agricultura y ambiente, entre otras. Este desarrollo técnico también implica riesgos potenciales asociados a la evolución misma de las especies y de la relación de la ciencia con el manejo y conservación de la naturaleza. De esta forma, como ocurre con otras biotecnologías emergentes, el debate sobre la edición de genes se ubica en la interfaz entre la ciencia, la tecnología y la sociedad (Braun y Dabrock, 2016). Aunque a lo largo de muchos años las comunidades científicas y de bioética han estudiado las implicaciones éticas, sociales y de política de la ingeniería genética, especialmente en la era del bioterrorismo, los recientes avances en CRISPR-Cas9 han promovido que esta experiencia ganada soporte los análisis sobre responsabilidad social de esta tecnología (Sankar y Cho, 2016; González -Torres, 2018).

MARCO REGULATORIO EN BIOSEGURIDAD EN MÉXICO: ¿ES APLICABLE?

Las tecnologías de edición de genes están revolucionando las posibles aplicaciones en la agricultura. Permiten la edición rápida de múltiples genes resultando en un organismo editado; sin embargo, en cuanto al marco regulatorio, sobre estas técnicas no se ha avanzado al mismo ritmo y se genera el problema de que las definiciones y los procesos para la regulación se basan en los métodos de biotecnología moderna (Kuzma, Kokotovich y Kuzhabekova, 2016). En ese sentido hay una controversia sobre si estas nuevas tecnologías deben ser reguladas o no bajo los marcos regulatorios actuales. Para iniciar con este análisis, uno de los puntos centrales es la definición actual en diferentes instrumentos regulatorios de OGM; para mejor comprensión se utiliza la del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología Art. 3 inciso g). Por “organismo vivo modificado” se entiende cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna (Protocolo de Cartagena, 2003: 2).

La pregunta central es: ¿qué es lo que se va a regular el producto o el proceso? Si es un producto que se obtuvo mediante la edición de genes, el argumento es que no se trata de un transgénico, y por tanto queda fuera de la regulación, pero si lo que se regula es el proceso, bajo algunas estrategias de desarrollo puede considerarse el uso de elementos transgénicos y, por tanto, queda dentro de la regulación. Sin embargo, el planteamiento de varios reguladores es, si la edición de genes debe ser o no considerada como una modificación al genoma.

La posición de Estados Unidos y de la Unión Europea difiere en cuanto a la evaluación de riesgo de los productos de la biotecnología agrícola. El primero se rige por la equivalencia sustancial, si bien en agosto del 2020 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos implementó nuevas regulaciones para los organismos genéticamente modificados bajo la regla **SECURE** (sustentable, ecológico, consistente, uniforme, responsable, eficiente, por sus siglas en inglés), 99% de

las plantas transgénicas están exentas de pruebas de campo y evaluación de riesgo antes de su comercialización, tampoco hay una revisión por parte de expertos o del público y los desarrolladores podrán auto-determinar si su cosecha de cultivos genéticamente modificados cae en un área exenta de la revisión del USDA-APHIS y puede solicitar una carta de confirmación a dicha oficina. El USDA confirma la producción como funcionalmente equivalente a la existente y de esa manera se ha eximido a más de 100 cultivos transgénicos, incluidos aquellos obtenidos mediante edición de genes, por tanto, la preocupación es que las plantas obtenidas mediante esta técnica también quedarían bajo la regla SECURE y se están reproduciendo las mismas condiciones que llevaron al rechazo de los cultivos GM de primera generación, el proceso no es transparente para el público (Kuzma y Grieger, 2020).

En julio de 2018, la Unión Europea declaró que los organismos generados por mutagénesis, es decir, por edición de genes, son organismos modificados genéticamente al entender que esta técnica altera la genética de los organismos de una forma que no se da en la naturaleza. Estos dos enfoques se pueden resumir en regulaciones basadas en el proceso, como señalan los europeos o regulaciones de producto como se concibe en Estados Unidos. Sin embargo, en los sistemas basados en el producto están bajo el entendido de que el riesgo potencial de éste a la salud humana o al ambiente es una función de sus características, independientemente del método utilizado para su desarrollo, lo que de ninguna manera excluye la aplicación de otras formas de regulación.

En ese sentido, las argumentaciones en torno a la edición de genes se pueden agrupar en las siguientes: *a)* brinda una oportunidad para repensar la supervisión de la biotecnología agrícola y mejorar las regulaciones existentes, *b)* aunque revolucionaria, debería someterse a menos regulación que la biotecnología de primera generación y *c)* esta técnica hace que el proceso de ingeniería sea tan fácil, que el análisis de riesgo y el sistema regulador tal vez no puedan adaptarse a la velocidad del desarrollo y, por lo tanto, se justifica una mayor precaución (Kuzma, Kokotovich y Kuzhabekova, 2016)

Querer eliminar regulaciones en productos obtenidos mediante la edición de genes aduciendo que no hubo introducción de nuevo material genético es incorrecto, porque sí se realizó una intervención al organismo en una cuestión que no tenía antes. Además, se presentan varias implicaciones en la gobernanza de los nuevos desarrollos de la biotecnología agrícola como la potencial dificultad de regular una modificación que es indetectable; los posibles efectos a la salud y al ambiente pueden emerger en el largo plazo, por ejemplo, si se elimina del ecosistema una especie como el mosquito *Anopheles* que transmite la malaria, el dengue y el zika mediante mosquitos transgénicos estériles, con ello se viola el derecho a hacer una elección informada por parte de la población y es una insondable responsabilidad ¿Por qué una empresa o fundación se atribuye la autoridad para eliminar al mosquito?

Actualmente, algunos países lo utilizan como enfoque regulatorio para organismos editados basado en procesos (Unión Europea) o en producto (Canadá, Estados Unidos y Argentina). El panorama para los demás países aún no está finalizado, ya que se encuentran en proceso de análisis, lo cual representa el mayor reto.

La actual gobernanza de la biotecnología agrícola en México descansa en un marco regulatorio inadecuado para las nuevas herramientas descritas, ya que es básicamente para los OGM de primera generación, tal y como se estipula en la ley de bioseguridad. El país es signatario del Protocolo de Cartagena y del *Codex Alimentarius*. El primero regula los avances de la ingeniería genética y se ha pronunciado por la regulación de las plantas modificadas por edición génica, aunque sus lineamientos con relación a la edición de genes, impulsores genéticos y biología sintética están en construcción (Protocolo de Cartagena, 2018); el segundo tiene que ver con la inocuidad de los alimentos.

En el tema de edición genómica, la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibio-gem) durante el 2015 realizó un seminario sobre “Nucleasas sitio di-

rigidas” para iniciar las discusiones entre los reguladores. A la fecha no hay una postura oficial al respecto por parte de este organismo.

La ausencia de un pronunciamiento sobre cuál enfoque adoptar con relación a la edición genómica por parte de México pone al país en una situación de vulnerabilidad y lo acerca a un caso de gobernanza subordinada en la que las reglas internacionales de funcionamiento y las normas técnicas se reproducen en el estrecho marco regulatorio mexicano, sin emanar de la realidad nacional (Anzaldo y Chauvet, 2016). La indefinición ha generado un vacío que puede ser ocupado por las empresas biotecnológicas, en lugar de que sea por los formuladores de políticas públicas, si se toma en consideración los compromisos adquiridos por México en el T-MEC, en el capítulo tres sobre agricultura, en el inciso B dedicado a la biotecnología agrícola, se estipula que las Partes alentarán la innovación agrícola y

Para reducir la probabilidad de perturbaciones en el comercio de productos de la biotecnología agrícola: (a) cada Parte continuará fomentando a los solicitantes a presentar solicitudes oportunas y concurrentes a las Partes para la autorización, en caso de ser requerida, de productos de la biotecnología agrícola” (Gobierno de México, 2019: 8).

Es así como México está en una encrucijada o toma en consideración la normatividad del Protocolo de Cartagena sobre la regulación de OVM producto de la edición de genes o cumple con el T-MEC que busca fomentar y promover el comercio de productos agrícolas derivados de la ingeniería genética, sin reparar en el proceso.

Las empresas biotecnológicas ofrecen sus innovaciones, pero no necesariamente corresponden a lo que los productores y consumidores de México requieren (Chauvet y Lazos, 2014). La investigación e innovación responsables (RII) exigen cuestionar las decisiones tomadas por los diseñadores de tecnologías no solo sobre lo que son capaces de hacer sino, normativamente, sobre lo que las tecnologías deberían hacer y para quién (Bronson, 2019).

En el año 2020, la Cámara de Diputados de México organizó un foro en línea sobre “Biotecnología, impactos futuros en el país”. Este espacio fue convocado por la Comisión de Ciencia, Tecnología e Innovación, en colaboración con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. El doctor Alfredo Herrera Estrella resaltó que la agricultura del futuro depende en gran medida de las variedades que se puedan obtener a través de la modificación del ADN, reconoce la importancia de los avances en el tema y la importancia en los proyectos de secuenciación que permiten encontrar las diferencias en unas cuantas bases en el genoma que facilitan la precisión de la edición; sin embargo, hizo hincapié en el riesgo en el que se está, al no tener en el país desarrollo de la biotecnología, de caer en el rezago tecnológico y científico cada vez mayor en la dependencia tecnológica e importación de tecnologías no *ad hoc* a nuestras condiciones (Herrera, 2020).

Para que la sociedad tenga certeza o confianza en que la edición de genes maximice los beneficios y minimice los riesgos, se requiere de la regulación de esta nueva herramienta con un sistema de supervisión adecuado y que la construcción de la gobernanza se dirija hacia la responsabilidad social de la investigación y la innovación. Es cierto que como afirma Busch (2011), los estándares están íntimamente conectados con el poder, que a menudo sirven para empoderar a algunos y desempoderar a otros y que es un desafío que superar al construir un marco regulatorio actualizado de bioseguridad para México.

Para el ejercicio de la responsabilidad social de la innovación, un aspecto en el que se ha puesto énfasis es en la inclusión de diversos actores con formaciones disciplinarias diferentes que incluyan a las ciencias sociales a los biotecnólogos, los desarrolladores de tecnología, los reguladores hasta los posibles beneficiarios o afectados de estas nuevas tecnologías; de esa manera la evaluación de riesgo sería socialmente más sólida (Busch, 2011; Stilgoe, Owen y Macnaghten 2015; Chauvet, 2015; González-Torres 2018; Bronson 2019; Delborne, Kokotovich y Lunshof 2020; Kuzma y Grieger, 2020).

Para ganar una mayor confianza y transparencia del público, así como mejorar la capacidad de rastrear plantas editadas genéticamente que ingresan al mercado, proponemos una coalición de “gobernanza responsable y dirigida por la comunidad” (Clear-Gov) y un proceso de certificación para desarrolladores de cultivos biotecnológicos basados en el intercambio transparente de información sobre los usos comerciales actuales y previstos de las variedades de cultivos biotecnológicos (Kuzma y Grieger, 2020: 916).

Para completar la discusión sobre la regulación es importante retomar las cuatro dimensiones planteadas al inicio del capítulo sobre la responsabilidad social de la innovación. En el caso mexicano, desafortunadamente ésta no se ha dado desde el comienzo de la comercialización de los OGM.

La anticipación de las posibles consecuencias de la introducción de maíz GM al centro de origen de este cereal vía las importaciones de maíz amarillo de los Estados Unidos no se evaluó con antelación y repercutió en las variedades nativas de maíz; lo mismo ha sucedido con el algodón GM y los algodones silvestres. La reflexibilidad y la inclusión tampoco se han ejercido en el caso de la biotecnología agrícola, pero en lo que más adolece México es en su capacidad de respuesta ante los potenciales riesgos, ésta o no se ha dado o si se ha llegado a dar ha sido tardía (Chauvet, 2015). En la actual administración es sumamente preocupante que la respuesta a las consecuencias de las nuevas técnicas de la ingeniería genética no esté en la agenda de bioseguridad, y lo que es peor aún, se ha afectado la construcción de capacidades al no cumplirse la promesa por tantos años pospuesta de destinar 1% del PIB a ciencia y tecnología. Si el país carece de formación de recursos humanos en materia de bioseguridad queda en una situación muy vulnerable, y para ello se requiere de la formación de biotecnólogos, reguladores y funcionarios para llevar a cabo las evaluaciones de riesgo con ética y compromiso social acorde con las necesidades de México.

El gobierno actual se ha caracterizado por el desmantelamiento de las instituciones y de la capacidad técnica, el caso de la bioseguridad no es la excepción. En febrero del 2019, la senadora Ana Lilia Rivera, del Grupo Parlamentario Morena, turnó a las comisiones de Ciencia y Tecnología y de Estudios Legislativos una iniciativa de ley para reemplazar la Ley de Ciencia y Tecnología vigente, y que también reforma, adiciona y deroga diversos artículos de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). De esta última no toca los problemas de mayor urgencia, solo plantea su asimilación por parte de Conacyt de la CibioGem sólo con la intención de centralizar las decisiones.

EL USO DE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE EDICIÓN GENÉTICA EN MÉXICO, COLOMBIA Y ARGENTINA

En el campo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología se afirma que la tecnología es una construcción social que da lugar a un andamiaje sociotécnico en el que confluyen personas, procesos y artefactos, por ello, se consideró pertinente seguir a los actores en tres países de América Latina en cuanto a su percepción y opinión sobre la edición de genes y los alcances de su regulación, al tratarse de una técnica nueva y con gran potencial, pero de la cual se carecía de información directa.

Es así como Rosa Inés González Torres llevó a cabo su investigación doctoral sobre la edición genómica y la regulación, y en 2017 realizó una encuesta a investigadores, reguladores, empresarios y estudiantes de posgrado en biotecnología agrícola de México, Colombia y Argentina sobre el uso de esas herramientas, lo que aporta un escenario sobre el tema en la región latinoamericana y los desafíos que enfrenta en cuanto a la responsabilidad social (González-Torres, 2018).

La encuesta fue diseñada y puesta en línea a través de la plataforma SurveyMonkey; en total se encuestó a 169 personas de México, Colombia, Argentina y de otros países que quisieron colaborar con el

envío de información, el cuadro 1 muestra la descripción de los encuestados:

La mayoría de éstos tenían el grado de doctorado 37.28%, 28.4% maestría, 28.99% licenciatura y 5.33% de especialidad.

Durante los tres meses que estuvo disponible en línea la encuesta, en ese momento solo 6.80% de los encuestados utilizaba la tecnología, y de esos, 50% empezó a trabajar con CRISPR-Cas9 durante 2015; sin embargo, uno de los encuestados estaba trabajando en el tema desde 2002, dos desde 2013 y 2014, respectivamente. Es interesante notar que 21.09% declaró en 2017 que la usaría o quisiera usarla en los próximos dos años. Lo anterior permite observar que la herramienta y su aplicación se perciben fáciles por parte de esos encuestados (González-Torres, 2018).

Conforme a la literatura, el sistema CRISPR-Cas9 reúne muchas características que pueden ser identificadas como ventajas técnicas durante el proceso de mejoramiento genético, los encuestados identificaron las siguientes: relación costo-precisión-tiempo y menor tiempo, afirmaron también que es una técnica más sencilla y requiere poca infraestructura.

En cuanto a las principales desventajas percibidas que tiene el sistema CRISPR-Cas9, el cuadro 2 muestra los resultados obtenidos, los investigadores consideran que las mayores ventajas son que el sistema no representa mayor complejidad tecnológica ni en infraestructura requerida para poner en marcha algún proyecto, o no exige mayores habilidades, experiencia y capacitación técnica:

Cabe resaltar que los aspectos relacionados a propiedad intelectual y licencias de comercialización se perciben como desventaja, lo que se puede interpretar como que entre las prioridades de los investigadores no están los aspectos normativos y de regulación. Esta afirmación se observa con los datos de la gráfica 2 donde se revela que 81% de los encuestados no sabe si en sus países existe una legislación que, en su ámbito de aplicación, establezca disposiciones concretas sobre el producto de mejoramiento genético utilizando edición genómica; sólo 19% mencionó que sí saben que existe alguna legislación inter-

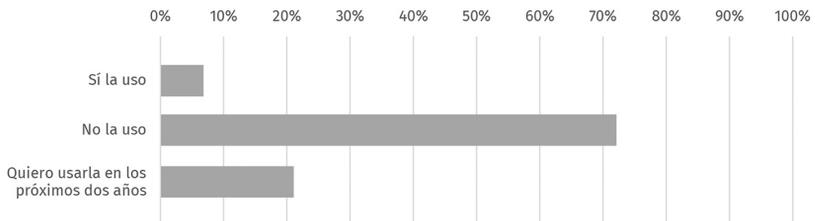
nacional (instrumento legal) que establece disposiciones específicas sobre el proceso de mejoramiento genético (de plantas o animales) utilizando edición genómica que incluya el sistema CRISPR-Cas9.

CUADRO 1
DESCRIPCIÓN DE LOS ENCUESTADOS POR PAÍS Y SECTOR

País	%	Sector	Número	Porcentaje
México	47.34	Gobierno	35	20.71
Colombia	22.49	Inst. de inv. pública	44	26.04
Argentina	13.02	Inst. de inv. privada	6	3.55
Otros	17.16	Inst. de inv. internacional	8	4.73
		ONG	5	2.96
		Empresa	21	12.43
		Académico universitario	42	24.85
		Otro	8	4.73

FUente: González-Torres, 2018.

GRÁFICA 1
UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA POR PARTE DE LOS ENCUESTADOS (2017)



Fuente: González Torres, 2018

Otro tema relevante que arrojó la encuesta es que 54% de los encuestados considera que la capacidad en evaluación del riesgo puede extrapolarse; 42,7% considera que a nivel mundial se ha avanzado y generado experiencia para la evaluación del riesgo de los OGM de primera generación, sin embargo, la asociada al sistema CRISPR-Cas9, es una capacidad por construir, tal y como se plantea en el cuadro 3.

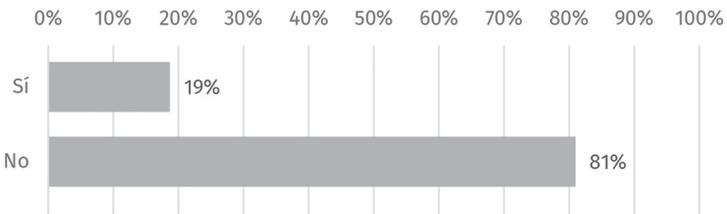
CUADRO 2
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE LA TÉCNICA CRISPR-CAS 9

Escala de valoración: 5 corresponde a la característica
que representa una mayor desventaja.

Características sugeridas en la pregunta	1	2	3	4	5	Total de encuestados
Complejidad tecnológica	23.36%	28.04%	28.97%	13.08%	6.54%	107
Infraestructura	27.36%	22.64%	33.96%	9.43%	6.60%	106
Exige mayores habilidades, experiencia y capacitación técnica	20.56%	22.43%	28.97%	17.76%	10.28%	107
Propiedad intelectual	16.04%	16.04%	19.81%	33.02%	15.09%	106
Licencias de comercialización	18.10%	19.05%	19.05%	28.57%	15.24%	105

Fuente: González-Torres, 2018

GRÁFICA 2
CONOCIMIENTO SOBRE LA REGULACIÓN EN SU PAÍS DE LA TÉCNICA CRISPR- CAS9



Fuente: González-Torres, 2018.

CUADRO 3
GRADO DE EXPERIENCIA A NIVEL MUNDIAL EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ASOCIADA AL SISTEMA CRISPR-CAS9

Opciones de respuesta	Porcentaje de respuesta	Total de respuestas
Alta	6.8%	7
Suficiente	18.4%	19
Baja	42.7%	44
Nula	2.9%	3
No lo sé	20.4%	21
No es necesario: el proceso y los productos de esta técnica no deben ser regulados	8.7%	9
	Respuestas recibidas	103
	Respuestas omitidas	66

Fuente: González Torres, 2018

Ante una pregunta fundamental para el tema que nos ocupa y que atañe al libro en su conjunto que es la importancia que revisten las consideraciones socioeconómicas y éticas en la evaluación de riesgo, en opinión de los encuestados, 11.5% afirma que no deben ser incorporadas, frente a 31.1% que sostiene que deben estar incluidas de una manera *ad hoc*. Para otro grupo el argumento es que debe ser a juicio de los reguladores o de los marcos regulatorios de los diversos países, tal y como se muestra en el cuadro 4.

CUADRO 4
INCLUSIÓN DE LAS CONSIDERACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS
Y ÉTICAS EN LA REGULACIÓN DE LA EDICIÓN TENÓMICA

Opciones de respuesta	Porcentaje de respuesta	Total de respuestas
Las consideraciones sociales, económicas o éticas deben estar incluidas de una manera <i>ad hoc</i> , o caso por caso, en el sistema de toma de decisiones.	31.0%	35
Las consideraciones sociales, económicas o éticas deben ser consideradas como información adicional y complementaria, no debe ser una medida explícita en el sistema de toma de decisiones.	22.1%	25
Las consideraciones sociales, económicas o éticas de hecho están incluidas a través del marco regulatorio existente.	9.7%	11
Sera decisión del regulador o tomador de decisión a qué información allegarse.	3.5%	4
Cada país decide sobre los elementos que considera importantes en la toma de decisiones.	15%	17
No deben estar incluidos.	11.5%	13
Otro (especifique) o comentario.	7.1%	8
Respuestas obtenidas.	113	
Respuestas omitidas.	56	

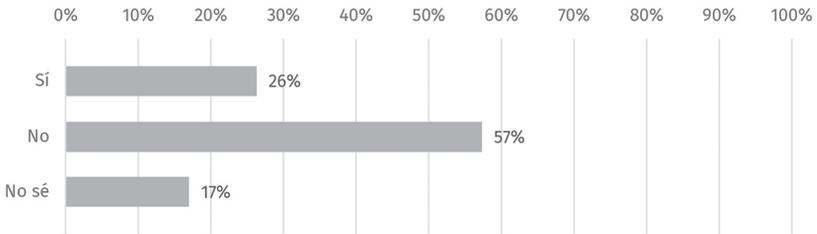
Fuente: González Torres, 2018

En el caso de las funciones de los Comités de Ética en las instituciones de investigación, es interesante observar como 13.27% no está directamente involucrado con los desarrollos en mejoramiento genético agrícola; sin embargo, 48.67% de la Comisión de Ética sí realiza revisión de los proyectos de investigación y/o revisión de los resultados de éstos.

En cuanto a la existencia en las instituciones científicas, particularmente de reglamentos de bioseguridad en la realización de las

investigaciones, 59.26% de los encuestados sí posee dicho marco regulatorio interno. Sin embargo, la figura nos muestra como 57% de las personas que participaron en la encuesta consideran que la auto regulación por parte de los investigadores no es suficiente para evitar los posibles riesgos o consecuencias no deseadas del sistema CRISPR-Cas9, como menciona el encuestado #83: “Está demostrado que siempre es mejor contar con Comités que den forma colegiada y orienten el rumbo de todos hacia un objetivo común en materia de ética y conducta” y el encuestado #169 sostuvo que “Es muy poco fiable”.

GRÁFICA 3
LA AUTOREGULACIÓN POR PARTE DE LOS INVESTIGADORES
COMO MECANISMO SUFICIENTE PARA EVITAR LOS POSIBLES RIESGOS
O CONSECUENCIAS NO DESEADAS DEL SISTEMA CRISPR-CAS9



Fuente: González-Torres, 2018.

Entre otros, se identifican retos asociados a aspectos en monitoreo y vigilancia, en donde la detección sería punto clave. El acceso a la información de las variedades liberadas representa una de las preocupaciones de la sociedad, en términos de estabilidad y cambios fuera de objetivo. Por otro lado, a los investigadores les preocupan los costos asociados al escrutinio regulatorio, la falta de experiencia de los reguladores en el tema en caso de que sean regulados, que no se logre el desarrollo tecnológico por bloqueos o limitaciones regulatorias.

CONCLUSIONES

El análisis del tema sobre la responsabilidad social en cuanto a la regulación en México permite responder la interrogante que se formuló al inicio, y desafortunadamente en el marco regulatorio de bioseguridad de la biotecnología moderna no se ha tenido un enfoque de responsabilidad social por parte de los diferentes actores de la red sociotécnica. Lo que es más preocupante es la merma en la capacidad de respuesta, toda vez que se han restringido los recursos para el desarrollo de la ciencia y la tecnología y se carece de políticas públicas adecuadas que se dirijan a paliar la exclusión social.

De los resultados que arroja la encuesta se desprende que una tarea pendiente es involucrar a los investigadores en las consideraciones sociales y éticas porque no están en su universo de prelacones y ello no abona a un marco regulatorio integral.

Los investigadores nacionales, así como empresas de innovación tipo *startups* están en espera de una mayor claridad en cuanto al enfoque regulatorio (producto o proceso) por parte de las autoridades competentes. Es importante mencionar que de aceptarse el escenario de una regulación más estricta y costosa hacia los OGM, muchos de estos desarrollos podrán no llegar a la aplicación y serán las grandes empresas las que sí puedan cumplir con esa normativa. Como ya se mencionó, la fijación de estándares tiende a propiciar la desigualdad entre actores.

Los recientes avances en edición genómica han exhibido la necesidad de construir y fortalecer capacidades técnicas en cuanto proceso y aplicación de la tecnología para los reguladores y funcionarios asociados en áreas de monitoreo y vigilancia, así como estrechar la relación de análisis con los órganos consultivos y comités científicos y técnicos alojados en la Cibioem, a fin de colaborar en el entendimiento de las tecnologías y sus aplicaciones a nivel técnico, social y económico para la sociedad, fortaleciendo la toma de decisión informada por parte de las autoridades.

Ante el contexto planteado de convergencia tecnológica en la cual está inscrita la biotecnología agrícola contemporánea la complejidad de la regulación es mayor porque la agricultura digital comprende los mencionados paradigmas tecno-económicos que tienen sus propias lógicas. Esto lleva a cuestionar la integración de las actividades de bioseguridad a las tareas del Conacyt, dado que aquella reviste una gran multiplicidad de aspectos hasta ahora no se han abordado como es la edición de genes que garantice su uso seguro para la salud y el ambiente. El Conacyt no cuenta con las instancias y las capacidades para esa tarea, más que eliminar a la CibioGem, ésta debiera de transformarse y fortalecerse frente a los retos que representa la convergencia tecnológica: biología sintética, inteligencia artificial, robótica, nanotecnología y no circunscribirse a la biotecnología agrícola. Esta necesidad es imperativa si tomamos en cuenta el marco del T-MEC que da entrada a los consorcios más poderosos en estas nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzaldo, Mónica y Michelle Chauvet (2016). "Technical standards in nanotechnology as an instrument of subordinated governance: Mexico case study". *Journal of Responsible Innovation* 3, núm. 2: 135-153.
- Araki, M., y T. Ishii (2015). "Towards social acceptance of plant breeding by genome editing". *Trends in plant science* 20 (3): 145-149.
- Belhaj, Khaoula, Angela Chaparro-Garcia, Sophien Kamoun, Nicola J Patron, y Vladimir Nekrasov (2015). "Editing plant genomes with CRISPR/Cas9. *Current opinion in biotechnology* 32: 76-84.
- Berg, P., D. Baltimore, S. Brenner, R.O. Roblin, y M.F. Singer (1975). "Summary statement of the Asilomar conference on recombinant DNA molecules". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 72: 1981-1984.
- Bortesi, Lisa y Rainer Fischer (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology advances* 33 (1): 41-52.
- Braun, Matthias y Peter Dabrock, P. (2016). "I bet you won't": The science-society wager on gene editing techniques". *EMBO reports*, vol. 17, núm. 3: 279-280.

- Bronson, Kelly (2019). "Looking through a responsible innovation lens at uneven engagements with digital farming". *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 90-91: 1-6.
- Busch, Lawrence (2011). *Standards. Recipes for Reality* (4): 94-97. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Chauvet, Michelle (2015). *Biotecnología: UAM*, México.
- Chauvet, Michelle y Elena Lazos (2014) "El maíz transgénico en Sinaloa: ¿tecnología inapropiada, obsoleta o de vanguardia? Implicaciones socioeconómicas de la posible siembra comercial". *Sociológica*, núm. 82: 7-44.
- Delborne, Jason A., Adam E. Kokotovich, y Jeantine E. Lunshof (2020). "Social license and synthetic biology: the trouble with mining terms". *Journal of Responsible Innovation* 7 (3): 280 - 297.
- Doudna, Jennifer (2017). "Rewriting the Code of Life: CRISPR Technology and Its Impact on the Future of Humanity". *The National Catholic Bioethics Quarterly*, 17 (1): 37-41.
- Doudna, J. A. y E. Charpentier (2014). "The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9". *Science*, 346 (6213), 1258096 [en línea]. Disponible en: <<http://www.sciencemag.org/content/346/6213/1258096.short>> (consultado en marzo de 2015).
- Eastwood, C., L. Klerkx, M. Ayre y B. Dela Rue (2019) "Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation". *Journal of Agriculture and Environmental Ethics* 32: 741-768.
- Furrow, Barry R. (2017). "The CRISPR-Cas9 Tool of Gene Editing: Cheaper, Faster, Riskier?". *Annals Health* 26: 33.
- Glerup, Cecilie y Maja Horstb (2014). "Mapping 'social responsibility' in science". *Journal of Responsible Innovation*: 31-50.
- Gobierno de México (2019). *Textos finales del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC)* [en línea]. Disponible en <<https://www.gob.mx/t-mec/acciones-y-programas/textos-finales-del-tratado-entre-mexico-estados-unidos-y-canada-t-mec-202730?state=published>> (consulta 23 de agosto de 2021).
- González-Aguirre, Rosa Luz (2004) *La biotecnología agrícola en México: efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad*. Ciudad de México: UAM.
- González Torres, Rosa Inés (2018). "Entre el Ser o no Ser OGMS: Edición genómica mediante CRISPR/Cas9 Regulación y mejoramiento genético en plantas, la redefinición del concepto de organismo genéticamente modificado". Tesis doctoral. Ciudad de México: Departamento de Sociología, UAM-Azcapotzalco.
- Hartung, Frank. y Joachim Schiemann. (2014). "Precise plant breeding using new genome editing techniques: opportunities, safety and regulation in the EU". *The Plant Journal* 78 (5): 742-752.

- Herrera, Alfredo (2020) "La biotecnología en la seguridad alimentaria" Foro: Biotecnología, impactos futuros en el país de la Comisión de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Cámara de Diputados, en colaboración con el CINVESTAV [en línea]. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=4LNcnXw3ABs>> (consultado 10 de febrero de 2021).
- Klerkx, Laurens, E. Jakkub y P. Labarthe (2019). "A Review of Social Science on Digital Agriculture, Smart Farming and Agriculture 4.0: New Contributions and a Future Research Agenda". *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>> (consultado 10 de febrero 2021).
- Kuiken, Todd, Rodolphe Barrangou y Khara Grieger (2021). "(Broken) Promises of Sustainable Food and Agriculture through New Biotechnologies: The CRISPR Case." *The CRISPR Journal*: 25-31.
- Kuzma, Jennifer, Adam Kokotovich y Aliya Kuzhabekova (2016). "Attitudes towards Governance of Gene Editing." *Asian Biotechnology and Development Review*: 69-92.
- Kuzma, Jennifer y Khara Grieger (2020). "Community-led governance for gene-edited crops". *Science*: 916-918.
- Larión, Jósean (2011). "Historia de las reuniones de Asilomar. Éxitos y fracasos de la autorregulación en las comunidades tecnocientíficas". *Revista Digital de Sociología*. Universidad Pública de Navarra 1 (1): 63-82.
- Lavarello, Pablo (2020). "Convergencia tecnológica y estándares en la industria de la maquinaria agrícola: estrategias empresariales y desafíos para las empresas locales". Seminario Internacional. Digitalización, cadenas globales de valor e impactos en los sistemas productivos. Ciudad de México: Flacso, 29 de octubre [en línea]. Disponible en <<https://www.youtube.com/watch?v=9SBjsYQmGBI>> (consultado 16 de enero de 2020).
- Lavarello, Pablo, Damián Bil, Regina Vidosa y Federico Langard (2019). "Reconfiguración del oligopolio mundial y cambio tecnológico frente a la agricultura 4.0: implicancias para la trayectoria de la maquinaria agrícola en Argentina". *Ciclos en la historia, la economía y la sociedad xxvi*, (53): 163-193. [en línea] Disponible en <<https://ojs.econ.uba.ar/index.php/revistaCICLOS/article/view/1614>> (consultado el 11 de febrero de 2021).
- Lajoie-O'Malley, Alana, Kelly Bronson, Simone van der Burg y Laurens Klerkx (2020). "The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents". *Ecosystem Services*, vol. 45: 101-183
- Mooney, Pat (2019). *La insostenible agricultura 4.0. Digitalización y poder corporativo en la cadena alimentaria*. Grupo ETC. Ciudad de México, Berlín: Grupo ETC, Global Change, INKOTA, Fundación Rosa-Luxemburg-Stiftung.
- Novitzky, Peter, Michal J. Bernstein, Vincent Blok, Robert Braun, Tung Tung Chan, Wout Lamers, Anne Loeber, Ingeborg Meijer, Ralf Lindner y Erich

- Griessler (2020). "Improve Alignment Of Research Policy And Societal Values". *Science*, vol. 369, núm. 6499: 39-41
- Opola, Felix, Laurens Klerkx, Cees Leeuwis y Catherine W. Kilelu (2020). "The Hybridity of Inclusive Innovation Narratives Between Theory and Practice: A Framing Analysis". *The European Journal of Development Research* 33: 626-648.
- Paszkowski, J., M. Baur, A. Bogucki e I. Potrykus (1988). "Gene targeting in plants". *The EMBO Journal* 7 (13): 4021.
- Protocolo de Cartagena (2003) "Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología". Convenio sobre la Diversidad Biológica. Cartagena, Colombia.
- Protocolo de Cartagena (2018) "Seguridad de la biotecnología: prioridades estratégicas para la adopción de medidas concretas. Decisiones de la novena reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica que actúa como reunión de las Partes en el Protocolo de Cartagena sobre Biotecnología". Sharm El-Sheikh, Egipto, 17-29 noviembre [en línea]. Disponible en <<http://bch.cbd.int/protocol/publications/cp-mop-09-decision-booklet-es.pdf>> (consultado el 23 de agosto de 2021).
- Sankar, Pamela y Mildred Cho (2016). "Engineering values into genetic engineering: A proposed analytic framework for scientific social responsibility". *The American Journal of Bioethics* 15 (12): 18-24.
- Stilgoe, Jack, Richard Owen, y Phil Macnaghten (2015). "Developing a framework for responsible innovation". *Research Policy* 42: 1568 – 1580.
- Winickoff, David (2017). "Public acceptance and emerging production technologies". *The Next Production Revolution*, OECD Publishing Capítulo 8. 277-298.
- Woo, J. W., J. Kim, S.I. Kwon, C. Corvalán, S.W. Cho, H. Kim y J.S. Kim (2015). "DNA-free genome editing in plants with preassembled CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins". *Nature biotechnology*: 1162-1164.
- Zhang, Debin, Amjad Hussain, Hakim Manghwar, Kabin Xie, Shengson Xie, Shuhong Zhao, Robert M, Larkin, Ping Qing, Shuangxia Jin y Fang Ding (2020). "Genome editing with the CRISPR-Cas system: An art, ethics and global regulatory perspective". *Plant Biotechnology Journal* 18 (8): 1651.

Biotecnología y propiedad intelectual en México. ¿Existe algún sistema *sui generis* para proteger los derechos colectivos?

Arcelia González Merino

INTRODUCCIÓN

Las patentes y derechos de obtentor que actualmente se otorgan en biotecnología agrícola son, desde su origen, motivo de gran controversia, se cuestionan, entre otros aspectos, que se otorguen derechos sobre un ser vivo que se aísla de la naturaleza. Sin embargo, difícilmente se cuestiona, desde el ámbito científico y tecnológico, la existencia del sistema de propiedad intelectual asociado al desarrollo de la tecnología.

Hasta principios del siglo XXI, el desarrollo de la propiedad intelectual sobre la materia viva había evolucionado hasta lograr la globalización del propio sistema, a través del Acuerdo sobre los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (AdpiC) que logra establecer estándares internacionales en materia de propiedad intelectual. Específicamente, dentro del desarrollo de la biotecnología agrícola moderna, se ha logrado un gran avance, lo cual se expresa en que se ha generalizado, a nivel internacional, la protección de

variedades vegetales, utilizando el sistema UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales), vía UPOV 78 o 91.

México es parte del Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica (actualmente Tratado Integral y Progresivo de Asociación Transpacífico o TPP-11) y del Tratado México-Estados Unidos Canadá (T-MEC), lo cual lo compromete a adscribirse a UPOV 91. México es también país miembro de UPOV 78 y la adscripción a UPOV 91 pone en riesgo los derechos de los pequeños agricultores y comunidades locales, ya que limita el uso propio de los campesinos y el intercambio de semillas.

El objetivo del presente trabajo pretende analizar cómo atenta la adscripción a UPOV 91 los derechos colectivos de pequeños agricultores y comunidades locales indígenas. Pretende también plantear la propuesta de un sistema de protección alternativo, que pudiera permitir proteger aquellas variedades que representen parte de la seguridad alimentaria de México.

La pregunta de investigación es ¿existe algún sistema de protección alternativo para proteger los derechos colectivos de las pequeños productores agrícolas y comunidades locales sobre sus semillas ante la adscripción a UPOV 91?

La metodología utilizada fue la revisión documental actualizada de los temas a tratar, la aplicación de entrevistas (vía remota) semi-estructuradas a diferentes actores clave y la sistematización de estas entrevistas.

MODERNIDAD, TECNOLOGÍA Y RESISTENCIA

Históricamente, el concepto de Modernidad se ha asociado con el desarrollo de la tecnología, de manera tal que el desarrollo de ésta ha permitido arribar a una etapa moderna en donde es posible la automatización de ciertos procesos productivos; la disminución del tiempo de trabajo y la posibilidad de tiempo libre para actividades creativas y recreativas; la posibilidad de atender la escasez de alimentos y el hambre a nivel mundial, etcétera.

La Modernidad, por consiguiente, se ha asociado al desarrollo de la Revolución Industrial y con ella al arribo del capitalismo en la historia de la humanidad. El surgimiento de la Modernidad se asocia al siglo XVI, cuando inicia el capitalismo en el que prevalece el comercio como la actividad central para incrementar las ganancias de la clase capitalista. Desde esta perspectiva, la esencia del sistema capitalista es la obtención de ganancias crecientes sin considerar como prioridad la atención a problemas de hambre en el mundo o posibilitar la disminución del tiempo de trabajo para una mejor calidad de vida. La Modernidad significa, por un lado, un desarrollo tecnológico con grandes ventajas en muchos ámbitos de la vida humana, pero, por otro lado, y dado que se desarrolla a la par de un sistema donde priorizan los intereses privados y el objetivo de incrementar las ganancias de forma ilimitada, pareciera ser una era que sigue vigente, aunque sin posibilidad de explotar todos los beneficios de lo que es esencial en la Modernidad: el desarrollo tecnológico.

La categoría de Modernidad, sin embargo, también se ha analizado desde una perspectiva diferente. Bolívar Echeverría es uno de los autores que ha analizado a la Modernidad señalando que ésta puede ser examinada como un proyecto civilizatorio en el que se posibilita la recomposición del vínculo entre el hombre y la naturaleza, entre el individuo singular y el colectivo. Desde la perspectiva de Bolívar Echeverría, la Modernidad no surge con el capitalismo, sino previamente, a comienzos del segundo milenio, en la Edad Media. La Modernidad capitalista, sin embargo, es una realidad y desde el siglo XVI hasta nuestros días, lo que ha predominado es un desarrollo tecnológico inusitado, en donde tecnologías de punta como la biotecnología moderna posibilitan la solución a grandes problemas de salud, pero también presentan graves riesgos para el medio ambiente, la conservación de la biodiversidad y la propia salud. La Modernidad capitalista significa grandes avances en la ciencia en todos los niveles, pero también implica los intereses de poder y control de las grandes empresas transnacionales, los cuales predominan sobre los intereses colectivos de la población en general.

Bolívar Echeverría plantea el concepto de “ethos barroco”. Señala que, ante esta situación de Modernidad capitalista, donde el interés privado y de lucro predomina sobre cualquier otro, se despliegan acciones de resistencia, en donde se “rescata en lo imaginario la razón de ser de la totalidad cualitativa del mundo de la vida (Díaz *et al.*, 2009).

Desde la perspectiva de este trabajo, el concepto de “ethos barroco” de Bolívar Echeverría se puede retomar para plantear que es posible analizar el desarrollo de la biotecnología moderna, reconociendo la contradicción que existe actualmente entre el avance contundente de esta tecnología, que posibilita la solución a muchos problemas de salud, medio ambiente, entre otros, pero predomina el interés privado de enriquecimiento por parte de los Estados más industrializados junto con el de las grandes empresas transnacionales.

Existen movimientos de resistencia, sin embargo, que se expresan en los movimientos de organizaciones no gubernamentales, de campesinos y ambientalistas, que están luchando por tener un desarrollo tecnológico que se encuentre en armonía con la naturaleza y con los derechos colectivos de comunidades campesinas e indígenas.

LA PROPIEDAD INTELECTUAL. EL DILEMA DE LOS BIENES COMUNES Y LOS DERECHOS DE PROPIEDAD PRIVADA

Desde sus orígenes, el desarrollo de la propiedad intelectual ha sido impulsado con la finalidad primordial de incentivar la innovación. Con el desarrollo de tecnologías de punta como la biotecnología moderna, sobre todo a partir de la década de los años ochenta del siglo xx, se ha intensificado la idea de que los derechos de propiedad intelectual fomentan la innovación, la investigación y con ellas el beneficio para la humanidad.

Existen también expertos en la materia que, desde una perspectiva ética y filosófica, consideran que la propiedad intelectual promueve la protección de la propiedad privada vinculada al poder de unos pocos, por lo que, desde una perspectiva de justicia, su funcionamiento debería ser limitado (Drahos, 1995).

La propiedad intelectual, sin embargo, fundamentalmente protege derechos privados. La necesidad de cuidar y proteger los bienes comunes, como el medio ambiente, la diversidad biológica, el agua, los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación quedan relegados, en gran medida priorizando las reglas de protección de la propiedad intelectual.

Este trabajo coincide con las reflexiones teóricas de Ariel Fazio, el cual cuestiona a los defensores de la propiedad intelectual, aseverando que ni al individuo ni a todo un grupo se le puede considerar como productores legítimos o únicos de la ciencia o de la técnica, por lo que debe reconocerse la herencia cultural común, fundamental en la producción de la ciencia (Fazio, 2018).

Pero ¿cuál es el dilema de cuidar los bienes comunes dentro del actual sistema global capitalista?

La “tragedia de los comunes” y la importancia de conservarlos

El término “tragedia de los comunes” fue utilizado por Garret Hardin, en 1968, para explicar el uso sin límites y la sobreexplotación de los recursos naturales o bienes comunes ante el crecimiento inminente de la población en el nivel mundial. En su explicación de esta “tragedia” explica que, ante la situación del uso de un pastizal, por ejemplo, algunos de los ganaderos usuarios de este pastizal tendrán la conciencia de que: *a)* el incremento de un animal más en su rebaño puede aumentar su eficiencia e incrementar sus ganancias; *b)* este incremento provoca una sobreexplotación del pastizal, aunque sabe que otros ganaderos lo harán también. Esta situación en la cual cada uno de los ganaderos piensa desde la perspectiva de la eficiencia racional (el término racional visto desde la perspectiva de la teoría económica neoclásica) y no el cuidado del bien común, que en este caso es el pasto, es a lo que Hardin llama “la tragedia de los comunes”. De manera que, esta libertad de utilizar sin límite los bienes comunes, lleva a la tragedia de los propios bienes comunes (Hardin, 2005).

Este descuido de los comunes, Hardin lo explica también para el problema de la contaminación. Desde la perspectiva de la propiedad privada, el dueño de una empresa o negocio está más interesado en el cuidado de su propiedad privada que en el cuidado del medio ambiente, por lo que termina utilizando tecnología que contamina, en detrimento del aire, agua, etc.

Este cuestionamiento que realiza Garret Hardin en su famosa obra “La Tragedia de los Comunes” sobre el descuido de los comunes, porque prevalece el interés privado, individual y racional, sin embargo, encuentra como causal fundamental el crecimiento de la población, desde una perspectiva malthusiana (Hardin, 2005).

Desde la perspectiva de este trabajo, el descuido de los comunes no tiene que ver fundamentalmente con el crecimiento de la población, sino con la propia dinámica del sistema capitalista, el cual se rige por todo el proceso productivo y desarrollo tecnológico que tiene como principal objetivo la promesa de una ganancia creciente y no la preocupación de lo común.

La reflexión teórica de Elinor Ostrom, por otro lado, tres décadas después de la obra de Hardin, consideró que los comunes pueden ser regulados por comunidades de individuos que desarrollen la capacidad de crear las condiciones que necesiten sobre los propios comunes.

Desde una perspectiva crítica, Elinor Ostrom señala que la visión de Garret Hardin, respecto a que los usuarios de los recursos comunes están “condenados” inevitablemente a su sobreexplotación, es una visión limitada, ya que su perspectiva contempla como solución la intervención de autoridades externas a los recursos comunes y no contempló la posibilidad del autogobierno (Ostrom, 2008). Ostrom sostiene que los ciudadanos son capaces de crear instituciones que permitan usar los bienes comunes sin sobreexplotarlos, en muchos casos de manera sustentable. Ostrom señala, sin embargo, que no se puede generalizar y que en muchos casos se puede desarrollar esta capacidad de autogobernarse y en otros no (Ostrom, 2008). Ostrom asevera que, sin duda, un sistema de gobernanza es necesario, sobre

todo cuando se trata de bienes comunes, como en el caso de los recursos naturales (Ostrom, 2008).

Desde la perspectiva de Ostrom, esta gobernanza es posible ahí donde se establezcan “organizaciones con autoridad de decisión sobre la forma de gestionar un recurso” (Ostrom, 2008:272).

Finalmente, la reflexión propositiva de Elinor Ostrom alude a que la complejidad del autogobierno de los ciudadanos para la gestión de un bien común tiene que ver con el vínculo que establecen con organizaciones no gubernamentales, locales, municipales y nacionales para atender las necesidades e intereses de los propios ciudadanos, pero sin dejar la responsabilidad de gobernar sus propios intereses a expertos externos (Ostrom, 2008: 278).

David Bollier, en su texto “Los Bienes Comunes: Un sector soslayado de la creación de la riqueza”, por ejemplo, explica que este cuestionamiento que realiza Hardin respecto a la sobre explotación de los recursos comunes, es una situación de “acceso abierto, no regulado”. Es decir, desde la perspectiva de Bollier, la posibilidad de conservar y realizar un programa de cuidado y conservación de los bienes comunes debe partir de un sistema de autogestión para posibilitar un acceso a los bienes comunes, desde una perspectiva sustentable (Bollier, 2008).

David Bollier explica que la posibilidad de cuidar y conservar un bien común no debe ser una tragedia sólo por tratarse de bienes comunes. Para Bollier, “la tragedia de los comunes” es un mito, si la propuesta del cuidado y conservación de los bienes comunes se realiza desde la autogestión, desde un programa organizado del cuidado de los comunes, desde una perspectiva sustentable (Bollier, 2008).

Bollier señala que los bienes comunes pueden ser agotables e inagotables, de ahí que se plantee el partir de un control y autogestión de ellos, de manera que la sustentabilidad sea uno de los criterios a considerar para su cuidado. Los bienes comunes, sin duda, se rigen desde criterios muy distintos a los del mercado, de manera que cuando se trata de los bienes comunes se trata de valores ecológicos, sociales, democráticos (Bollier, 2008). Cuando se trata de bienes co-

munes, entonces cabe hablar de normas éticas para su manejo, valores morales y tradicionales que, en muchas ocasiones tienen que ver con el cuidado y mejoramiento que han realizado comunidades locales por cientos de años.

Desde la perspectiva de este trabajo, la propuesta de Elinor Ostrom y David Bollier sobre los bienes comunes y su gestión, también es retomada.

La propiedad intelectual. Evolución y controversia

El siglo xv, específicamente en 1474 en Venecia, constituye para muchos expertos en la materia uno de los referentes más importantes en la historia de la propiedad intelectual, como el primer régimen de patentes. Cabe señalar que fue con la Revolución Industrial que se empezaron a generalizar las leyes de patentes a nivel nacional. Francia promulgó su primera ley de patentes en 1791. En Estados Unidos se promulgó una ley de patentes en 1790. En el caso francés, la justificación para otorgar una patente se encontraba en el atraso de la industria, la competencia con los ingleses y la intención de mejorar la situación económica de los empleados de la industria (Roffe, 1987). Posteriormente, en 1883, se establece el Convenio de París para la Protección de la Propiedad Industrial, el cual amplía el criterio de protección, considerando a la propiedad industrial en su sentido más amplio, y al plantear como figuras de la propiedad industrial a las patentes, las marcas, los dibujos y modelos de utilidad, las indicaciones geográficas y el rechazo a la competencia desleal (OMPI, 2020).

A pesar del carácter amplio del Convenio de París, este convenio no incluía, de manera específica, la protección para variedades vegetales, de ahí que surgiera la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2013).

UPOV, Acta 78 y Acta 91. La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) fue establecida por el Convenio del mismo nombre en París en 1961 y entró en vigor en 1968. Dicho convenio, sin embargo, no era el primer acuerdo internacional para

proteger productos del reino vegetal: desde 1930, en Estados Unidos, ya se había otorgado la primera patente para Plantas (USPTO.GOV, digital). El Convenio UPOV fue revisado en noviembre de 1972, en 1978 y 1991 (UPOV Lex, digital). Desde entonces, se estableció que los países que tuvieran interés en adscribirse podrían elegir, adscribirse al Acta de 1978 o al Acta de 1991.

UPOV 78. Tanto el Acta de UPOV 78 como la de UPOV 91 tienen como objetivo “reconocer y garantizar un derecho al obtentor de una variedad vegetal nueva o a su causahabiente (designado como obtentor) ...” (UPOV Lex, 1961).

El concepto de obtentor se refiere a la persona “física o moral que mediante un proceso de mejoramiento haya obtenido y desarrollado una variedad vegetal de cualquier género y especie” (SNICS, 2017). El tipo de mejoramiento que lleva a cabo el obtentor puede incluir técnicas y procedimientos para desarrollar una variedad vegetal, la cual puede ser protegida, mediante propiedad intelectual, si cumple con las características de ser nueva, distinta, estable y homogénea. Cabe señalar que para UPOV el obtentor puede ser un agricultor, un científico, una institución pública o una empresa privada y que el fitomejoramiento puede ser muy básico o como resultado de la biotecnología moderna (SNICS, 2017).

El “privilegio del agricultor” es una de las disposiciones del Acta UPOV 78. Este privilegio se refiere a que los agricultores pueden utilizar las semillas de una variedad “protegida” con fines de producción o multiplicación en su propia finca (UPOV, 2013).

Asimismo, bajo esta Acta, no se permite la doble protección, es decir, no se permite proteger una variedad vegetal, vía propiedad intelectual, vía derechos de obtentor y vía patente. El periodo de protección de los derechos del obtentor tiene un periodo de 18 años para vides, árboles forestales, frutales y ornamentales y 15 años para todas las demás (UPOV, 2013).

UPOV 91. Sin duda el Acta de UPOV 91 constituye la disposición, en materia de propiedad intelectual, más amplia y controversial, que el Acta de 1978. A nivel mundial, la tendencia y la presión de gran-

des empresas agrobiotecnológicas transnacionales es que los países, miembros de UPOV se adhieran a UPOV 91, justo porque sus disposiciones tienen un mayor alcance de protección, se permite la doble protección (vía derechos de obtentor y vía patentes), los derechos del obtentor, en términos de protección, son más amplios, los derechos de los agricultores a intercambiar sus semillas provenientes de una semilla protegida, se ven limitados a las disposiciones de cada país. Desde la perspectiva de algunos gobiernos de los países miembros de UPOV, UPOV 91 representa un sistema de protección intelectual que promueve la innovación tecnológica en variedades vegetales, así como tener la oportunidad, para algunos países en desarrollo de desarrollar variedades vegetales propias y con derechos de obtentor o patentes nacionales.

Sobre el “derecho del obtentor”, el Acta de 1991 establece que

“se requerirá la autorización del obtentor para los actos siguientes realizados respecto a la materia de reproducción o de multiplicación de la variedad protegida: a) la producción o la reproducción (multiplicación); b) la preparación a los fines de la reproducción o de la multiplicación; c) la oferta en venta; d) la venta o cualquier otra forma de comercialización; e) la exportación; d) la importación; e) la posesión para cualquiera de los fines mencionados en los incisos del a al e” (UPOV, 2013).

Asimismo, bajo UPOV 91, el obtentor tiene la atribución de limitar o condicionar su autorización respecto al producto de la cosecha, proveniente de la variedad protegida (UPOV, 2013). Bajo esta Acta, también se considera que una variedad es esencialmente derivada si 1) “se deriva principalmente de una variedad inicial, o de una variedad que a su vez se deriva de la variedad inicial, conservando al mismo tiempo las expresiones de los caracteres esenciales que resulten del genotipo o de la combinación de genotipos de la variedad inicial; 2) se distingue claramente de la variedad inicial, salvo por lo que respecta a las diferencias resultantes de la derivación (UPOV, 2013). El Acta de UPOV también amplía el periodo de protección.

Por lo explicado hasta aquí respecto a UPOV 91, se puede observar que esta disposición tiene un sistema que exige requisitos más estrictos de innovación, en términos de altura inventiva, así como criterios con mayor cobertura en términos de protección de la propiedad intelectual. Desde la perspectiva de algunas organizaciones no gubernamentales, como Greenpeace, Grain, EtcGroup y académicos defensores de los derechos de los agricultores, esta disposición atenta contra los derechos de éstos de intercambiar sus semillas, muchos de estos grupos consideran que los derechos de protección intelectual como los de UPOV 91 pueden restringir el acceso a la tecnología (Jefferson y Padmahabhan, 2016).

El Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC) y el sistema sui generis

La relevancia de ADPIC es el que los derechos de propiedad intelectual se incluyeron en un acuerdo internacional de libre comercio (la Organización Mundial de Comercio (OMC) en 1994, en la Ronda de Uruguay (una de las reuniones de la OMC donde se revisan los avances en materia de comercio), de manera que, por primera vez en la historia se aprobaba un sistema de propiedad intelectual dentro de un acuerdo de libre comercio internacional. Fue en 1994 que se incluyó un capítulo de propiedad intelectual dentro de la OMC. Para algunos expertos en la materia, el incluir derechos de propiedad intelectual dentro de un acuerdo internacional de libre comercio como la OMC tuvo como causa el que países como Estados Unidos encontraran como estrategia coercitiva el presionar tanto a países desarrollados como países en desarrollo el sancionar comercialmente a los países miembros de la OMC que no cumplan con las disposiciones en materia de propiedad intelectual (Drahos, 1995).

Es el artículo 27 de ADPIC el que contiene las disposiciones referidas a los derechos de propiedad intelectual y especifica que las patentes “podrán obtenerse por todas las invenciones, sean de productos

o de procedimientos, en todos los campos de la tecnología, siempre que sean nuevas, entrañen una actividad inventiva y sean susceptibles de aplicación industrial” (OMC, 2020). En este mismo capítulo se incluyen las disposiciones referentes a la posibilidad de proteger variedades vegetales, vía patentes o a través de un sistema llamado “*sui generis*”. Es en esta categoría de “*sui generis*” donde se ha incluido el sistema UPOV.

Cabe señalar que si bien este artículo contiene disposiciones que sin duda obligan a los países miembros a adoptar un sistema de protección para variedades vegetales, vía patentes o bajo el sistema UPOV, también incluye disposiciones de exclusión para aquellas invenciones que atenten contra el orden público, la moralidad, la salud, la vida de las personas o los animales o para conservar los vegetales o daños graves al medio ambiente (Correa, 2012).

Expertos en la materia, como es el caso de Carlos Correa, sostienen que sería conveniente utilizar esta última disposición para prohibir patentes que pongan en riesgo, por ejemplo, la seguridad alimentaria o el medio ambiente (Correa, 2012).

MÉXICO. EL DESAFÍO DE ADSCRIBIRSE A UPOV 91 Y PROTEGER LOS DERECHOS COLECTIVOS

UPOV 91 representa, para muchos académicos, organizaciones no gubernamentales y hasta para algunos representantes públicos como el actual secretario ejecutivo de CibioGem, la disposición, en materia de propiedad intelectual, que pone en riesgo los derechos de los agricultores de intercambiar sus semillas. Para algunos otros, como para el representante del Sistema Nacional para la Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), UPOV 91 representa el fomento a la innovación y a la investigación, en este caso de semillas y variedades vegetales. Esta posición tiene que ver con que el SNICS es la institución que se encarga de otorgar los derechos de obtentor en México.

México se adscribió a UPOV 78 desde 1997 y es en la Ley Federal de Variedades Vegetales que se expresa esta adscripción. El ser parte

de la OMC determinó, en gran medida, el que México se viera comprometido a adoptar un sistema de propiedad intelectual para variedades vegetales y decidió elegir el sistema UPOV 78 (SNICS, 2017).

MÉXICO Y EL TPP

Desde octubre de 2012 México es parte del Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (TPP 11) y lo integran Australia, Brunei, Canadá, Chile, Japón, Malasia, México, Nueva Zelanda, Perú, Singapur y Vietnam. El TPP tiene como objetivo la creación de una región que fortalezca económicamente la región del Asia Pacífico. En el caso de México, integrarse a este acuerdo tiene como objetivo ser parte de uno de los acuerdos comerciales más importantes a nivel mundial (Pérez, 2013).

El TPP, así como el ADPIC, también incluye un capítulo de propiedad intelectual que “obliga” a México a establecer criterios de propiedad intelectual para la protección de variedades vegetales, pero no a cualquier sistema de protección, sino específicamente a UPOV 91. Actualmente México es parte de UPOV 78, pero el TPP “obliga” a nuestro país a adscribirse e UPOV 91.

Más arriba se explicó la diferencia entre UPOV 78 y UPOV 91, aquí sólo se enfatiza que una de las disposiciones más relevantes de UPOV 91 es que no contempla el privilegio del agricultor, es decir, la posibilidad de quién adquiere material de propagación protegido de aprovechar el producto para volver a sembrar, aunque no se prohíbe que se otorgue (Pérez, 2013).

MÉXICO Y EL T-MEC

México ahora también es parte del Tratado México-Estados Unidos-Canadá (T-MEC), se firmó en diciembre de 2018 y entró en vigor el 1 de julio de 2020 (www.gob.mx). El T-MEC tiene como objetivo sustituir el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Esta sustitución implica ampliar disposiciones en materia de comercio. En este

tratado también se incluye un capítulo de propiedad intelectual, así como la obligatoriedad de adscribirse a UPOV 91. En el Artículo 20.7 se señala que “Cada parte deberá ratificar o adherirse a cada uno de los siguientes acuerdos: en caso de no haberlo hecho todavía, a la fecha de entrada en vigor de este Tratado: Protocolo de Madrid; Tratado de Budapest; Tratado de Singapur; UPOV 1991; Arreglo de La Haya y Convenio de Bruselas” <www.gob.mx/t-mec>

UPOV 91 Y DERECHOS COLECTIVOS

Desde la perspectiva de académicos expertos en la materia y críticos del sistema UPOV, UPOV 91 representa el interés de los Estados Unidos en ser parte de UPOV, pero que permitiera la doble protección, vía patentes y los derechos de obtentor, de manera que la mayoría de los países miembros de UPOV ahora deben adscribirse a UPOV 91. México ahora ya es parte de esta “obligatoriedad”, y al ser parte del Acuerdo Transpacífico y del T-MEC tiene sólo dos años para adscribirse, a menos que solicite una prórroga. El gobierno de México así tiene que modificar su Ley Federal de Variedades Vegetales para adherirse a UPOV 91. Cabe señalar que, si bien para algunos expertos el sistema UPOV tiene un carácter de obligatoriedad, para otros, tiene criterios de flexibilidad. Sin embargo, UPOV 91 si establece que el agricultor que quiera volver a usar la semilla protegida tiene que pagar regalías, eso no sucedía con UPOV 78 (Entrevista a Rafael Pérez Miranda).

La postura de representantes del sector público, específicamente del Sistema de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), el adscribirse a UPOV 91 posibilita que cualquier persona moral o física puede realizar una innovación, de forma directa o contratando a alguien para obtener un derecho de obtentor. Se enfatiza que con la ley que está en la Cámara de Diputados para atender el compromiso de adscribirse a UPOV 91 no se van a privatizar las semillas nativas, por lo que no hay riesgo de que las semillas nativas y todas las razas que se tienen, por ejemplo, de maíz, se puedan perder. Se aclara que, si los productores de autoconsumo compran una variedad protegida y se quiere

volver a usar, bajo UPOV 91, no existe ninguna penalidad, siempre y cuando sea para el autoconsumo y no se pretenda comercializarla y obtener una ganancia (Entrevista al doctor Leobigildo Córdova).

Desde una postura más crítica, se encuentra la de algunos representantes del sector público, con una trayectoria previa científica, académica y de gran conocimiento de la materia que señalan que la Ley Federal de Variedades Vegetales que debe modificarse para adscribirse a UPOV 91 está en la Cámara de Diputados, pero está suspendida por múltiples motivos. Sin embargo, el riesgo de adscribirse a UPOV 91 para el campo mexicano es muy alto. UPOV 91 señala que no se prohíbe el intercambio de semillas porque esta disposición aplica a variedades protegidas, sin embargo, lo que no señalan es que si esas variedades protegidas contaminan con su polen a variedades nativas o que no están protegidas y esa información genética de las variedades protegidas (que pudieran ser transgenes) ahora la tienen las variedades no protegidas o nativas se puede aplicar la regla de la carga de la prueba que aplica en materia de propiedad intelectual, por lo que el dueño de variedades nativas tendría que pagar regalías o una multa por tener esta información sin permiso (Entrevista al doctor Alejandro Espinosa).

Para el doctor Alejandro Espinosa, representante ejecutivo de Cibogem, ante la casi inevitable adscripción a UPOV 91, el doctor Espinosa coincidió con mi propuesta, en términos de que una alternativa podría ser una salvaguarda. Es decir, una salvaguarda o una excepción, donde se revise cada capítulo correspondiente y se exija la obligatoriedad de adscribirse a UPOV 91. En el caso de la salvaguarda, si los senadores están de acuerdo y se promueve esa salvaguarda tendría que revisarse con el equipo de negociación a nivel internacional que se promoviera la modificación ante el T-MEC para que ocurriera tal propuesta (Entrevista al doctor Alejandro Espinosa).

Ante la pregunta de proponer como una forma alternativa de conservar los derechos de los agricultores, de intercambiar las semillas y mantener las semillas nativas, el doctor Espinosa respondió que una alternativa así se puede organizar “desde abajo”, aunque con el apoyo

del gobierno. Esta forma podría ser lo que se conoce como “publicación defensiva”, la cual consistiría en registrar y describir la mayoría de nuestras variedades nativas, describiendo cómo son nuestras variedades, y anunciando que éstas pertenecen a los propios productores de las variedades nativas.

¿EXISTE ALGÚN SISTEMA SUI GENERIS PARA PROTEGER DERECHOS COLECTIVOS?

El proteger derechos colectivos, como el intercambio de semillas y el fomento para su conservación evidentemente no está contemplado dentro del sistema de propiedad intelectual actual. UPOV 91 y sus defensores señalan que no atenta contra el intercambio de semillas nativas porque este sistema rige para variedades protegidas y las variedades nativas y el derecho de intercambiarlas no está dentro de este sistema.

Uno de los sistemas que pueden servir para proteger los derechos colectivos de intercambiar semillas y promover la conservación de la riqueza biológica que caracteriza a nuestro país como país megadiverso es el registro y la realización de un catálogo de todas las variedades nativas que existen en nuestro país. También se han propuesto, por parte de organizaciones no gubernamentales y representantes del sector público, la conformación de bancos de variedades nativas locales.

Los bancos comunitarios de semillas. ¿Se protegen derechos colectivos?

Los bancos comunitarios de semillas se han venido desarrollando desde mediados de la década de los años ochenta. Estos existen en varios países a nivel mundial. Algunos ejemplos se encuentran en Bolivia, Brasil, Burkina Faso, Bután, China, Guatemala, Nepal, Nicaragua, Ruanda, Uganda, México (Vernooy y otros, 2016).

El objetivo principal de estos bancos comunitarios es la conservación de las variedades locales, variedades raras, desde la perspectiva

de la conservación de la diversidad biológica. Una de las razones más importantes del surgimiento de los bancos comunitarios de germoplasma, sin embargo, es por los problemas de sequía que han sacudido al mundo. Organizaciones no gubernamentales como la Fundación Internacional para el Avance Rural (RAIF, por sus siglas en inglés), ahora Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración (ETCGroup) fueron una de las fundadoras de estos bancos comunitarios de semillas. En 1989 se lanzó un programa para atender el problema de sequía que afectó Etiopía. El programa consistió en multiplicar en finca múltiples variedades de sorgo, maíz, trigo, localmente adaptados; se reintegraron las variedades de semillas y se distribuyeron a miles de agricultores. El objetivo principal fue garantizar el abastecimiento local de las variedades. Los bancos comunitarios se han desarrollado tanto en países en desarrollo como desarrollados. Semillas de Diversidad de Canadá, por ejemplo, con un total de 1 400 miembros cultivan y distribuyen más de 2 900 variedades de vegetales, frutas, granos, flores, etc. Asimismo, en países como Alemania, Austria, España, Francia, Italia y Reino Unido existen múltiples asociaciones de custodios de semillas (Vernooy *et al.*, 2016).

En México existen bancos comunitarios de semillas. Oaxaca es la región donde existe este tipo de bancos. Estos bancos han venido funcionando desde 2005, con el apoyo del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Sinarefi), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, los cuales han financiado algunos de estos bancos. La FAO y organizaciones de productores también han financiado los bancos comunitarios de semillas en Oaxaca. Aproximadamente existen 400 agricultores que participan en los bancos. Se trata de bancos de semillas de especies nativas y silvestres y se almacenan variedades de maíz, frijol, entre otros cultivos, una parte se almacena en el banco y otra en las propias casas de los agricultores (Aragón-Cuevas, 2016).

En las entrevistas realizadas se observó que algunos funcionarios públicos y del sector académico señalaron la importancia de la conservación de semillas nativas para proteger los derechos colectivos de

intercambiar las semillas. El registro y descripción de semillas nativas impide que alguien pudiera adjudicarse los derechos de los productores sobre sus variedades nativas. También se encuentra el catálogo nacional (en México) de variedades vegetales, donde se registran las variedades vegetales que van a producir semilla y se van a distribuir y vender. No es propiamente un sistema de propiedad intelectual, pero es un paso relevante para una propuesta de “publicación defensiva” (Entrevista al doctor Alejandro Espinosa).

CONCLUSIONES

El desarrollo de la propiedad intelectual en biotecnología y los promotores de ella asocian los beneficios de ésta al fomento a la innovación y el desarrollo de la ciencia. Se observa, sin embargo, un papel protagonista de las grandes empresas biotecnológicas transnacionales como las beneficiarias principales del sistema tanto de patentes como de derechos de obtentor.

Por los acuerdos de comercio internacionales firmados por parte de México, el TPP y el T-MEC, pareciera inminente que México debe adscribirse a UPOV 91. Existe, sin embargo, todavía un periodo, más o menos de dos años como periodo límite para adscribirse a a éste.

Por lo analizado en este trabajo, se observa que el sistema de protección de UPOV 91 beneficia principalmente a grandes empresas biotecnológicas transnacionales, no a los pequeños productores agrícolas. México, así, debiera seguir adscrito a UPOV 78 o plantear salvaguardas que cuiden nuestra diversidad biológica, seguridad alimentaria y derechos colectivos, como el intercambio de semillas milenario.

El propio ADPIC contempla excepciones para otorgar derechos de obtentor y patentes cuando se atente contra la salud, el cuidado del medio ambiente o la seguridad alimentaria.

Un sistema alternativo de protección para derechos colectivos debe partir de las propias localidades, pero también del apoyo del Estado mexicano para fomentar la producción y conservación de variedades

nativas. El registro y realización de un catálogo de variedades nativas parte de este sistema alternativo.

El SNICS debería contemplar la inclusión en su funcionamiento de un Código de Ética, como lo tienen otros países en la Unión Europea. Algunas organizaciones no gubernamentales ambientalistas en México han fungido como movimientos de resistencia para proteger derechos colectivos. Sigamos su ejemplo

BIBLIOGRAFÍA

- Aragón-Cuevas Flavio (2016). “Bancos comunitarios de semillas en Oaxaca”. En *Bancos comunitarios de semillas. orígenes, evolución y perspectivas*, coordinado por Ronnie Vernooy, Pitambar Shrestha, Bluwon Sthapit y Marleni Ramírez, 136-139. Roma: Biodiversity International.
- Bollier, David (2008). “Los bienes comunes: un sector soslayado de la creación de la riqueza”, En *Genes, bytes y emisiones: bienes comunes y ciudadanía*, coordinado por Silke Helfrich, 30-41. Latinoamérica: Fundación Heinrich Böhl [en línea]. Disponible en <<http://creativecommons.org/>, www.boell-latinoamerica.org> (consulta: 25 de noviembre de 2020).
- Correa, Carlos, (2012). “Flexibilidades en el Acuerdo sobre los AdpiC en *Materia de patentes y seguridad alimentaria. opciones para los países en desarrollo*, Guía sobre Políticas, QUNO-ICTSD, International Centre for Trade and Sustainable Development.
- Díaz, Ignacio, José Luis Valdés y Javier Sigüenza (2009). “Una mirada crítica sobre la Modernidad. Entrevista con Bolívar Echeverría”. *Norteamérica* 4 (1): 207-222.
- Drahos, Peter (1995). “Global Property Rights in Information: The Story of TRIPS at the GATT”, *Prometheus*. 13 (1): 6-19, DOI: 10.1080/08109029508629187
- Fazio (2018). “La crítica social de la propiedad intelectual”. *Signos Filosóficos* 39: 116-143.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2000). “Artículo 27:3 Acuerdos internacionales conexos (Parte I)”. En *Las negociaciones comerciales multilaterales sobre la agricultura. Manual de referencia* [en línea]. Disponible en <<http://www.fao.org/3/x7355s/X7355s00.htm#TopOfPage>> (consulta: 13 de enero de 2021).
- Hardin, Garret (2005). “La Tragedia de los Comunes”. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana* 4 (10). Santiago de Chile: Universidad de los Andes.

- Jefferson, David J. y Meenu S. Padmahabhan (2016), "Recent Evolutions in Intellectual Property Frameworks for Agricultural Biotechnology: A Worldwide Survey" *Research And Information System For Developing Countries (RIS), Asian Biotechnology And Development Review* 18 (1): 47-67.
- Organización Mundial de Comercio (OMC). (2020). Propiedad intelectual (AdpiC) [en línea]. Disponible en <wto.org/spanish/docs_s/legal_s/27-trips_04c_s.htm> (consulta: 17 de diciembre de 2020).
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (2020), *Convenio de París para la Protección de la Propiedad Industrial* [en línea]. Disponible en <<https://www.wipo.int/treaties/es/ip/paris/>> (consulta: 24 de marzo de 2020).
- Ostrom, Elinor (2008). "El gobierno de los bienes comunes desde el punto de vista de la ciudadanía", En *Genes, Bytes y Emisiones: Bienes Comunes y Ciudadanía*, coordinado por Silke Helfrich, 268-278. Latinoamérica: Fundación Heinrich Böll, ISBN 96890-84-02-X [en línea]. Disponible en <<http://creativecommons.org/>, www.boell-latinoamerica.org> (consulta: 25 de noviembre de 2020).
- Pérez, Rafael (2013). "El Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica y los Derechos de Propiedad Intelectual, una perspectiva de interés nacional". Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Disponible en <<http://biblio.juridicas.unam.mx>> (consulta: 23 de enero de 2020).
- Roffe, Pedro (1987). "Evolución e importancia del sistema de la propiedad intelectual". *Revista Comercio Exterior* 37 (12): 1039-1045.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) (2017) [en línea]. Disponible: en <www.gob.mx/snics/articulos/que-es-un-obtentor?idiom=es> (consulta: 14 de noviembre de 2020).
- UPOV Lex (1961). Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Ginebra: UPOV Lex. 295(s) [en línea]. Disponible en <https://www.upov.int/edocs/pubdocs/es/upov_pub_295.pdf> (consulta: 17 de octubre de 2020).
- UPOV (2013). Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Ginebra: UPOV Lex [en línea]. Disponible en <https://www.upov.int/edocs/expndocs/es/upov_exn_brd.pdf> 8 (consulta: 29 de noviembre de 2020).
- Vernooy Ronnie, Pitambar Shrestha y Bhuwon Sthapit (2016). "Orígenes y evolución". En *Bancos Comunitarios de Semillas. Orígenes, Evolución y Perspectivas*, coordinado por Vernooy Ronnie, Pitambar Shrestha, Bluwon Sthapit y Marleni Ramírez, 11-19. Roma: Biodiversity International.

ENTREVISTAS

Doctor Alejandro Espinosa Calderón
Encargado de Despacho
Secretaría Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad
de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem)
CDMX, México

Doctor Leobigildo Córdova Téllez
Director General
Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS)
CDMX, México

Doctor Rafael Pérez Miranda
Investigador-profesor
Departamento de Derecho
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

Doctor Agustín López Herrera
Investigador-profesor
Universidad de Chapingo

Los procedimientos de la Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) como aproximación metodológica a las “Consideraciones Socioeconómicas”

Jaime Padilla Acero

INTRODUCCIÓN

Una de las principales controversias relativas al aprovechamiento de productos de la biotecnología agrícola moderna se refiere a la suficiencia y certidumbre en los métodos de evaluación previstos en la legislación sobre bioseguridad de los cultivos genéticamente modificados, antes de su producción en el campo, que permitan evitar, prevenir o mitigar adecuadamente riesgos a la salud humana, al uso sustentable de la biodiversidad, e incluso a las condiciones socioeconómicas o bioculturales de México. La Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) posee un trasfondo teórico y metodológico con enfoque procedimental y precautorio. En este capítulo se discutirá la posibilidad de aprovechar el formato de la Norma Oficial Mexicana (NOM) específica para incorporar formalmente las denominadas “consideraciones socioeconómicas”. Esta integración es una propuesta para dar consistencia a métodos comunes para regular la articulación del quehacer científico, tecnológico y productivo del país.

PERCEPCIÓN DE RIESGOS Y SU EVALUACIÓN EN TIEMPOS DE PANDEMIA

La pandemia de COVID-19 ha modificado sustancialmente la percepción de riesgos y la manera en que estos se analizan. En actividades humanas donde se realizan estimaciones de riesgos y beneficios de sus aplicaciones prácticas, existen tres procesos secuenciales e iterativos: la evaluación, el manejo y la comunicación de riesgos (los dos últimos referidos como gestión y, en conjunto, como análisis). Los procedimientos para evaluaciones previas permiten justamente caracterizar las posibles consecuencias de efectos adversos o daños potenciales, que dependen del nivel y tipo de exposición a los factores que se consideran sus causas probables. Actualmente, se estiman nuevos riesgos y balances costo/beneficio, tomando en cuenta la información disponible, en este caso, sobre síntomas y complicaciones del covid-19 que cada persona puede padecer (dependiendo de la edad y comorbilidades). Las estimaciones del riesgo de infectarse por alguna de las variantes del SARS-CoV-2, conducen a escenarios de decisión asociados a medidas preventivas (confinamiento, cubrebocas, desinfección y la vacunación completa), o bien, remediales (oxígeno suplementario, antivirales, biomedicamentos y, en el largo plazo, la inmunidad comunitaria). Tales medidas se van acreditando con base en evidencias cada vez más robustas, no siempre accesibles o comprensibles por otras inconsistencias en la comunicación pública, que también es parte de los análisis de riesgo.

MINIMIZAR LOS RIESGOS AGROALIMENTARIOS Y DE SALUD

El aprendizaje más urgente es lograr ser más capaces y estar preparados ante situaciones críticas (no solamente sanitarias, sino económicas, sociales y ambientales), especialmente en el nivel país. Las secuelas económicas y sociales de la pandemia en México (además de dilemas ambientales), podrían agudizar aún más problemas en la dinámica de producción y abasto de alimentos, con consecuencias

negativas en la salud pública. Ello ha provocado ajustes emergentes: comerciales, sanitarios, fiscales y demandas para adecuar estrategias legislativas, financieras y de comunicación, para mantener o fortalecer las capacidades y recursos del sector agroalimentario (Padilla, 2020; Monteagudo, 2021).

Previo a estas circunstancias se habían presentado rezagos e inoperancia en el desarrollo, implementación y aprovechamiento de aplicaciones e innovaciones biotecnológicas sustentables, que atenderían diversas limitantes en la producción, acceso y calidad agroalimentaria de México. Si bien hay progresos con nuevas prácticas productivas, el mejoramiento genético es al presente una convergencia sinérgica entre métodos convencionales (cruzas y selección) y modernos (ingeniería genética, edición de genomas) que es crucial como la estrategia más rápida, precisa y segura para aprovechar los recursos fitogenéticos, y reunir atributos relevantes en el germoplasma de nuevas variedades cultivadas. Como se ha visto en otros países, esto resulta estratégico para la productividad y competitividad de los sectores agroalimentario, biomédico, agroindustrial y energético.

El desarrollo y adopción de nuevas variedades de especies vegetales cultivadas se vigorizó a partir de la Revolución Verde a mediados del siglo pasado; más adelante, surgieron algunos cultivos Genéticamente Modificados (OGM), con base en la transferencia puntual de genes y funciones que amplían atributos clave en el desempeño agronómico, nutrimental y ambiental de varios cultivos básicos. La experimentación y evaluación de cultivos GM se inició en México antes de 1996 (Gutiérrez Galeano y otros, 2015) y, en los países donde se han adoptado comercialmente, han alcanzado superficies que rebasan anualmente los 190 millones de hectáreas, aportando beneficios por 18 mil millones de dólares sólo en 2018 (Brookes y Barfoot, 2020)¹. A pesar de ser pionero en este campo, México tuvo pocos años

¹ La consultora PG Economics publica análisis periódicos de los reportes de instituciones como el International Service for the Acquisition of Agro-biotechnological Applications (ISAAA).

de mejorías productivas y de calidad con algodón GM, disminuyendo la aplicación de insecticidas sintéticos (Rocha Munive *et al.*, 2018), oportunidades limitadas para incrementar rendimientos con semillas de soya GM importadas y una serie trunca de evaluaciones con maíz y alfalfa transgénicos (Gutiérrez Galeano y otros, 2015). Desde hace años no se ha autorizado la siembra comercial de ningún otro cultivo; aunque el número de autorizaciones para la importación, comercialización y consumo de productos GM derivados de varias especies es considerable, los centros de investigación y desarrollo (I+D) y empresas públicas nacionales, han tenido una participación marginal en el desarrollo de la biotecnología moderna (Padilla, 2014).

SITUACIÓN ACTUAL DE LA REGULACIÓN EN BIOSEGURIDAD DE OGM

Para todas las actividades con OGM, México cuenta con un Marco Regulatorio formal sobre bioseguridad de la biotecnología moderna desde 2005 (transgénicos de uso confinado y para cultivo en campo). Este se deriva directamente de convenios y protocolos internacionales, particularmente del Protocolo de Bioseguridad de la Biotecnología (PCB), plasmado en la Ley de Bioseguridad de OGM (LBOGM), su Reglamento (RLBOGM), y en algunas normas técnicas y acuerdos operativos.² En estos ordenamientos existen procedimientos reglamentados para el caso de los cultivos “liberados al ambiente” y bajo ellos es posible solicitar, ensayar, demostrar y, en su caso, autorizar legalmente el consumo de nuevos productos GM importados, así como para aprobar su cultivo en “zonas de liberación” determinadas. El objetivo y enfoque de los procedimientos iniciales del proceso regulatorio es la Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA), referida ampliamente

² En el Marco Regulatorio se plasman las definiciones técnicas y legales sobre los componentes de esta área del desarrollo (Cibiogem, 2015), pero que hoy acusa inconsistencias e insuficiencias respecto de nuevos enfoques y adelantos científicos y tecnológicos (i.e., CRISPR-Cas, Biología sintética)

en la normatividad nacional (Cibiogem, 2015); además, en México aquella se ha estandarizado técnicamente en al menos dos Normas Oficiales Mexicanas: la NOM de Reporte de Resultados en 2013 y la NOM de ERA para OGM en 2017.

Durante la vigencia de la ERA se han suscitado controversias por su aplicación, principalmente por discrepancias sobre los enfoques y procedimientos en el planteamiento, valoración y manejo de los riesgos que anteceden a la obtención de permisos para cultivo comercial (véanse las figuras 1A y B). Existe cierto desconocimiento de los principios, las instancias y las herramientas metodológicas, especialmente las de la NOM específica, para solventar aspectos técnicos y operativos cruciales (NOM-ERA, 2017). Además, en vista de diversos adelantos teóricos, técnicos y de metaanálisis cada vez más numerosos, no se han analizado críticamente ni actualizado los correspondientes instrumentos e instancias regulatorias (García-Alonso, 2014; GT-RET, 2018).

En el Diagrama del proceso regulatorio para liberación al ambiente de un OGM se incluyen los requisitos de la evaluación de inocuidad para obtener la autorización para consumo humano (H), animal (A) y procesamiento (P). Se indica la continuidad del flujo de información entre varios procedimientos, documentos y decisiones, incluyendo la evaluación de inocuidad (autorización sanitaria) previo a la fase en Programa Piloto y la elaboración del Reporte de Resultados (panel superior), necesarios para iniciar esta fase (panel inferior). En la fase intermedia (Piloto) es factible incorporar formalmente las Consideraciones socioeconómicas y otros componentes del análisis de riesgo (manejo y comunicación de riesgos evaluados), previo a la solicitud y resolución de la fase comercial, donde continúan actividades de gestión de riesgos.

FIGURA 1A

DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTOS DEL PROCESO REGULATORIO PARA CUMPLIR LAS FASES: EXPERIMENTAL, PILOTO Y COMERCIAL PARA OBTENER Y EJECUTAR PERMISOS DE LIBERACIÓN AL AMBIENTE DE UN EVENTO GM EN ALGUNA ESPECIE CULTIVADA

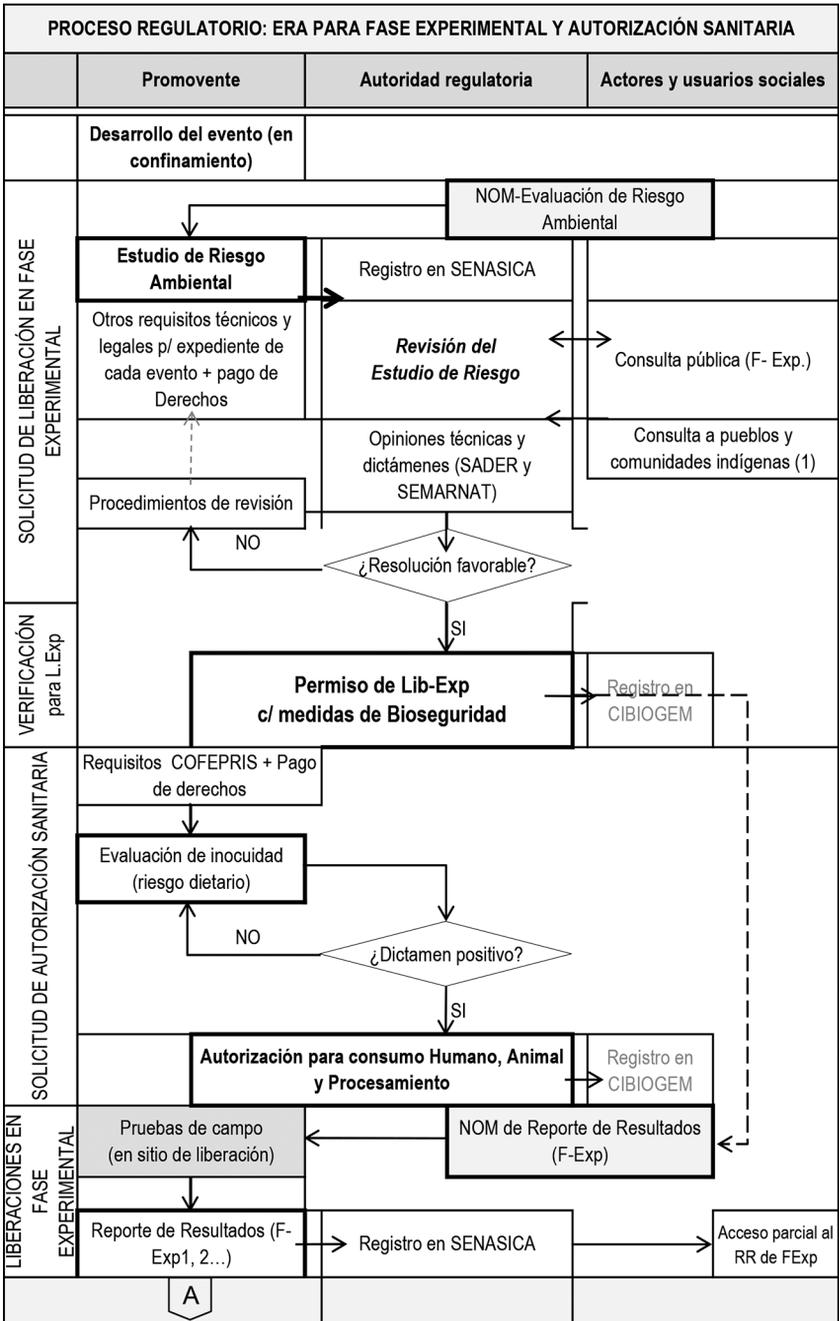
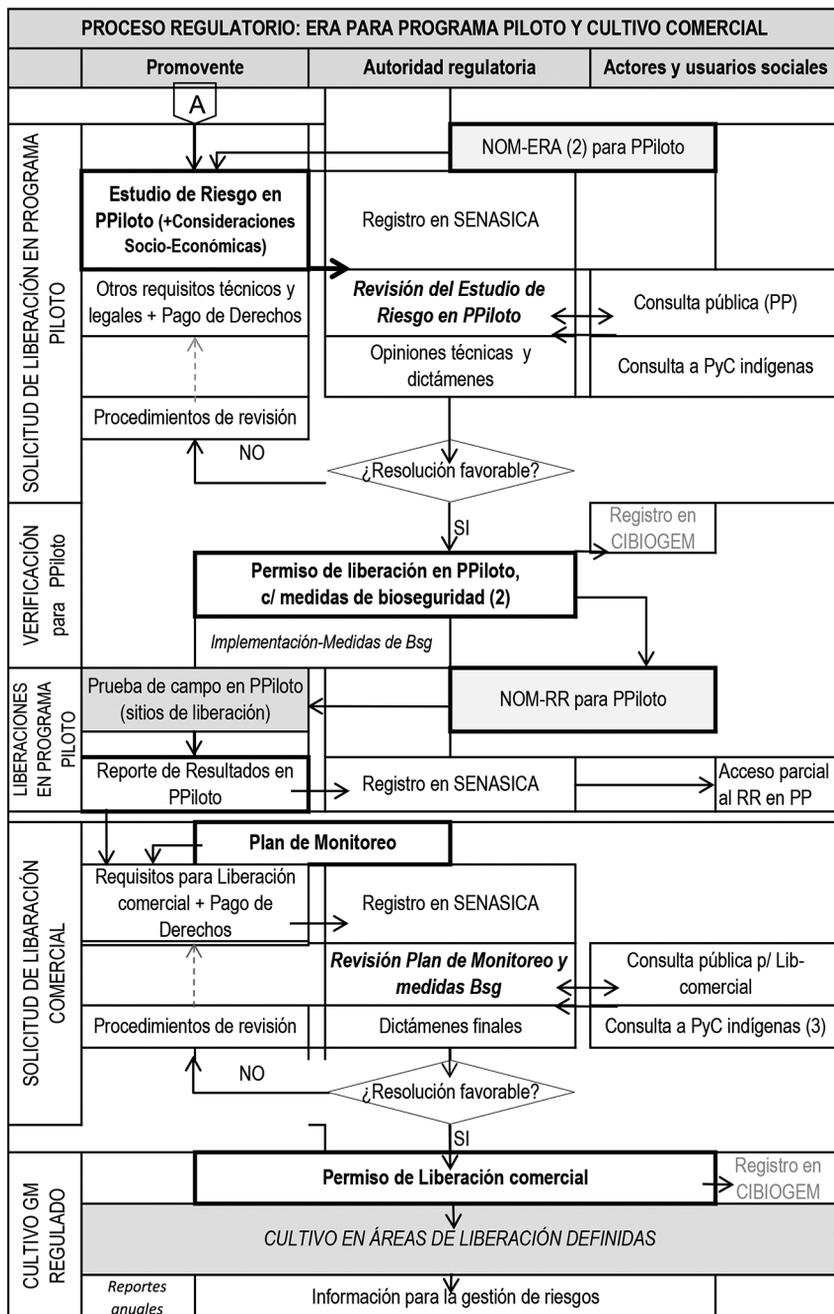


FIGURA 1B

DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTOS DEL PROCESO REGULATORIO PARA CUMPLIR LAS FASES: EXPERIMENTAL, PILOTO Y COMERCIAL PARA OBTENER Y EJECUTAR PERMISOS DE LIBERACIÓN AL AMBIENTE DE UN EVENTO GM EN ALGUNA ESPECIE CULTIVADA



Adicionalmente, la actual agenda legislativa conlleva un riesgo de regresión aún más drástico.³ Todo esto sucede en el contexto de avances regulatorios en países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Chile), exportadores y proveedores de insumos agroalimentarios; de decisiones vinculantes por las instancias multinacionales y ante varios retos para el cumplimiento de compromisos trilaterales como el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC).

En este capítulo no es posible abordar todos los aspectos relevantes sobre la biotecnología moderna y bioseguridad. Por ello, solo se focaliza en lo referente a las discrepancias sobre el significado y perspectiva sobre los riesgos ambientales y lo que pueda encaminarse, en primera instancia, a la protección de objetivos económicos y sociales.

LA EVALUACIÓN DE RIESGOS COMO PRÁCTICA VERSÁTIL, COMPLETA Y PROSPECTIVA

El argumento en torno a que, en la evaluación de OGM no se aplica el Principio precautorio, deriva de una percepción anticipada sobre posibles daños sanitarios y ambientales, así como de riesgos de tipo socioeconómico y biocultural, a los que se alude tanto en demandas civiles como en negativas oficiales.⁴ Sin embargo, en casos emblemáticos, no se han presentado pruebas acreditadas de incumplimiento del Marco Regulatorio en bioseguridad, ni se distingue una metodología o enfoque analítico que preceda a tales aseveraciones. Por tanto, para aproximarse a la resolución de controversias fundamentales en bioseguridad, se abordarán directamente los recursos metodológicos, técnicos y legales vigentes en la norma específica (NOM-ERA, 2017). Asimismo, se examinará la posibilidad de utilizar su enfoque

³ En referencia a los cambios normativos impulsados en esta administración federal por el actual Conacyt a su Estatuto Orgánico y en la iniciativa de Ley de CyT.

⁴ Estas determinaciones son comunicadas a los solicitantes y han merecido escuetos comunicados de prensa por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica) como instancia responsable.

y procedimientos para atender, de forma sistemática y transparente, requerimientos formales y preocupaciones legítimas de la evaluación regulatoria, atendiendo a los principios enmarcados en el artículo 9 de LBOGM (Cibiogem, 2015).

En diversas disposiciones del Marco Regulatorio en bioseguridad se establece que la Evaluación de Riesgos Ambientales a la sanidad vegetal (cultivos y forestería), animal (ganado) y acuícola (pesquerías y acuicultura), así como la biodiversidad (vida silvestre) y los factores ambientales, incluyendo necesariamente a la salud humana, es un procedimiento imprescindible, secuencial, caso por caso, paso a paso y al mismo tiempo, iterativo. Cada una de las dos primeras fases del proceso regulatorio (experimental y piloto), deben aportar información para orientar adecuadamente las opiniones técnicas, los dictámenes sobre las solicitudes, así como las medidas y condicionantes, tanto para autorizaciones sanitarias para importación y comercialización, como para pruebas de campo y el eventual cultivo bajo regulación (véanse las figuras 1A y B).

Son los desarrolladores o promoventes,⁵ quienes elaboran y entregan un Estudio de Riesgo (ambiental), como parte del expediente de cada solicitud⁶, que la autoridad revisa, califica y resuelve, durante las dos primeras fases de liberación al ambiente. Además, tanto en el PCB como en la LBOGM se menciona que se podrán considerar aspectos socioeconómicos (antecedentes y ventajas en introducciones previas o en otros lugares), para la caracterización del posible desempeño del cultivo. Esto representa una prerrogativa de los promoventes para enfatizar expectativas positivas en el balance de beneficios y riesgos (PCB, art. 26.1; LBOGM, art. 64; Cibogem, 2015). Aunque en

⁵ Los promoventes son los agentes solicitantes, empresas, centros públicos de investigación (CPI), instituciones de educación superior (IES) o consorcios agroindustriales, incluyendo productores organizados que, habiendo desarrollado o patrocinado un determinado producto (evento) de la biotecnología moderna, desean tener el aval de las autoridades competentes para realizar actividades con el OGM en los términos de la LBOGM.

⁶ La solicitud tiene varios componentes; uno de ellos son los Estudios de Riesgo, señalados en las figuras 1A y B.

muchos casos se han incluido documentación completa y estimaciones sólidas, no hay garantía de que esto sea tomado en cuenta (Solleiro y Castañón, 2013).

Antes de la normalización de los procedimientos de evaluación, frecuentemente se alegaba “falta de información” que suponía imponer condicionantes discrecionales de algunas autoridades, las cuales se solventaban de manera casuística. Esto ocurría porque cualesquiera riesgos de tipo “ambiental” *stricto sensu* (afectaciones sólo a factores bióticos y abióticos), evaluables bajo la NOM, tendrían implicaciones en ámbitos económicos y sociales no contempladas aparente o explícitamente, que subestimarían el nivel de riesgo general.

Análisis de intentos previos de liberación al ambiente de cultivos GM en México, han concluido precisamente, que la carencia de abordajes más completos sobre aspectos productivos y laborales, así como de mercados y financiamientos involucrados en el desarrollo y evaluación, han sido determinantes en proyectos fallidos con cultivos transgénicos de papa, papaya y de maíces con atributos relevantes para ciertas regiones o sectores (Chauvet *et al.*, 2004 y 2012; Molano, 2017).

Es preciso disponer entonces de un esquema coherente, gradual y lo más completo posible para incorporar la evaluación del potencial de riesgo (o de beneficio) en ámbitos económicos y sociales; de aprovechar un procedimiento funcional establecido oficialmente y de justificar con ejemplos, los criterios, resultados e interpretaciones principales, más allá del ámbito técnicamente “ambiental”. La adopción de estos procedimientos puede servir también para impulsar un desarrollo regulatorio que preste mayor atención a aspectos esenciales en bioseguridad y sobre políticas públicas en torno al desarrollo sustentable.

BIOSEGURIDAD BAJO EL ENFOQUE DE “UNA SALUD”, SIN ENTELEQUIAS

Las preguntas relevantes sobre bioseguridad, de las actividades que se plantean ante la presentación o renovación de permisos para el aprovechamiento de un evento específico de cultivo GM, podrían resumirse como: 1) ¿Es seguro y saludable su consumo en la alimentación humana?; ¿cumple con normas de inocuidad y márgenes de seguridad para tóxicos conocidos o potenciales? 2) ¿Interfiere negativamente en el rendimiento y sanidad de otros cultivos (sean estos de especies relacionadas o no)? o bien, ¿con la alimentación del ganado o de especies acuícolas? y, si esto ocurriera, ¿habría forma de impedirlo? 3) ¿Se anticipan interacciones adversas significativas con componentes de vida silvestre (considerando especies y parámetros indicativos de estos efectos)? y si las hubiera, ¿es posible prevenirlas o evitarlas?⁷

Ahora bien, para extender y aplicar la ER a aspectos socioeconómicos —que son parcialmente estimados en la fase de Programa Piloto (rendimiento, eficiencia, emisiones, etc.), y con base en evaluaciones *ex ante* con enfoque de sustentabilidad— sería significativo indagar: 4) ¿Es posible prever efectos económicos (inmediatos, locales o regionales) que encarezcan el abasto o desplacen a otros productos agrícolas? ¿Puede presumirse que la comercialización de ese tipo de cultivo GM promovería menor ingreso o mayor dependencia o vulnerabilidad social, en términos de tecnologías e insumos? y, finalmente, ¿propiciaría su siembra menor productividad y deterioro ambiental? Estas preguntas podrían redactarse alternativamente, como hipótesis prospectivas sobre los beneficios comparativos, que sirvieran para pronosticarlos, documentarlos y promoverlos.

⁷ Estas y preguntas similares, podrían ser aplicadas a cualquier innovación agroalimentaria; la NOM de ERA sólo se aplica a OGM por la estrategia tecnológica usada en su desarrollo, cuando los riesgos planteados por productos nuevos o exóticos son similares.

No obstante, el proceso regulatorio no tiene ese enfoque, sino que incluso en ausencia o insignificancia de riesgos, y sin considerar ventajas potenciales o reales, la tendencia ha sido otorgar permisos con medidas desproporcionadas a los riesgos caracterizados o descalificarlos por razones especulativas, presiones mediáticas y querellas jurídicas insustanciales. El estatus actual de variedades de algodón GM, considerado en México como un caso de éxito desde diversos ángulos de análisis, es ilustrativa (Rocha Munive *et al.*, 2019).

De los análisis sobre algunos desarrollos específicos se desprende la médula de esta problemática: *i)* cada caso⁸ es especial y las generalizaciones positivas o negativas de los OGM, sin sus contextos particulares, son inútiles; *ii)* el desarrollo y evaluación de ciertos eventos,⁹ si bien apuntaban a beneficios particulares, no fueron acompañados en tiempo y forma con previsiones consistentes sobre el manejo y comunicación de riesgos, ni tampoco de la apropiación de beneficios; *iii)* a pesar de la experiencia generada continúa siendo un proceso muy complejo y costoso, al que difícilmente pueden acceder instituciones públicas de I+D mexicanas con intenciones de contribuir directamente con soluciones agrobiotecnológicas¹⁰ (González-Aguirre, 2004; Chauvet y otros, 2004 y 2012; Padilla, 2014; Gutiérrez-Galeano y otros, 2015). No obstante, existen amplios recuentos sobre los procesos en países iberoamericanos, incluido México, para diseñar e

⁸ En el ámbito técnico y legal, un caso (=una solicitud) involucra un evento biotecnológico particular (véase la figura 2), en una especie biológica modificada para liberarse en un ambiente receptor determinado.

⁹ Un evento se refiere a un cambio definido en el ADN (generado por BM; típicamente una inserción), ubicado en un mismo sitio relativo (locus genético) en cualquier variedad de una especie y con una nomenclatura particular. Por ejemplo, el evento MON-87460 en maíz, puede detectarse en diferentes variedades (híbridos, blancos, amarillos o dulces); la autorización para consumo y eventual aprobación para su cultivo es extensiva y válida para tal evento, sin importar a cuáles cultivares se haya transferido el transgén por cruza convencionales (introgresión).

¹⁰ Los CPI y las IES en México no incluyen ni obtienen presupuestos para estos desarrollos, pero han participado como evaluadores para la regulación bajo esquemas legales de colaboración público-privada.

implementar marcos regulatorios e iniciar el aprovechamiento de desarrollos agrícolas con biotecnología moderna, en colaboración con consorcios empresariales multinacionales que iniciaron la comercialización de productos biotecnológicos (Solleiro y Castañón, 2013; Monteagudo, 2021), así como otras trayectorias alternativas de académicos, consorcios públicos o de emprendedores, para contribuir con estrategias e innovaciones que aún se perciben como necesarias y factibles desde hace varios años (Pixley *et al.*, 2019).

En las evaluaciones regulatorias en México para introducir y producir un determinado producto de la biotecnología moderna, ya sea *modificado* (transgénicos, cis-génicos), o *editado* genéticamente,¹¹ es necesario que el Estudio de Riesgo que elaboran los promoventes, sea realizado según las disposiciones de dos normas técnicas, la citada para la ERA (NOM-ERA, 2017) y la correspondiente a los Reportes de Resultados (NOM-RR, 2013); ambas indican los insumos para el expediente regulatorio de cada caso, para dos fases de liberación. En la NOM-ERA, se incluye un diagrama de flujo de sus etapas y una serie de formularios para facilitar su aplicación; en su elaboración se consideraron conceptos, antecedentes y procedimientos actualizados para este tipo de instrumento regulatorio.¹² El mismo trabajo de deliberación, consenso y redacción bajo el esquema procedimental, diseñado específicamente para riesgos ambientales de la fase experimental, perfiló posibilidades reales de utilizarse para generar y evaluar *hipótesis de riesgo* de tipo socioeconómico, socioambiental e incluso sociocultural, para formalizar y fortalecer la ERA requerida en la fase de programa Piloto.

¹¹ La edición de genes (o genomas) recurre a un conjunto de estrategias donde participan *Nucleasas Dirigidas a Sitio* (SDN) y mecanismos naturales de reparación del genoma y pueden prescindir de inserciones transgénicas.

¹² Las referencias principales derivan de foros, acuerdos y documentos en sitio web del Secretariado de Protocolo de Cartagena, conocido como el *Biosafety Clearing-House* y las reuniones de países Parte de COP-MOP, así como diversas publicaciones y actividades de una comunidad dedicada a disciplinas y prácticas relacionadas, representada por la *International Society for Biosafety Research*.

EL ENFOQUE PRECAUTORIO EN BIOSEGURIDAD ESTÁ INMERSO EN LA NOM-ERA

Antes de proseguir con los aspectos metodológicos, es fundamental insistir en la coherencia de las etapas de la ERA en general y de los procedimientos la NOM en particular, en relación con sus diversas previsiones para atender la inclusión del Principio Precautorio. A fin de armonizar la aplicabilidad y funcionalidad de múltiples principios derivados de la Ley, los grupos de trabajo que elaboraron la NOM-ERA, realizaron foros de consulta y talleres de prueba antes de su expedición; en ambos casos se contó con participantes de varias instituciones académicas y otras profesionales con experiencia en el sector productivo y regulatorio. El proceso implicó cinco años de trabajo y la aprobación de varias instancias oficiales en diversas materias.

El enfoque procedimental de esta norma permite analizar científicamente posibles riesgos de bioseguridad con OGM; es decir, elaborar hipótesis, diseñar experimentos, medir comparativamente y, con la mayor precisión, interpretar y discutir los resultados, para aportar información suficiente para los procesos de toma de decisiones, más allá de las rutinas administrativas y burocráticas inherentes a procesos regulatorios. Como se ha mencionado, la ERA de OGM se realiza “caso por caso”: donde un caso se refiere a la conjunción de 1) una modificación genética específica y localizada: el evento ; 2) la especie biológica (cultivada) que recibe tal modificación, y 3) el ambiente receptor, que en el caso mexicano se refiere a regiones ecológicas definidas y catalogadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Las evaluaciones se hacen asimismo “paso a paso” requiriendo, primero, una Fase de Liberación Experimental con requisitos bastante rigurosos (LBOG, art. 42-49) (RLBOGM, art. 16). Las siguientes fases, que pueden ser inmediatas, repetibles pero acopladas con los ciclos agrícolas, son consideradas pasos subsiguientes e interdependientes: la Fase en Programa Piloto (precomercial) y la Fase Co-

mercial propiamente dicha, son permitidas cuando se han satisfecho los diferentes requisitos, condicionantes y verificaciones de las liberaciones previas. En resumen, visualizando todos los procedimientos de diagnóstico, planeación, experimentación, documentación, evaluación, dictaminación y monitoreo se evidencia una incorporación explícita e implícita del Enfoque Precautorio (art. 9 fracc. xv) (Cibio-gem, 2015: v-xv).

En las ocasiones en que se ha pretendido invocarlo o aplicarlo para negar permisos, han sido como una medida adicional, emergente o extrema, cuando en realidad está imbuido a lo largo del proceso (Tejada Zacarías, 2019); es decir que la aseveración: “Cuando haya peligro de daño grave e irreversible [...] y no se tenga la certeza científica absoluta” implica suposiciones subjetivas y muy discutibles en casi cualquier caso (LBOGM, art. 9). Aunque no sea posible alcanzar ese tipo de certeza, hay en cambio aproximaciones comparativas precisas y confiables (“tan seguro como [...] tan inocuo con respecto a”); la incertidumbre se reduce a través del uso de parámetros, escalas y descriptores para la calificación de posibles daños o consecuencias. Además, la evaluación pretende establecer medidas consistentes con el nivel de riesgo caracterizado en cada caso. Esta interpretación justifica las pruebas de concepto (funcionalidad de la tecnología del evento), de eficiencia agronómica (ventaja intencional y significativa) y de interacciones ecológicas (ausencia de alteraciones en capacidades o susceptibilidades de la especie original), realizadas en la Fase Experimental. En el caso del Programa Piloto, se hace una estimación comparativa de algunos beneficios socioeconómicos y ambientales potenciales (p. ej., menos emisiones, uso eficiente del agua, reducción de labores inseguras, etc.), que reducen no sólo la incertidumbre de los objetivos originales, sino dan soporte a su viabilidad y seguridad.

LA “FORMULACIÓN DE PROBLEMAS” EN FUNCIÓN DE METAS DE PROTECCIÓN

En la NOM-ERA se integró la perspectiva de “Una sola salud” (One-Health) como procedimientos para elaborar y probar “Hipótesis de Riesgo discernibles” (HRS). Esto significa que deben articularse proposiciones secuenciales con base en planteamientos lógicos y empíricos practicables, para suponer cómo ocurrirían posibles efectos adversos que fueran ocasionados (exclusivamente) por un OGM y de cómo prevenirlos (ILSI-Brasil, 2012, Wolt, 2019). Para proceder a elaborar las hipótesis (o “problemas” a prever), se requiere vislumbrar cuáles son las cuestiones que son efectivamente reguladas por autoridades agrícolas y ambientales (y de salud). La protección, vigilancia o resguardo de una serie de valores u objetos que las autoridades tutelan está establecido jurídicamente y en la misma LBOGM se justifican genéricamente, los valores económicos, sociales, ambientales y culturales relacionados con los recursos y actividades en sanidad vegetal, sanidad animal y acuícola en un caso, así como los sistemas forestales y vida silvestre, en el otro, y están, además de los aspectos de salud pública incluidos en cada la jurisdicción.

Algunas entidades como: Conabio, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), INECC y Cibogem han asumido en su ámbito de competencia la preocupación por otros riesgos, considerados también de naturaleza “ambiental”, para diversos componentes biológicos, sociales y culturales, tales como las razas nativas, la agricultura campesina, los parientes silvestres, el patrimonio biocultural y otras entidades que podrían ser reconocidas como “Consideraciones socioeconómicas”, aunque no están especificadas en la LBOGM ni en las NOM.

Es ahí donde radica una disociación que ha complicado la aplicación y evolución del marco regulatorio. En esta propuesta y sus ejemplos, se pretende armonizar procedimientos desarticulados del proceso regulatorio, evitando exclusiones ineficaces, y promover la discusión entre distintos actores, mostrando partes del desarrollo

del Estudio de Riesgo con casos hipotéticos o concretos. Por ahora se señalará que la finalidad de elaborar Hipótesis de Riesgo es diseñar esquemas comparativos para demostrar, con todo el rigor formal y práctico en su preparación y prueba, que sea falsa o muy improbable. Hablando en este contexto, que los riesgos de consumir, cultivar o procesar un OGM, con respecto a otras variedades o tecnologías convencionales fueran, al menos, iguales o menores (no hay riesgo cero). Si bien al falsear una explicación, mecanismo o un modelo, no se demuestra que la o las hipótesis alternas sean ciertas, tal prueba las haría más plausibles, reduciendo el nivel de riesgo o inclusive, haciéndolo insignificante. Por ello, es importante definir cómo se construyen las hipótesis y cómo es que podrían refutarse. Al definir las características o actividades diferenciales (exclusivas) de un OGM (véase el cuadro 1) y visualizar las “Metas de protección” relacionadas con la bioseguridad en su acepción amplia (véanse los cuadros 2 y 3), deben encontrarse relaciones consistentes entre alguno de los pares (cómo afectaría una característica a una meta), de modo que pudieran resultar en efectos adversos, daños o consecuencias desfavorables para uno o varios componentes concretos y/o representativos que se incluyen en esa meta. Para su tratamiento, estos componentes se conforman como “Puntos Finales de Evaluación” (PFE), lo que permite redactar una Hipótesis de Riesgo con carácter predictivo.

CUADRO 1
TIPOS DE ATRIBUTOS DE UN OGM RESPECTO DE SU COMPARADOR
QUE SON CONSIDERADOS COMO FACTORES DE RIESGO EN BIOSEGURIDAD
EN LA NOM DE EVALUACIÓN DE RIESGO PARA OGM

Tipo de diferencias con el comparador/ equivalente genético, u opción tecnológica convencional	Elemento específico y productos de la combinación genética novedosa	Características de la diferencia
Genotípicas	Referencia específica al o los genes, fragmentos o elementos genéticos de la construcción o edición en el evento	Características estructurales del inserto (tamaños, núm. de copias, segregación, etc.)
Fenotípicas	Referencia directa a los productos transcripcionales (ARN) o traduccionales (enzimas, reguladores, etc.) y de los cambios fisiológicos derivados de la inserción y/o delección	Capacidades funcionales inducidas, incrementadas o reprimidas específicamente por efecto de nuevos productos o su ausencia
De uso o destino	Referencias de las prácticas, paquetes tecnológicos y/o procesamientos distintos o necesarios para su aprovechamiento	Cambios en actividades antes, durante y después del cultivo, que pudieran ser factores de riesgo

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 2
POSIBLES EFECTOS ADVERSOS EN ALGUNAS METAS DE PROTECCIÓN EN BIOSEGURIDAD Y POTENCIALES
CONSECUENCIAS CONTEMPLADAS EN LOS ESTUDIOS DE RIESGO

Ámbitos de análisis		
Normativo	Funcional	Causal/ contextual
Objetivos/ metas de protección en bioseguridad	Posible efecto adverso atribuible al evento transgénico/ caso	Riesgo de daño grave E irreversible (consecuencias al el punto final de evaluación)
Salud humana productores, usuarios	Que la proteína recombinante resulte tóxica, alérgica o se acumule en algún tejido u órgano	Mayor propensión a enfermedades autoinmunes, infecciosas, o degenerativas (productores, población infantil, adultos mayores)
Sanidad vegetal (cultivos)	Que la inserción afecte la expresión de otros genes o mecanismos regulatorios de los cultivos	Aparición de especies invasoras, alelopáticas o menos productivas; afectaciones significativas en la riqueza o distribución de especies (cultivos equivalentes o asociados)
Sanidad animal (ganado mayor o menor)	Que los alimentos o residuos derivados de este cultivo resulten perjudiciales para las dietas del ganado	Pérdidas notables en productividad y/o competitividad de ganaderos, productores avícolas; afectaciones a vida silvestre asociada (especies representativas)
Sanidad de especies en crianza acuícola	Que los alimentos o residuos derivados de este cultivo resulten perjudiciales para las dietas en acuicultura	Pérdidas notables de productividad y/o competitividad de granjas o acuarios; afectaciones a especies silvestres (criaderos y especies locales)
Factores bióticos biodiversidad	Que el atributo diferente modifique parámetros críticos de la vegetación próxima, la microbiota del suelo, de fitófagos/ herbívoros; vida silvestre o grupos indicativos de la cadena trófica	Afectación directa o continua en servicios ambientales y/o en la conservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad (con <i>EIQ</i> : <i>Cociente de Impacto Ambiental</i>)
Factores abióticos ambiente físico-químico	Que el atributo diferente modifique algún parámetro crítico en la disponibilidad o calidad del agua, aire, temperatura o nutrientes del suelo	Deterioro significativo en disponibilidad o calidad de RN (monitoreo bajo valores normativos)

Fuente: Elaboración propia

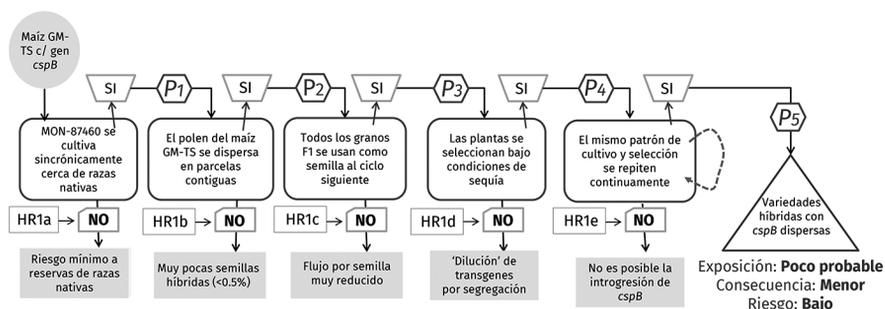
Cuadro 3
EFFECTOS ADVERSOS POSIBLES A LAS METAS DE PROTECCIÓN
ASOCIADOS A “CONSIDERACIONES SOCIOECONÓMICAS” QUE PUEDEN ABORDARSE
EN LOS ESTUDIOS DE RIESGOS EN LA FASE DE PROGRAMA PILOTO

Ambitos de análisis			
Jurídico	Funcional	Causal/ contextual	
Objetivos de protección en legislación nacional	Posible efecto adverso atribuible a evento transgénico/ caso	Riesgo de daño grave e irreversible (consecuencias en la ecorregión o agroecosistema)	
Socioeconómico (acceso, rentabilidad/ productividad)	Que la adopción de cultivos GM genere pérdidas significativas por rendimiento, insumos, resistencia o inestabilidad	Costos de producción inviables, nula calidad fitosanitaria, nutricional, o susceptibilidad extrema a siniestros	
Socioambiental (utilidad, compatibilidad, equilibrio ecológico)	Que la estabilidad o capacidad productiva del entorno se altere, afectando a agricultores	Incremento continuo en erosión o infertilidad de suelos; contaminación de aguas superficiales o profundas; mayores emisiones de GEI	
Sociocultural (inclusión, equidad)	Que se modifiquen negativamente las prácticas agrícolas y la identidad biocultural regional	Erosión genética o pérdidas irrecuperables de germoplasma, emigración de productores sin recambio, desaparición definitiva de prácticas tradicionales sustentables	

Fuente: Elaboración propia

En la Etapa I de la ERA se elaboran hipótesis discernibles (legibles, falsificables, medibles) como primer paso del Estudio de Riesgo. En la etapa subsiguiente del proceso es necesario desagregar para cada una, la serie de situaciones que debieran ocurrir bajo una secuencia causal, para llegar al evento adverso y, eventualmente, a sus consecuencias (véase “Ruta al Daño”, Etapa II; fig. 2 y cuadro 4).

FIGURA 2
EJEMPLO DE UNA “RUTA AL DAÑO” PARA UNA HIPÓTESIS DE RIESGO EN UN CASO MAÍZ GM-TS (TOLERANTE A SEQUÍA, cf. TABLA 4)¹³ [ADAPTADO DE ILSI-BRASIL, 2012]



En este procedimiento es posible realizar un descarte o valoración inicial de la HR. Cada OGM será comparado contra la misma especie en cultivo, preferiblemente contra la misma variedad, denominada isogénica, que no ha sido sujeta a la modificación genética y por tanto es necesario someterlas a los mismos tratamientos para revelar resultados cruciales y significativos, positivos o negativos, del desempeño de ambos.

¹³ La hipótesis de riesgo considera un daño potencial en el ámbito socioambiental (afectación a la agrobiodiversidad de razas nativas regionales de maíz). La ruta comprende una secuencia de suposiciones causales y comparativas que, a través de la documentación y/o experimentación permitirían validar o corroborar (bajo los niveles de ocurrencia respectivos), cada paso de la ruta. La posible consecuencia final se presentaría siguiendo la ruta de "SI" (con su estimación de probabilidad de ocurrencia [P_n] o bien, su inviabilidad (cuando en algún paso "se rompe la cadena" con un "NO"). La caracterización final del riesgo de este ejemplo se incluye en el cuadro 5.

Cuadro 4
EJEMPLO DE LA EVALUACIÓN DE UNA HIPÓTESIS DE RIESGO EN LA ETAPA II DE LA NOM
UTILIZANDO EL ESQUEMA TABULAR DE LA RUTA AL DAÑO (cf. FIG. 2)
Hipótesis de riesgo (HR-1)/ potencial de daño para maíz gm-TS

Núm. de Paso crítico	Condición requerida en la "Ruta al Daño"	Ocurrencia	Evidencia/ Argumento	Ref. ¹⁴
HR1a	El cultivar (cv.) GM se siembra de forma sincrónica y contigua con variedades nativas	Poco posible	La mayoría de germoplasma mejorado se cultiva bajo riego en ciclos agrícolas y regiones separadas. La regulación actual impide siembras en regiones consideradas CO y DG	A, B
HR1b	El polen del cultivar (cv.) GM se dispersa ampliamente esa región	Muy poco posible	El polen de maíz tiene una viabilidad temporal y alcance espacial muy limitados, más allá de 50 m.	A
HR1c	Los granos de la generación F1 de cruzas entre maíces nativos y (cv.) GM son seleccionadas como semilla para temporal	Poco posible	Con las frecuencias reportadas de infiltración de transgenes, el porcentaje sería muy bajo (<0.5% en promedio)	C
HR1d	Las plántulas de 2 ^a generación resultantes de cruzas del (cv.) GM y razas nativas son indistinguibles	Muy poco posible	La segregación de caracteres mejorados y los de diversas razas nativas se manifiesta claramente en ausencia de selección	D
HR1e	Las mazorcas y granos son seleccionadas solamente por su fenotipo GM	Poco posible	Solo ocurriría si se descartan caracteres raciales en segregantes, con un fenotipo GM muy determinante	RR
HR1-n	(-)	(-)	(-)	
HR1-F	Variedades nativas con infiltración masiva de transgenes	Poco Posible	Las estimaciones actuales de infiltración y los modelos de dispersión...	D

Fuente: Elaboración propia

¹⁴ Referencias típicas del ejemplo: 1) Art. 88, LBOGM y "ACUERDO por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz", *Diario Oficial de la Federación*, viernes 2 de noviembre de 2012; 2) Baltazar y otros (2013), *PLoS-ONE*; 3) Reportes del CNROGM, INECC y Cinvestav; RR. Reporte de Resultados de Permiso de liberación; 4) Padilla, Pixley, Molina y Cordova (2016), *cop13-MOP8/ Cancún; Padilla y otros (2017) 14-tSBGMO/ Guadalajara*.

LAS CLAVES PARA EVALUAR Y GESTIONAR UN RIESGO

El desarrollo de un Punto Final de Evaluación se conforma con: una “Unidad de análisis” que sea relevante, representativa y concreta a partir de las metas de protección, asociada con un atributo que sea medible y del que existan referencias o “líneas base”, determinadas por autoridad competente. Cada atributo de la unidad de prueba deberá ser evaluado con respecto al comparador en un contexto de tiempo y espacio razonablemente definidos. De esta forma un PFE usualmente considerado es, por ejemplo, “abundancia de abejas (*Apis mellifera*) en el sitio de liberación, durante dos ciclos continuos de prueba”.

En este caso, este PFE proviene de la consideración de metas de protección en servicios ambientales y productividad. Se plantearía que un efecto adverso (debido, p. ej., a una proteína o un metabolito diferencial en el OGM), sería la disminución significativa de las poblaciones o un deterioro en su actividad y productividad estacional; la consecuencia al final de esta posible ruta, serían afectaciones a la polinización, y en general, a la producción de diversos cultivos alimentarios; pero tiene que probarse la conexión. Para el caso de otras metas de protección, incluidas las CSE, opera la misma estrategia comparativa con otra actividad equivalente cuyo riesgo ya se ha estimado, ya que, en la diversificación de tecnologías y sistemas de producción agrícola, siempre existen riesgos aceptables o manejables con respecto a los beneficios que aporta.

Las prácticas de la producción agroalimentaria son perfectibles; esto se ha traducido en una serie de mejoras agronómicas, fitosanitarias y nutrimentales, en entornos muy bien caracterizados y a través de la cadena de valor. Este debiera ser también el criterio fundamental para evaluar nuevos productos, y que un OGM pueda demostrar ser “tan o más seguro”, y a la vez “más ventajoso” (en costo, tiempo, energía, acceso, etc.) respecto de la manera en que se producen otros bienes en una región y en un periodo, independientemente de la tecnología que se haya utilizado para obtenerlo, pero como se ha dicho, de manera secuencial y específica.

EXTENDER LOS PRINCIPIOS Y PROCEDIMIENTOS DE LA ERA EN OTROS CONTEXTOS DEL PROCESO REGULATORIO

Se desarrollará una síntesis de cómo utilizar y ampliar formalmente el enfoque y procedimientos de la NOM-ERA para abordar los efectos sociales y económicos. La propuesta ha sido sugerida previamente en foros sobre evaluación y desarrollo regulatorio (Padilla y otros, 2016; 2017). Con base en las hipótesis discernibles sobre riesgos potenciales relacionados a CSE es también necesario elaborar y analizar “Rutas al daño” que puedan ser valoradas cuantitativa o cualitativamente, usando indicadores relevantes para examinar o documentar una serie de causalidades subsecuentes, cuyas predicciones puedan ser investigadas directamente en campo y/o a través de evidencias derivadas de la “transportabilidad” de datos (García-Alonso *et al.*, 2014).

En los pasos cruciales de cada “Ruta al daño”, se asignan valores de ocurrencia o exposición, con base en descriptores comunes (NOM-ERA, 2017). Esto puede llevar a brindar argumentos decisivos que prácticamente invaliden toda una hipótesis. Después de justificar tales valores de ocurrencia o frecuencia de exposición, se prosigue de determinado estimaciones de la severidad de los efectos adversos y/o las posibles consecuencias, si estas se presentaran de cualquier forma. En la NOM-ERA existe el requerimiento especial de evaluar éstos bajo tres dimensiones de riesgo (espacial, temporal y de reversibilidad), cada una de las cuales cuenta asimismo con descriptores, para examinar con más detalle este componente del riesgo bajo escalas específicas y discretas (Etapa III).

Los procedimientos de la Etapa IV permiten estimar más adelante, el Nivel de Riesgo al relacionar cada una de las determinaciones de severidad/ gravedad vs. ocurrencia/exposición, para cada hipótesis. Esta caracterización ubica a cada riesgo potencial en una categoría para, en cada caso, determinar si hay riesgos mayores que otros; establecer si el riesgo es manejable, o bien, si hay maneras de modificar algunas componentes o prácticas que hicieran disminuir la exposición, o atenuar los efectos (véase el cuadro 5). Esto da oportunidad

de disponer de medidas verificables para evitar, prevenir o mitigar el riesgo evaluado. Estas medidas incluyen, entre otras, el monitoreo de ciertos indicadores (en cultivo, en el procesamiento y el comercio), así como la comunicación y la capacitación de productores, comerciantes y usuarios a cargo de otros actores (Etapa v).

Algunas medidas de bioseguridad son equivalentes a repertorios formales de “buenas prácticas” (de campo, de comercio, de consumo; existe asimismo un programa específico de la agroindustria denominado *stewardship* o “acompañamiento en la cadena productiva”). En el caso regulatorio mexicano, existen inclusive procedimientos para la consulta y seguimiento de buena parte del proceso regulatorio, por medio de Consultas Públicas y también de Consultas a Comunidades Indígenas (cuando sus territorios quedaran comprendidos en las áreas de liberación solicitadas). La utilidad de la NOM-ERA es fundamental para homologar ciertos términos, escalas relativas e interpretaciones de las autoridades competentes (Pérez *et al.*, 2018).

Para México disponemos de reglas adicionales en bioseguridad del maíz, para proteger razas nativas y parientes silvestres; para fomentar el aprovechamiento sustentable del germoplasma nacional y para incentivar la investigación, todo ello plasmado en la LBOGM (Cibiogem, 2015) y su Reglamento, a través del “Régimen de Protección Especial del Maíz” (RPEM) y de modo especial en el contenido del “Acuerdo intersecretarial sobre Centros de Origen y Diversidad de maíz en México”, derivado del art. 86 de la LBOGM (DOF, 2012).¹⁵

¹⁵ En este Acuerdo se especifican cuáles son los extensos polígonos en donde no está permitido llevar a cabo actividades con maíces GM, en al menos siete estados del país (DOF, 2012)

CUADRO 5
RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE RIESGO EN BIOSEGURIDAD, DE ACUERDO CON LA NOM-ERA,
PARA TRES HIPÓTESIS DE UN EVENTO MAÍZ GM TOLERANTE A SEQUÍA,
INCLUYENDO CONSIDERACIONES SOCIOECONÓMICAS Y SOCIOAMBIENTALES

efecto adverso	Daño a la meta de protección	Exposición (ocurrencia)	Consecuencia	Nivel de riesgo	Medidas de BioSeg
Efectos adversos a procesos microbiológicos del suelo	Disminución progresiva de la fertilidad del suelo (Socioambiental)	Muy poco posible	Marginal	Insignificante	Adecuación del paquete tecnológico y monitoreo de la calidad de suelo
Efectos adversos de prácticas agronómicas alternativas (manejo del agua) en el agroecosistema, y unidades productivas	Afectación negativa al rendimiento agronómico y economía rural (Socioeconómico)	Muy poco posible	Marginal	Insignificante	Vigilancia de pronósticos climáticos y previsión de regímenes de riego auxiliar
Flujo masivo de genes de cultivares GM a variedades nativas o locales (incluyendo "Centros de origen")	Pérdida de identidad genética de cultivos endémicos / razas locales (Sociocultural)	Poco posible	Menor	Bajo	Siembras desfasadas dos semanas y/o en regiones separadas

Fuente: Elaboración del autor utilizando los formularios de la NOM-ERA (datos de evaluación no publicados).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS PARA UNA CONVERGENCIA TRANSDISCIPLINARIA

A nivel local no se han difundido ni discutido suficientemente los pasos y aplicación de la NOM-ERA en su contexto ambiental, ni su correspondiente extensión a las consideraciones socioeconómicas, como ha ocurrido para otros países (Horna *et al.*, 2017).

La inclusión opcional de las consideraciones socioeconómicas en el proceso regulatorio ha sido un asunto controvertido a nivel global, pero en multitud de casos evaluados existen antecedentes de que su tratamiento adecuado ha dado viabilidad a los procedimientos planteados y, en casos documentados, a la adopción de nuevos desarrollos. Estos avances regulatorios en México deberían surgir como parte de un plan multisectorial de modernización agroalimentaria y agroindustrial, enfocado en lograr mayores beneficios al menor riesgo, considerando una dinámica tecnológica, productiva y comercial global que definitivamente se ha transformado en los últimos años. No obstante, hay consideraciones adicionales bien documentadas sobre cuestiones bioéticas y de derechos humanos (Monteagudo, 2021), que abonan a una reflexión productiva de cómo implementar esas consideraciones, en una metodología y un instrumento formal para hacerlo.

Sin ser opuestas o contradictorias con la biotecnología agrícola persisten proyectos e ideas sobre la caracterización, conservación y aprovechamiento de variedades vegetales, como propagación *in vitro*, registro de variedades, licencias públicas, marcas colectivas y emprendimientos con enfoque hacia la bioeconomía.

La biotecnología moderna también se complementa con otros avances en cultivos “huérfanos”, semidomesticados; estrategias para reintroducir genes ancestrales de variedades silvestres a las domesticadas, o bien, para la domesticación “rápida” de especies silvestres con potencial alimentario o medicinal; todo esto se ha acelerado al disponer de avances técnicos en las disciplinas ómicas (genómica y proteómica, metabolómica, etc.) incluyendo secuenciación masiva,

ingeniería metabólica y nanotecnologías. A pesar de la amplitud y utilidad de diversas prácticas culturales, continuará siendo necesario desarrollar nuevas variedades más adaptadas o más versátiles, bien caracterizadas, evaluadas y con atributos provenientes de otros genomas, tanto de variantes intra-específicas (p.ej., genes del teocintle en maíz), intra-genéricas (todo el acervo genético intercambiable entre los arrozos o los trigos), así como dentro de familias: genes de resistencia equivalentes en jitomates, chiles o papas silvestres, introducidos en variedades comerciales de las mismas especies. Esto no debe evaluarse con la parsimonia y bajo las valoraciones negativas e injustificadas de ciertas instancias gubernamentales, porque el uso sustentable de nuestra riqueza biocultural quedaría desprotegido y vulnerable a la biopiratería. Las Innovaciones del Mejoramiento Vegetal (IMV) son una oportunidad para potenciar nuestras capacidades científicas y técnicas en disciplinas naturales y sociales, en un entorno progresivo de gobernanza y regulación (GT-RET, 2018). Finalmente, se concluye que esta integración metodológica está en la base de un avance regulatorio sustancial que daría mayor salud académica, social y ambiental, al complementar investigaciones previas sobre el conocimiento, conservación y aprovechamiento sustentable de los múltiples recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en México, tendientes a una mayor autonomía y suficiencia en cantidad y diversidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Brookes, Graham y Peter Barfoot (2020). "GM crop technology use 1996-2018: farm income and production impacts". *GM Crops Food* 11(4): 242-261 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1779574>>.
- Chauvet, Michelle, R.L. González-Aguirre, R.E. Barajos-Ochoa, J. Castañeda Zavala e Y.C. Massieu-Trigo (2004). *Efectos sociales de la papaya transgénica. Una evaluación ex ante*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Chauvet, Michelle, J. Castañeda, P. Trigueros, A. González, Y.C. Massieu y R.L. González (2012). *Impactos sociales de la biotecnología: el cultivo de la papa. Efectos*

- sociales de la papaya transgénica. Una evaluación ex ante*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- Cibiogem (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados) (2015). *Orden jurídico nacional e internacional en materia de bioseguridad de OGM*. México: Cibiogem. ISBN 978-607-8273-14-0
- DOF-2012. “Acuerdo por el que se determinan los Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz”. *Diario Oficial de la Federación*, 2/11/2012 [en línea]. Disponible en <http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5276453&fecha=02/11/2012>.
- García-Alonso, Monica, P. Hendley, y F. Bigler (2014). “Transportability of confined field trial data for environmental risk assessment of genetically engineered plants: a conceptual framework”, *Transgenic Res* 23: 1025–1041,
- González-Aguirre, Rosa Luz (2004). *La biotecnología agrícola en México. Efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- GT-RET (2018). “Nuevas técnicas de mejoramiento de plantas (NPBTS): Elementos de análisis y recomendaciones sobre su enfoque regulatorio”. *Grupo de Trabajo de Reguladores y Evaluadores Técnicos en Bioseguridad*, coordinado por J.E. Padilla [en línea]. México: Cibiogem, 56 pp. [en línea]. Disponible en <bit.ly/NPBT-mx1>(URL corto al sitio de Cibiogem/Conacyt (consultado el 11 de noviembre de 2022).
- Gutiérrez-Galeano, Diego Fernando, R. Ruiz-Medrano, B. Xoconoxtle-Cázares (2015). *Estado actual de los cultivos GM en México y su contexto nacional e internacional*. Ciudad de México: Cinvestav-IPN (Zacatenco). ISBN 978-607-515-189-2
- Horna, Daniela, P. Zambrano y J. Falck-Zepeda (2013). *Socioeconomic Considerations in Biosafety Decision Making: Methods and Implementation*. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- ILSI-Brasil (2012). *Guía para la Evaluación de Riesgo de Organismos Genéticamente Modificados*, coordinado por Paulo Paes de Andrade, W. Parrott, M.M. Roca. São Paulo: International of LifeSciences Institute do Brasil.
- Monteagudo, Alejandro (2021). *Cultivos transgénicos: por qué sí, pero cuándo no. Una visión desde la ética y los derechos humanos*. Ciudad de México: Ubijus.
- Molano, Manuel (2017). *Impacto esperado del uso de la biotecnología en la producción de maíz en México (con más maíz habrá mejor país)*. México: Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C. (IMCO)
- NOM-ERA (2017). NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SAG-BIO/SEMARNAT-2017, “Por la que se establecen las características y requisitos que deberán contener los estudios de evaluación de los posibles riesgos que la liberación experimental de organismos genéticamente modificados pudieran ocasionar al medio ambiente y a la diversidad biológica, así como a la

- sanidad animal, vegetal y acuícola”. En el *Diario Oficial de la Federación*, 30/oct./2018 [en línea]. Disponible en: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5542425&fecha=30/10/2018>.
- NOM-RR (2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013, “Que establece las características y contenido del reporte de resultados de la o las liberaciones realizadas de organismos genéticamente modificados, en relación con los posibles riesgos para el medio ambiente y la diversidad biológica y, adicionalmente, a la sanidad animal, vegetal y acuícola”. *Diario Oficial de la Federación*, 3/ene./2014 [en línea] Disponible en <<https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-164-semarnat-sagarpa-2013>>.
- Padilla-Acero, Jaime Enrique (2014). “Bioseguridad: normatividad, infraestructura y experiencia nacional para la adopción de aplicaciones en biotecnología moderna. Inocuidad alimentaria y sanidad vegetal (forestal), animal y acuícola de los cultivos GM en México”. *El Cotidiano* 188: 59-65.
- Padilla-Acero Jaime, K. Pixley, E. Molinay y L. Cordova (2016), “Centers of origin, genetic diversity and biosafety: coexistence in agricultural development”. Ponencia presentada en la Octava Conferencia de las Partes que actúa como Reunión de las Partes del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología (UN-COP13-MOP8 on the CBD & CBP), Cancún, México. 4-17 diciembre de 2016.
- Padilla-Acero Jaime *et al.* (2017). “Technical specifications and procedural scope of the new Mexican Official Standard (NOM) for the environmental risk assessment of GMO”. Ponencia presentada en el 14th International Symposium on the Biosafety of GMO (ISBGM014), Guadalajara, México. 4-8 junio, 2017.
- Padilla-Acero, J.E. (2020) “Salir de la pandemia, entrar al T-MEC y aprovechar la biotecnología agrícola para la reactivación del desarrollo rural: modificaciones urgentes”, 61-72. En *Emergencia sanitaria por covid-19. Campo mexicano*, coordinado por N. González-Martín. Serie OTTRN, núm. 34, 61-72. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas-UNAM.
- Pérez, Eduardo, Marco Antonio Ramírez, Natalhie Campos-Reales *et al.* (2018). “Proceso de consulta indígena por la liberación de organismos genéticamente modificados (OGMs)/Secretaría Ejecutiva de la Cibiogem”. En *Experiencia del Gobierno Mexicano en consulta indígena*, 167-214. Ciudad de México: Cibiogem.
- Pixley, Kevin V., J.B. Falck-Zepeda, K.E. Giller *et al.* (2019). “Genome Editing, Gene Drives, and Synthetic Biology: Will They Contribute to Disease-Resistant Crops, and Who Will Benefit?”. *Annu. Rev. Phytopathol* 57:165-88.
- Rocha-Munive M.G., L.E. Eguiarte, M. Soberón

- (2018) "Evaluation of the impact of genetically modified cotton after 20 years of cultivation in Mexico". *Front BioengBiotechnol* 6:82. DOI: 10.3389/fbioe.2018.00082
- Solleiro-Rebolledo, J.L y R. Castañón-Ibarra (coords.) (2013) *Introducción al ambiente del maíz transgénico. Análisis de ocho casos en Iberoamérica*. México: Agrobio México y CamBioTec.
- Tejeda-Zacarías, M. (2019). "Análisis del principio precautorio ante la liberación de maíz, genéticamente modificado en México como su centro de origen: elementos para una evaluación de riesgo". Tesis de Licenciatura en Biología. México: F. Ciencias-UNAM. 172 pp.
- Wolt, Jeffrey D. (2019). "Current risk assessment approaches for environmental and food and feed safety assessment". *Transgenic Res.* 28: 111–117.

TERCERA PARTE

TENSIONES Y COLABORACIONES: ACTORES Y TRAYECTORIAS

Cartografía del maíz en México: controversias científicas y tecnológicas sobre la biotecnología en el espacio público

*Marcela Amaro Rosales
Rebeca de Gortari Rabiela
Eduardo Robles Belmont*

INTRODUCCIÓN

Se parte de la definición de controversia al disenso generador de diversos razonamientos con discrepancias entre los participantes del debate sobre un temas particular (Arribalzaga, 2017). En términos de la construcción del conocimiento y el desarrollo de la ciencia, pueden existir dos teorías científicas que tratan el mismo sistema de problemas o temas, pero con conclusiones o acercamientos contrarios (Bunge, 2000). La controversia surge precisamente porque existe conflicto sobre los resultados a los cuales se arriban. En dichas controversias se ven involucrados diversos elementos epistémicos, históricos, sociales, culturales y económicos.

La ciencia se ha guiado bajo la premisa de descubrir “la verdad” acerca del mundo; sobre los aspectos de la naturaleza que repercuten en la humanidad y el ambiente (Kitcher, 2001). Sin embargo, la objetividad y racionalidad que permean al avance científico siempre

están en medio de la controversia, de la disputa y de lo que Kitcher (2001) ha denominado la *microestructura del cambio científico*, donde se ubica la figura de dos tipos de personajes (aunque no los únicos): los veteranos que reflejan la mayoría de las veces las prácticas de consenso, y por tanto gozan de mayor credibilidad, y los aprendices, quienes usualmente son entrenados por los veteranos. En este trabajo es de especial importancia centrarse en los veteranos, no porque se identifiquen individualmente, sino por lo que representan en términos de la construcción de prácticas de consenso, entendidas como: un espacio que se constituye por un lenguaje común; una evaluación de preguntas significativas; enunciados aceptados; un conjunto de paradigmas de autoridad y criterios para identificar a dichas autoridades; experimentos, observaciones, instrumentos y criterios justificatorios y ejemplares, así como principios metodológicos (Kitcher, 2001: 126).

La controversia en la ciencia es común y la forma en que se superan dichos disensos es compleja e involucra diversos tipos de validaciones. Sin embargo, este trabajo se centra en la controversia científica y tecnológica en el espacio público, específicamente en la discusión que se presenta en medios de comunicación como la prensa, las entrevistas de divulgación y las conferencias para público no experto. Esta decisión parte del hecho de que no se pueden ignorar los conflictos sociales que provocan los desarrollos científicos (Pellegrini, 2019) y que la verdad no es única y alcanzable. Por el contrario, ésta podría ser manipulada o construida de acuerdo con diversos tipos de interés y cuyas disputas deciden y se resuelven por la distribución del poder.

Existen diversos esquemas analíticos para la exploración de las controversias científicas. Este trabajo se enfoca en la caracterización de temas y actores, fundamentalmente científicos, para analizar las relaciones que se establecen entre la ciencia y la sociedad a partir de la difusión de sus ideas y opiniones en los medios públicos. Ello permite identificar a los actores más influyentes, los cuales representan las prácticas de consenso antes mencionadas, así como sus conexiones y la red que existe entre cada posición. Se propone la idea de *alian-*

zas, la cual permite agrupar elementos coincidentes en las opiniones públicas de los científicos mexicanos.

En el caso de las controversias surgidas a partir del desarrollo y uso de la biotecnología en México, se toman en consideración fundamentalmente aquellas referentes a la relación del maíz con los transgénicos.¹

En el capítulo se plantea una cartografía social de la controversia, a partir del rastreo de los medios de comunicación, sobre todo de la prensa, lo que permitió tener un primer mapa de medios, actores y temas. A partir de ello, se llevó a cabo un análisis hemerográfico a través de la selección de algunas notas, entrevistas y conferencias donde participaron los actores veteranos que denominamos como referente. Es decir, aquellos que han establecido alianzas a partir de consensos frente a un tema.

En el caso de la relación de la biotecnología con el maíz, se identificaron tres posiciones o alianzas: aquella que avala y promueve la introducción de maíz transgénico, la que cuestiona y condiciona y, la tercera, que no avala y censura; aunque aquí se hace referencia a la primera y la última. Análisis que coincide con el estudio de Castro (2012) y Castro y Montpetit (2017) sobre el estudio de las coaliciones discursivas relacionadas con la introducción del maíz genéticamente modificado² en México. En el caso del trabajo citado han denominado “coalición de excelencia científica” a la posición que avala el uso e introducción de maíz transgénico en el país, frente a la coalición dis-

¹ Un organismo genéticamente modificado (OGM) es cualquier organismo al que se le ha alterado artificialmente el ácido desoxirribonucleico (ADN), lo cual puede implicar modificaciones y cambios de su propio ADN. Un transgénico es un organismo que se ha modificado a través de la inserción de ADN externo, lo que quiere decir que no pertenece a su genoma original (Murray y Maga, 2016). Una planta transgénica es aquella en cuyo material genético se han incorporado uno o más genes foráneos o propios previamente modificados en el laboratorio (Jofre y Álvarez, 2008). La diferencia se sintetiza de la siguiente manera: todo transgénico es un OGM, pero no todo OGM es un transgénico.

² En la generalización sobre el uso indistinto de los términos OGM y transgénicos, son estos últimos los que han causado controversias. Por ello se hace referencia en este trabajo a dicha distinción.

cursiva que defiende a la planta como símbolo cultural del país y por tanto rechaza el uso del maíz transgénico. Este estudio retoma ambas posiciones, no en términos del análisis del discurso, pero sí de la identificación de dos polos opuestos que buscan influir en la percepción pública a través de sus diversas participaciones en medios de comunicación. Dados los alcances y límites de esta investigación no se puede evaluar el impacto que tienen dichas opiniones en la toma de decisiones, sobre todo a nivel de políticas públicas. Sin embargo, se espera contribuir con la identificación de actores, grupos, posiciones y conflictos.

El capítulo se organiza de la siguiente manera: el primer apartado presenta una revisión de los distintos abordajes sobre las controversias científicas y tecnológicas. En el siguiente apartado se plantea el contexto de algunas de las controversias sobre la biotecnología en México. A continuación, se exponen las narrativas sobre los organismos genéticamente modificados (OGM) y en el último apartado se presenta la evidencia sobre las controversias en las noticias en línea sobre el maíz en México y su relación con la biotecnología. Este apartado se subdivide en dos: en el primero con alcance descriptivo se presentan las principales temáticas y en el segundo, un análisis hemerográfico sobre la dinámica y evolución en el tiempo de actores y confrontaciones entre las dos alianzas. Finalmente, son expuestas una serie de reflexiones finales sobre el trabajo y los hallazgos encontrados.

ABORDAJES SOBRE LAS CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Las controversias científicas y tecnológicas han sido objeto de interés de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología; así como desde la filosofía de la ciencia, las ciencias políticas, las ciencias económicas, la historia, entre otras disciplinas. En la literatura académica se encuentran marcos teóricos y metodológicos diversos en torno al estudio de las controversias científicas y tecnológicas. Sobresale la oposición entre los enfoques racionalistas y los relativistas; los primeros

reconocen que los enunciados científicos razonados, fundados en normas racionales científicas, son centrales en el desarrollo y cierre de las controversias. Mientras que los enfoques relativistas parten de la primicia que los argumentos racionales no son tan centrales, ya que los factores sociales son más determinantes en las controversias (Dhermy-Mairal, 2018; Peerbaye, 2004).

Varios conceptos y nociones han sido propuestos para abordar los estudios sobre las controversias en la ciencia y la tecnología, así como con la sociedad. El conflicto, la negociación, la concertación, el paradigma y los intereses, entre otros, son algunos de los conceptos que se pueden encontrar en estos estudios. Incluso, se podría decir que el estudio de las controversias en la ciencia y la tecnología ha dado una amplia apertura al desarrollo del campo de los estudios sociales de ciencia, tecnología y sociedad (CTS). Por ejemplo, en el desarrollo del enfoque de la Teoría del Actor-Red, donde las controversias científicas y tecnológicas han tenido un lugar privilegiado en estos estudios (Callon, 2006). Frente a este enfoque, las críticas se han centrado sobre su posición radical (Shinn y Ragouet, 2005), junto a críticas discutibles y carentes de precisión (Louvel, 2007). Lo anterior refleja que aún hay un debate abierto en torno al marco teórico para analizar las controversias científicas.

Por otra parte, en el contexto de las ciencias y tecnologías emergentes, la opinión pública ha ocupado un rol central en las controversias sobre los usos y aplicaciones de estas tecnologías (Bauer, 2005; Gutting, 2005). Tales han sido los casos de la tecnología nuclear, las biotecnologías y las nanotecnologías. La opinión pública sobre el desarrollo de aplicaciones de estas nuevas tecnologías tiene un peso importante en la toma de decisiones en las políticas públicas en ciencia y tecnología (Peters, 2005).

Es pertinente mencionar que en estos estudios se busca dar cuenta de las dinámicas de las controversias científicas y tecnológicas, para lo cual se movilizan recursos como la consulta de documentos históricos, documentos científicos, cartas de correspondencia y otros textos, así como la etnografía de laboratorio. Además, con el desarrollo

de las tecnologías de la información y la comunicación, se ha abierto una fuente interesante de posibilidades para explorar los medios de comunicación y las redes sociales. Lo que permite tener panoramas que salen del ámbito exclusivo de la esfera académica, al identificar los temas expuestos por la prensa especializada y no especializada.

En este trabajo para localizar y aglomerar posiciones similares o coincidentes en torno a las opiniones vertidas en el espacio público se propone agruparlas a través del concepto de *alianzas*. Como se mencionó previamente, coincide con el análisis de Castro y Montpetit (2017) en el cual identifican coaliciones discursivas en torno al maíz en México. Aquí se propone considerar a las *alianzas* como una aproximación a las prácticas de consenso (Kitcher, 2001) ya que, si bien no se analiza la práctica científica, sí se observa la exposición de elementos discursivos que representan consensos de opinión sobre la relación entre la biotecnología y el maíz en México. En este sentido, se plantean dos tipos de alianzas: la primera denominada alianza 1, la cual avala y promueve el desarrollo y uso de maíz transgénico y la segunda, llamada *Alianza 2*, la cual cuestiona y censura el desarrollo e introducción del maíz transgénico. A riesgo de simplificar, se reconoce que puede quedar fuera una variedad importante de posiciones, sin embargo, esto permite realizar la cartografía propuesta de una manera más esquemática y sencilla para observar las conexiones y controversias principales.

CONTEXTO DE LAS CONTROVERSIAS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Las controversias en la ciencia y la tecnología han estado acompañadas de polémicas internas y consensos que inciden en sus políticas. Es decir, de aquellos debates en relación con el conocimiento a partir del cual surge alguna innovación técnica o científica, cuyo uso, del que aún no se conocen con precisión sus efectos o sobre la que aún no se ha logrado generar un consenso, lleva a la creación de un espacio o arena en donde diferentes actores luchan por la necesidad de com-

prender lo que está ocurriendo y mostrar como cierta su versión, expresada generalmente en los medios académicos y públicos.

La controversia sobre los organismos modificados genéticamente (OGM) es una disputa sobre las ventajas y desventajas de sus usos, que se basa en diferencias epistémicas sobre los riesgos que pueden tener, y cuando llama la atención del público en general, el debate científico se potencializa a través de grupos de interés que pueden tener incidencia en la toma de decisiones (Von Schomberg, 1993). En la disputa se encuentran involucrados: consumidores, productores, compañías biotecnológicas, organismos gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, movimientos sociales y científicos, los que en conjunto promueven el debate. Las principales áreas de pugna se refieren al etiquetado de alimentos transgénicos, la regulación por parte de los gobiernos, el efecto de dichos alimentos en la salud y el medio ambiente, el impacto económico y su papel en la lucha contra el hambre.

Hasta ahora, los juicios que se han emitido en el campo de la biotecnología, sobre los efectos de la siembra de OGM y en particular sobre los transgénicos se encuentran a debate. Este es sólo un botón de muestra de la controversia, y del por qué desde la *Alianza 1* se expresa que no existen evidencias científicas de los efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal, así como en el medio ambiente. Frente a los argumentos de la *Alianza 2* que ha retomado diversos estudios donde se concluye lo contrario.

En México, las controversias sobre los OGM y el maíz han estado presentes desde hace varias décadas y se expresan a través de diferentes actores que demandan ser escuchados y juegan un papel en la opinión de sectores significativos en los diferentes grupos. Además de su participación en los debates sobre los efectos que pueden tener los OGM, se han generado regulaciones, leyes, normativas nacionales, medidas para su difusión, etc. Controversias que en conjunto, si bien no se han estabilizado, se pueden identificar las diferentes historias e interpretaciones de los actores (Callon, 1992) que son ubicadas a partir de una cartografía social de las controversias en torno a

la biotecnología con aplicaciones al maíz en México. Para ello el seguimiento de la prensa y otros eventos permite llevar a cabo una caracterización de la controversia a través de los actores y sus temas.

LAS DIFERENTES NARRATIVAS SOBRE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EN MÉXICO

Como se mencionó anteriormente, dentro de las narrativas se ubicó a dos grupos integrados en lo que se denominó: las alianzas. La primera conformada fundamentalmente por el grupo de veteranos, que son científicos de excelencia, reconocidos y premiados a nivel nacional e internacional, quienes han formado varias generaciones de recursos humanos e impulsado instituciones y nuevas líneas de investigación, denominados por algunos como “expertos”. La *Alianza 2* está constituida por una diversidad de actores no solamente científicos de disciplinas ligadas con la biotecnología, sino también de disciplinas sociales que participan en las controversias.

Para ello, de manera sintética se ofrece un panorama de la evolución que ha tenido la biotecnología en México, y el marco en el que se ubican los actores y sus narrativas. El desarrollo de la biotecnología en México es temprano, y sus orígenes pueden rastrearse desde la década de los cuarenta y cincuenta del siglo pasado, aunque su desarrollo institucional se considera que dio inicio a partir de finales de los años sesenta con el desarrollo de centros y unidades dedicados exclusivamente a la biotecnología como el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB) del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), el Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB-UNAM), el Centro de Investigaciones sobre la Fijación del Nitrógeno (Cefini-UNAM) y el Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología (Ciigebi-UNAM); así como el Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa (Casas, 1993). Dicho proceso de institucionalización también trajo consigo una primera controversia en torno a las labores de los centros y de sus investigadores; tal y como lo relata Casas (1993:

171) en el caso del Cinvestav, en la medida en que la clara orientación al desarrollo tecnológico (de estos centros) causó temor de que el centro se convirtiera en una “fábrica”, lo que provocó que algunos investigadores buscaran colocarse laboralmente en otros espacios de educación superior (Casas, 1993:171).

Lo anterior es otra muestra de que la tendencia de la biotecnología hacia el desarrollo tecnológico y las prioridades de investigación siempre han generado debates acerca del tipo de investigación que se realiza y los alcances de su aplicación, entre otros muchos temas más. Científicos como el doctor Carlos Casas Campillo o el doctor Guillermo Soberón son identificados como dos personajes fundamentales en la biotecnología mexicana, sobre todo por su contribución en el proceso de institucionalización. Pero fue sobre todo a partir de los trabajos precursores en ingeniería genética del doctor Francisco Bolívar Zapata, posteriormente el trabajo de ingeniería genética de plantas del doctor Luis Herrera Estrella, así como del de pesticidas con la doctora Mayra de la Torre por mencionar algunos, que se potencializó su impulso.

En palabras de quienes se denominan en este trabajo como la *Alianza 1*, la biotecnología pretende hacer un uso responsable y sustentable de la biodiversidad y el mejoramiento de la salud, además de contribuir al desarrollo agropecuario e industrial a través de la protección del medio ambiente (Bolívar, 2007). Desde esta alianza se argumenta que la biotecnología desarrollada a partir de los métodos con ácido desoxirribonucleico (ADN) que permitieron aislar genes de un organismo y transferirlos a otros, generando transgénicos, hizo que a partir de 1996 se comenzaran a comercializar y se sigan usando en cultivos de maíz, soya, arroz, entre otros, sin que existan reportes probados de daños a la salud y/o el medio ambiente.

En el caso de esta alianza, la narrativa desarrollada está basada en un discurso fundado en la práctica de la excelencia científica (Castro y Montpetit, 2017) a través de publicaciones científicas reconocidas nacional e internacionalmente y de la difusión de sus actividades en los medios con algunos ejemplos desarrollados en instituciones como

el Cinvestav Irapuato y el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio) del Cinvestav, ambos del Instituto Politécnico Nacional, y la empresa Stela Genómica.

A través de la revisión hemerográfica que se realizó, se identificó que la narrativa de la *Alianza 1* se ha concentrado en destacar diversos logros científicos. Y suelen destacar que todas estas son tecnologías desarrolladas por científicos nacionales que buscan tener impacto en México y otros países, las cuales, sin embargo, están en una situación paradójica, pues a pesar de que sus avances pueden contribuir a resolver problemas en el campo, también pueden quedar rezagadas pues se enfrentan a la prohibición de siembras experimentales y piloto, la falta de interés del gobierno, y por ende de financiamiento, y más recientemente a un retroceso en el papel del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

En lo que respecta a la narrativa desarrollada desde la *Alianza 2*, se identificó que existe cierto paralelismo con lo que sucede en torno al rechazo y la desconfianza en la opinión pública hacia los OGM con experiencias anteriores de productos como los insecticidas y los herbicidas, por sus efectos sobre la salud y el medio ambiente, a los que se agregan otros elementos. En primer término, la impresión de que los cambios sociales y tecnológicos contribuyen a una sensación de pérdida de control humano sobre la naturaleza y que es necesario retomar y modificar los procesos de apropiación y diversificación de la tecnología, como también de una visión anticolonialista (contrahegemónica) del modelo neoliberal, en donde se argumenta que dicha tecnología ha aumentado las ganancias que reciben las empresas, frente a los escasos o nulos beneficios para los agricultores (Arancibia, 2013). A los que se agregan, en el caso mexicano, la discusión sobre la conservación del maíz criollo y la milpa como sistema productivo, en tanto centro de origen y domesticación ancestral. Los que en conjunto han contribuido a minar la confianza en los biotecnólogos, en las autoridades reguladoras y las empresas.

Frente a lo anterior, desde la aparición de los primeros resultados en biotecnología que han significado una revolución para la agricul-

tura y en otros ámbitos, se ha ido construyendo un movimiento organizado por parte de grupos activistas que comprende productores, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) organizaciones de científicos, entre otros, de diferentes latitudes para conseguir la prohibición y/o la moratoria a su uso tanto a nivel internacional como nacional, que divide a los científicos con otros actores en términos de hechos y conocimiento objetivo por un lado y de otro de factores subjetivos y éticos (Motta, 2014). Como puede observarse, la narrativa de la *Alianza 2* se ha compuesto de múltiples agentes que van más allá de los grupos de científicos. En ese sentido, se reconoce que se tienen limitantes para analizar dicha complejidad de actores, es por ello que en este trabajo solo se analizan los actores denominados científicos, entre los que se considera, en general, a todos aquellos que participan en la discusión pública, ya sea desde las ciencias naturales y las ciencias sociales y humanidades.

Para algunos autores, los planteamientos de estos movimientos, por una parte, son pseudo controversias en la medida en que una parte se da fuera de la comunidad científica basada en errores y mala información, que en algunos casos provienen de la comunidad científica y en otros de revisiones de alumnos con un tratamiento anticientífico e irresponsable (Miller *et al.*, 2008). Por otra, a través de la publicación de artículos en revistas de reconocimiento científico a nivel internacional como *Nature* en 1992 y 1997, y posteriormente en *Lancet* en 2007, en donde se pueden observar fallas de los editores, de igual manera que en negligencia y parcialidad en la revisión por pares (Miller *et al.*, 2008)

Además, existen importantes disputas frente a la existencia de diferentes tipos de riesgos por la contaminación de otros cultivos y problemas de coexistencia. El tema en disputa sobre el argumento de que las plantas transgénicas comercializadas no son tan fértiles como las convencionales; así como la creencia de que las semillas deben cambiarse anualmente. Estas controversias que se han levantado desde la *Alianza 2*, las cuales han sido calificadas desde la *Alianza 1* como falacias y contrasentidos, dado que a pesar de la moratoria que pro-

hibe su cultivo en México, se importan grandes volúmenes de maíz amarillo transgénico.³

CONTROVERSIAS EN LAS NOTICIAS EN LÍNEA SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA Y EL MAÍZ EN MÉXICO

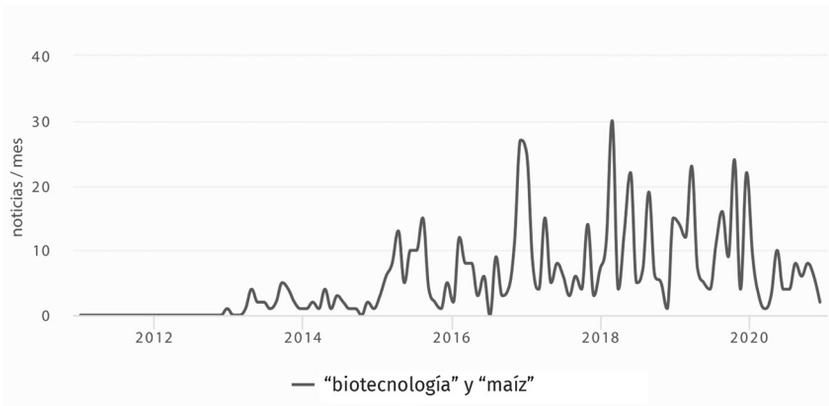
Para identificar las controversias en torno al maíz y la biotecnología en México se utilizó el explorador de Media Cloud, el cual es una plataforma en línea de código y datos abiertos que permite recuperar, almacenar y visualizar noticias en línea.⁴ La reacción de Media Cloud es un proyecto desarrollado en el Berkman Center for Internet y Society la Universidad de Harvard, y en el Center for Civic Media, en el MIT. El explorador de Media Cloud es una herramienta que permite acceder a información de noticias en México, ya que cuenta con una colección de 693 fuentes de información de medios de comunicación de noticias en línea localizados en México. La estrategia de búsqueda empleada está conformada de las palabras “Biotecnología” y “Maíz”, las cuales han sido cruzadas con el operador booleano AND, con el fin de identificar las noticias que contengan solo estas dos palabras en el cuerpo textual.

³ A partir de una nota en la *Gaceta de la UNAM* (López, 2017) el grupo encabezado por Elena Álvarez Buylla “Invasión de maíz transgénico”, se informó que se había hallado transgénicos en 82% de productos comerciales producidos con maíz y de la presencia de glifosato. A lo cual el 6 de noviembre respondieron Francisco Bolívar Zapata, Luis Herrera Estrella y Agustín López-Munguía, que los transgénicos en productos de maíz en México no es nada nuevo, dado que su consumo está autorizado desde 1996 y que el país importa anualmente de Estados Unidos más de 10 millones de toneladas de maíz, 90% del cual es transgénico. Aclaran, además, que “Los alimentos modificados genéticamente son los más estrictamente evaluados [...], y a la fecha no se ha reportado daño derivado de [su] consumo para la salud humana o animal”. Finalmente explican que no se especificó qué cantidad de genes transgénicos se halló en los productos y que, de acuerdo con datos del artículo antes mencionado, muestran que casi 60% de los analizados contienen menos de 5%, por lo que según las normas internacionales califican como “libres de transgénicos”.

⁴ Para conocer más detalles de Media Cloud visitar el sitio web <<https://mediacloud.org>>.

A partir de 2013 se identificó un total de 680 noticias con el explorador de Media Cloud (véase la gráfica 1). Los datos disponibles fueron almacenados y revisados para identificar errores de descarga o indización, de manera que 2.7% de la información fue corregida: título de la noticia, fecha de publicación en línea, nombre del medio de noticias, URL de la página web. La siguiente etapa consistió en crear una base de datos para poder analizar los resultados con otras herramientas para análisis y minería de texto. Sin embargo, en la medida en que el idioma utilizado en la plataforma Media Cloud es el inglés, se vio limitado el uso de la herramienta a través de la identificación de las noticias en línea y su visualización en una nube de palabras. Lo anterior hizo que el uso de la plataforma fuese sólo para identificar las noticias en línea y hacer un análisis de las palabras más representativas y su visualización en una nube de palabras.

GRÁFICA 1
PUBLICACIONES MENSUALES DE NOTICIAS
EN MÉXICO SOBRE BIOTECNOLOGÍA Y MAÍZ



Fuente: elaboración propia con resultados de la plataforma Media Cloud.

En el análisis de los datos para identificar las temáticas en las controversias en torno a la biotecnología y el maíz en México se limitó a analizar los títulos de las noticias en línea con la herramienta T-Lab. El software T-Lab es un conjunto de aplicaciones lingüísticas, estadísticas y gráficas para el análisis de texto. Para este estudio se aplicó el módulo de análisis temático⁵ para identificar patrones en las palabras clave obtenidas en los títulos de las noticias reconocidas. Dicho análisis parte de la identificación de contextos elementales de observación (caracterizado por los patrones a partir de las coocurrencias de las palabras) y unidades lexicales (palabras y lemas), para luego calcular los pesos de los términos en el corpus (medida TF-IDF) y hacer la clusterización de las unidades de contexto (método no supervisado con *K-means*); de los resultados se obtienen cuadros de contingencia para cinco clústeres identificados.

Principales temáticas

Los resultados para identificar las controversias sobre la biotecnología y el maíz en el espacio público (noticias en línea, en este caso) en México se presentan en dos partes. La primera es la nube de palabras representativas en el corpus de las 680 noticias (véase la Imagen 2). En esta Imagen se puede apreciar en términos generales que las controversias en torno a la biotecnología y el maíz se insertan en debates más amplios sobre el cultivo de otros granos y cereales (soya, trigo, frijol); el marco regulatorio del uso de transgénicos (ley, permite, permiso, etc.), así como su comercialización (consumo, comercial, etc.). Estos términos reflejan lo que se entiende como parte de las controversias clásicas en torno a la aplicación de la biotecnología en el maíz. Además, se identificaron en esta misma imagen algunas palabras que

⁵ En estas líneas presentamos los pasos de este método de forma resumida, para tener más detalles de cada uno de los pasos del Análisis Temático de T-Lab se puede visitar la página web: <https://tlab.it/es/allegati/help_es_online/mreper.htm>.

controversia que tuvo lugar sobre la producción de biocombustibles y la pertinencia o no de usar cierto tipo de cultivos. Después existe otra controversia en torno a la producción de bioplásticos y allí también aparecen instituciones educativas, así como el Tratado de Libre Comercio, el cual sin duda ha sido un elemento fundamental en las controversias públicas. Finalmente, son nombradas controversias tradicionales al clúster donde aparecen temáticas sobre la salud, el deterioro de los suelos, el uso de fertilizantes y lo que podría implicar el uso de transgénicos en general. Sin duda, lo anterior solamente permite tener una fotografía de temáticas sólo descriptivas, ya que analizarlas profundamente implicaría revisar cada una de las notas, sin embargo, se considera que este acercamiento permite tener una idea de los temas que se han debatido en el espacio público.

CUADRO 1
TEMÁTICAS IDENTIFICADAS EN LAS NOTICIAS EN LÍNEA
SOBRE BIOTECNOLOGÍA Y MAÍZ EN MÉXICO

Producción y mercado	Controversia en torno a los OGM en el maíz	Controversia sobre alcances en biocombustibles	Controversia sobre alcances en bioplásticos	Controversias tradicionales
Clúster 1 (27%)	Clúster 2 (12.3%)	Clúster 3 (9.8%)	Clúster 4 (28.7%)	Clúster 5 (22.1%)
Producción	China	Piñón	Crear	Uso
Peso	Quedar	Generar	Control	Fertilizante
Perder	Transgénico	Biocombustibles	Estudiante	Suelo
Alfonso Romo	Riesgo	Fomentar	Comentario	Causa
Adelgazar	México	Internacional	Biológico	Deterioro
Alimenticio	Siembra	Antimicrobiano	Antioxidante	Indiscriminado
Incrementar	Liberar	Lograr	Cerveza	Principal
Utilizar	Poner	Nutricionales	UAM	Transgénicos
Mejorar	Monsanto	Sorgo	Obtener	Salud
Futuro	Agrícolas	Cultivo	Sector	Biotecnología
Aumentar	Enfermedad	Plaga	Avances	Descartar

Graso	Juez	Cinvestav	Bioplástico	Nocivo
Protección	Científicos	Evitar	Híbrido	Danos
Senado	Urgir	Exponer	Olote	Monsanto
Nacional	Commodities	Bioinsecticida	Resistente	Efecto
Alternativa	Importación	Investigador	Europa	Modificado
Investigación	Organización	Producto	Mexicano	Humano
Semilla	País	Elaborar	Agropecuario	Bayer
Trigo	Ribeiro Silvia	Patente	Registrar	Yucatán
Alumno	Tradicional	Experto	TLCAN	Agrícola

Fuente: Elaboración propia.

Análisis hemerográfico

Como se mencionó brevemente líneas más arriba, hay un proceso de institucionalización de la biotecnología en México (Casas, 1993) el cual no ha estado libre de diversas controversias, que bajo nuestra consideración son resultado de su propia naturaleza. Con esto nos referimos a que al ser una tecnociencia tiene una cercanía muy fuerte con actores productivos, políticos y demandas sociales, medio ambientales e industriales. Lo que confronta el esquema tradicional de construcción del conocimiento disciplinario al poner en jaque cierto manto de pureza de la llamada “ciencia básica” frente a la “ciencia aplicada”, ya que su cercanía con la tecnología, o más bien con el entrecruce ineludible entre ciencia y tecnología que implica ser una tecnociencia, la ha llevado a estar en el ojo del huracán sobre las aplicaciones que se obtienen y el financiamiento, entre otros temas.

Si bien la biotecnología ha estado inmersa en diversas controversias, en particular en lo que respecta al maíz en México y su relación con los OGM y/o transgénicos, se identificaron cuatro momentos relevantes que se describen a continuación.

Primer momento: conocimientos en discordia

Si se tuviera que fechar el inicio de la controversia, ésta sería a partir de la publicación del artículo científico de David Quist e Ignacio Chapela en la Revista *Nature* en el año 2001. En dicho estudio se demostraba la presencia de transgénicos en el maíz en los cultivos de la sierra norte de Oaxaca. El doctor Chapela es ecólogo y microbiólogo adscrito a la Universidad de Berkeley y David Quist es especialista en micología, graduado de la misma Universidad. Se hace mención a esto porque hay un rasgo que las diferencia, y que se identificó entre las *Alianzas 1 y 2*, ya que la primera tiene un perfil científico relacionado con las distintas disciplinas que han conformado la biotecnología, mientras que la *Alianza 2* se compone por ecólogos, botánicos, genetistas e ingenieros agrícolas; así como científicos sociales diversos como antropólogos y sociólogos, por mencionar algunos.

Más allá de las diferencias en las disciplinas de donde provienen los científicos involucrados, es importante recuperar lo que sucedió a partir de la aparición del artículo de Quist y Chapela (2001), ya que después de dicha publicación, el Instituto Nacional de Ecología, actual Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) solicitaron la realización de un estudio a la doctora María Elena Álvarez Buylla y al doctor Rafael Rivera para contrastar los resultados. De acuerdo con declaraciones de la doctora Buylla al periódico *La Jornada*, tanto los doctores Sol Ortiz y Exequiel Ezcurra, entonces adscritos al Instituto Nacional de Ecología, como Jorge Soberón, secretario ejecutivo de la Conabio, “con quienes trabajábamos, decidieron separarse de la investigación, asignar recursos independientes a un proyecto paralelo. En 2005 la revista *PNAS* publicó su reporte sobre la inexistencia de transgenes en la misma zona donde Chapela y Quist los detectaron” (Enciso y Petrich, 2012: 2). Lo anterior es el comienzo de una larga disputa entre científicos, donde lo fundamental ha sido demostrar la confiabilidad en torno al grado de control y precisión en el uso y liberación de transgénicos, frente a la posibilidad

de poner en riesgo a las especies nativas de maíz al ser contaminadas genéticamente. Que como señala Fitting (2007), en dichos debates se confronta al maíz como modernidad externa/ cultura milenaria (léase indígena), como una cultura/conocimiento compartido, de respeto al medio ambiente.

A partir de la publicación del artículo de Quist y Chapela (2001) aparecieron en el escenario diversos actores científicos, empresariales, gubernamentales y organizaciones sociales. Al concentrarse únicamente en la disputa pública, el doctor Chapela accedió a proporcionar diversas entrevistas nacionales e internacionales, fundamentalmente en Estados Unidos declarándose objeto de una campaña de desprestigio orquestada por científicos relacionados con la industria biotecnológica, en específico Novartis, quien había tenido fuertes inversiones en la propia Universidad de Berkeley (Enciso y Petrich, 2012).

Como puede observarse, la controversia manifiesta en los dos artículos, el de Quist y Chapela (2001) y el de Ortíz y otros en 2005 representan el primer momento de disputa en la arena científica y su posterior traslado al ámbito público (véase la imagen 2).

Segundo momento: distintos frente a la ley

La primera solicitud para realizar pruebas en campo en México fue en el año de 1988, y presentada a la Dirección General de Sanidad Vegetal de la Secretaría de Agricultura por productores de Sinaloa. Este hecho es el antecedente del inicio de la bioseguridad en México, ya que dicha petición y los tratados bilaterales firmados con Canadá y Estados Unidos en 1989 implicaron la aceptación de diversas cláusulas en la materia para promover y facilitar el comercio entre los países de América del Norte (Serratos, 2009). Estos tratados condujeron a la negociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) que finalmente implicó armonizar la bioseguridad de los tres países. Con el antecedente de la firma del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) en 1992 y la moratoria declarada en 1999 so-

bre el uso de transgénicos en el país y en medio de fuertes debates y disputas sobre el contenido de la Ley de Bioseguridad, ésta finalmente fue aprobada durante 2005, provocando con su aprobación importantes críticas por parte de un segmento de científicos, entre los que destacan: Antonio Turrent Fernández (ing. agrónomo), Fidel Márquez Sánchez (ing. agrónomo), Alejandro Espinosa Calderón (genetista) y María Elena Álvarez Buylla (bióloga y ecóloga), ubicados como parte de la *Alianza 2*,⁶ frente a la activa participación que tuvieron científicos como Francisco Bolívar Zapata y Luis Herrera Estrella a través de la Academia Mexicana de Ciencias, quienes forman parte de la *Alianza 1*. Es en este momento donde comienza una presencia mediática muy importante de los científicos mexicanos de ambas alianzas.

En el caso de la *Alianza 2* se encuentran frecuentemente en el periódico *La Jornada*, notas que van desde entrevistas, columnas de opinión y artículos que retoman opiniones, argumentos críticos a lo que fue la aprobación de la Ley de Bioseguridad. En general, la opinión de la *Alianza 2* coincide con que la Ley mostraba un carácter desmedidamente liberal, el cual, más allá de regular las condiciones de siembra de los transgénicos, promovía el desarrollo de las tecnologías asociadas a éstos, favoreciendo los intereses de las empresas multinacionales (Massieu, 2004).

En oposición a esta perspectiva, la *Alianza 1* tuvo una fuerte presencia en el periódico *Reforma* y en menor medida en *La Jornada*. En sumadas ocasiones, las declaraciones por parte de esta alianza enfatizaban en los beneficios y ausencia de evidencia científica sobre da-

⁶ Cabe mencionar que en este trabajo nos concentramos en las controversias entre científicos, pero la aparición del artículo de Quist y Chapela (2001) condujo a un amplio movimiento social que redactó el “Plan de emergencia para detener y revertir la contaminación genética del maíz mexicano”, el cual fue presentado ante la CibioGem. Se llevaron a cabo campañas como “El campo no aguanta más” y “Sin maíz no hay país”, además de que aparecieron en escena organizaciones como el Grupo de Estudios Ambientales (GEA), la Unión Nacional de Organizaciones Regionales (Unorca), Greenpeace, y se conformó la Red en Defensa del Maíz que incluía a grupos como RALLT, La Vía Campesina, Grupo ETC, el Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano (CECCAM) y la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (ucss), entre algunas otras (Villa y Vera, 2012; Sandoval, 2017).

ños por el uso de OGM. En palabras del doctor Bolívar “nadie puede rechazar totalmente el uso de OGM frente a una creciente demanda de alimentos más nutritivos, medicamentos menos dañinos y la utilización de pesticidas y controles biológicos más efectivos, que no afectan el equilibrio ambiental y la biodiversidad” (Poy, 2005).

Las diversas opiniones vertidas en los medios de comunicación a favor del desarrollo de productos transgénicos por parte de la *Alianza 1*, han apuntado hacia dos ideas fundamentales: la primera de ellas hace alusión explícita a los beneficios que trae consigo el uso de este tipo de tecnología, ya que mejora la productividad del maíz, y por tanto reporta beneficios económicos que se traducen en desarrollo para la población. La segunda idea es que no existen pruebas contundentes del posible daño medioambiental y/o problemas a la salud humana, por tanto, se puede considerar una tecnología segura que bien regulada puede traer más beneficios que perjuicios. Además de la presencia en los medios de comunicación, esta alianza realizó una serie de eventos académicos de divulgación en forma de foros y conferencias que resultaron en diversas publicaciones y documentos como el denominado: “Por un uso responsable de los organismos genéticamente modificados” firmado por el Comité de Biotecnología de Academia Mexicana de Ciencias.

Tercer momento: tensiones y disputas constantes

Durante 2003 y 2004 se realizaron diversos foros científicos, organizados desde el gobierno y muchos más por asociaciones, redes en defensa del maíz y activistas. Además, se establecieron foros de consulta y se realizaron estudios sobre el tema, como el que desarrolló la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), coordinado por el doctor José Sarukhán. Todo apuntó hacia recomendaciones preventivas, aunque muchas de ellas no fueron consideradas en la regulación y como se mencionó, durante 2005 se publicó finalmente la Ley en el *Diario Oficial de la Federación*. Ello provocó que en el espacio público siguieran las intervenciones de la *Alianza 2* a tra-

vés del doctor Víctor Manuel Toledo, la doctora María Elena Álvarez Buylla y la doctora Elena Lazos y de la *Alianza 1* fundamentalmente con el doctor Bolívar Zapata. La discusión central en esos momentos se concentró tanto en la falta de pruebas sobre las posibles contaminaciones en algunos lugares del país, así como en la permisividad de la Ley de Bioseguridad. Además, es importante señalar que la *Alianza 1* ha argumentado que la comunidad científica fue participe de la regulación, mientras que la *Alianza 2* repara en que no fueron tomadas en cuenta sus observaciones sobre el tema. Lo que deja en claro que las posiciones son divididas y contrapuestas en muchos sentidos.

Hasta ahora se observa que hay un periodo largo de tensión entre ambas alianzas, pero destaca que los mismos personajes se han mantenido en la disputa pública, argumentando a favor y en contra de los transgénicos. Dada la continuidad en el discurso, se retoma un evento que fue organizado por el doctor Julio Muñoz Rubio del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencia y Humanidades (CEIICH-UNAM) durante abril de 2018, en formato de mesas redondas, cuya finalidad fue debatir específicamente el tema de los alimentos transgénicos. En las mesas participaron representantes de ambas alianzas y en momentos el debate se tornó álgido y con alusiones directas sobre todo entre la doctora Álvarez Buylla y el doctor Bolívar Zapata. Cabe mencionar que muchas de las críticas de la *Alianza 2* se concentraron en una publicación del 2017 a cargo del doctor Bolívar Zapata denominada “Transgénicos: grandes beneficios, ausencia de daños y mitos”, la cual fue auspiciada por la Academia Mexicana de Ciencias, El Colegio Nacional y el Instituto de Biotecnología de la UNAM. En el libro se manifiestan varias cosas:

- a) La biotecnología y los transgénicos usados responsablemente no representan daño alguno a la salud, a la biodiversidad ni al medio ambiente (Bolívar, 2017: 15).
- b) La biotecnología se utiliza para coadyuvar a resolver y atender responsable y sustentablemente problemas (Bolívar, 2017:15).

- c) No existe una sola evidencia de daño por el uso de organismos transgénicos y sus productos (Bolívar, 2017:19).

Como puede observarse, la publicación es una declaración que se autodenomina como “un documento en defensa de la ciencia, la verdad científica y la biotecnología” (Bolívar, 2017: 20). La cual se convirtió en el centro de muchas de las críticas de la *Alianza 2* a la *Alianza 1*. En palabras del doctor Turrent, la publicación coloca a quienes han sido críticos a los transgénicos como “pseudocientíficos y carentes de información”. En la misma sintonía, el doctor Julio Muñoz y a doctora Álvarez Buylla realizaron críticas a lo que denominaron una visión determinística biológica y equivocada sobre los principios de la evolución darwinista.

No es objeto de este trabajo dar seguimiento a cada una de las críticas y en las particularidades de la discusión. Mas bien la controversia se puede sintetizar de la siguiente manera: entre ambas alianzas hay discordancia en sus interpretaciones teóricas sobre la evolución biológica. Existen tensiones sobre lo que se denomina “la verdad científica” ya que para la *Alianza 1* esto es indiscutible, mientras que para la *Alianza 2*, no existe una única e irrefutable verdad. Otro elemento de discordia es el valor de las opiniones de los expertos, ya que la *Alianza 1* alude al valor de las opiniones emitidas por expertos, por ejemplo, valoriza en alto rango a los premios nobel y sus opiniones sobre los transgénicos y lo plantea como irrefutable. Mientras que para la *Alianza 2*, la opinión de dichos expertos presenta conflicto de intereses, ya que distintos científicos Nobel han sido financiados por empresas multinacionales biotecnológicas. Como puede observarse, los criterios de la disputa recogen elementos epistémicos y ontológicos que no se pretende desentrañar aquí, pero que es importante destacar, ya que son elementos complejos que involucran visiones del mundo, de cómo hacer ciencia y de lo que representan los valores científicos en sí mismos.

Cuarto momento: entre viejos debates y nuevas moratorias

El momento más reciente de la controversia entre las alianzas está marcado por la decisión del presidente Andrés Manuel López Obrador al designar a la doctora. Álvarez Buylla como directora del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Este hecho tiene repercusiones en algunas de las decisiones en torno a la investigación y producción biotecnológica en el país y particularmente en lo que se refiere a los transgénicos, lo cual al mismo tiempo ha provocado una reacción de la *Alianza 1*, ya que, aunque tampoco es objetivo de este trabajo, vale la pena mencionar que en la administración del presidente López Obrador laboran varios personajes que en este trabajo se han incluido en la *Alianza 2*, lo cual los posiciona en lugares privilegiados para la toma de decisiones. Sólo por mencionar una, está la decisión de eliminar del catálogo de áreas apoyadas por Conacyt a la biotecnología, lo cual fue interpretado por la *Alianza 1* como un golpe directo contra su conformación como grupo y lo que representa en términos de cohesión e identidad.

Otro factor importante que vale la pena mencionar es que la renegociación del TLCAN, ahora Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) donde se incluyó por primera vez un apartado sobre biotecnología, lo que motivó a diversos actores a solicitar que el presidente declarara la prohibición del cultivo de OGM (Enciso, 2019). En respuesta a las peticiones de distintas organizaciones sociales, el presidente López Obrador declaró la prohibición para el uso de glifosato y maíz transgénico. El decreto apareció en el *Diario Oficial de la Federación* el 31 de diciembre de 2020, en donde se establece una serie de acciones que apuntan a la sustitución gradual en el

uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos utilizados en el país que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y

resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente (DOF, 2020).

Ante lo anterior, el debate y controversia de ambas alianzas se ha intensificado en defensa de sus posiciones. Por un lado, los científicos identificados como *Alianza 1* redactaron y entregaron una carta con alrededor de 140 firmas manifestándose en contra del decreto. En palabras del doctor Enrique Galindo “Es peligroso que en el país se veten áreas completas del conocimiento, que es lo que el decreto busca al prohibir el desarrollo de transgénicos y biotecnología” (Torres, 2019). Además de que expresaron su preocupación ante la tentativa de desaparecer a la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem). Aunque, de acuerdo con lo expresado en una entrevista por un integrante del Consejo Científico de la Cibiogem, dicho consejo ha sido eliminado *de facto* ya que en casi dos años no han sido convocados a sesionar ni se les han informado y/o consultado ningún tipo de decisión.

En términos del espacio público, la *Alianza 1* convocó a diversos eventos, como el Simposio y panel de análisis “Logros y potencial de la biotecnología agrícola en México”, realizado por la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A. C., la Academia de Ciencias de Morelos, A. C. y el Cinvestav. Además de que el doctor Francisco Bolívar Zapata impartió diversas conferencias en el Colegio Nacional, en la UNAM, en la Academia Mexicana de Ciencias, entre otras instituciones, sobre los beneficios y la ausencia de daños de los transgénicos.

Como se observa, la controversia se mantiene y las alianzas han ido fortaleciendo sus discursos y argumentos. Destaca que, si bien en la actualidad es la *Alianza 2* la que tiene un lugar privilegiado en la toma de decisiones, en gobierno anteriores ha sido la *Alianza 1* la que ha estado mejor posicionada. El espacio público se ha convertido en uno de los principales lugares para expresar opiniones diversas, algunas basadas en evidencia científica y el valor que los posiciona simbólicamente como expertos, pero también se expresan discursos que apelan sobre todo a los valores culturales y sociales de lo que es

el maíz para los mexicanos, fundamentalmente para las comunidades productoras.

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo aquí presentado, se identificó que la principal controversia sobre la producción de maíz transgénico en México versa sobre las posibles potencialidades, beneficios económicos y riesgos que implica el uso del maíz transgénico en el país. La *Alianza 1* refiere que, en aras del desarrollo económico del país, es necesario regular la producción y uso del maíz transgénico, pero de ninguna manera prohibirse. Esto bajo el argumento de que existe consenso entre la comunidad científica calificada de que no representa riesgos ni para la salud, ni para el medio ambiente. Mientras que la *Alianza 2* argumenta que pone en peligro las variedades nativas al promoverse sin precaución el flujo genético entre variedades; además de que representa un peligro para los productores de menos recursos al generar dependencia económica de las grandes empresas semilleras transnacionales, además del peso cultural y simbólico del maíz, que se utiliza cada vez más para fundamentar la visión de esta alianza.

BIBLIOGRAFÍA

- Arancibia, Florencia (2013). "Challenging the bioeconomy: the dynamics of collective action in Argentina". *Technology in Society* 35: 79-92
- Arribalzaga, Eduardo (2017). "¿Qué es una controversia científica?", *Inmanencia* (San Martín Pro. B. Aires) 6 (1): 121-124.
- Bauer, Martin W. (2005). "Public Perceptions and Mass Media in the Biotechnology Controversy." *International Journal of Public Opinion Research* 17 (1): 5-22.
- Bolívar, Francisco (2017). *Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos*. Comité de Biotecnología. Ciudad de México: AMC, IBT UNAM, El Colegio Nacional.
- Bolívar, Francisco (2007). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. Ciudad de México: AMC, IBT UNAM, El Colegio Nacional, Conacyt, Cibiogem.
- Bunge, Mario (2000). *La investigación científica*. México, Siglo XXI Editores.

- Callon, Michel (2006). "Pour Une Sociologie Des Controverses Technologiques" 135-157. En Madeleine Akrich, Michel Callon y Bruno Latour. *Sociologie de la traduction*. Textes fondateurs, vol. 24. París: Presses des Mines.
- Callon, Michel. (1992). "Sociologie des sciences et économie du changement technique" 53-78. En *Ces réseaux que la raison ignore*, coordinado por el CSI. París: L'Harmattan.
- Casas, Rosalba (1993). *La investigación biotecnológica en México: tendencias en el sector agroalimentario*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.
- Castro, Libertad (2012). "La influencia de los actores sociales en la formulación de las políticas públicas relacionadas con la introducción del maíz genéticamente modificado en México". Tesis de doctorado en Estudios Urbanos y Ambientales. Ciudad de México: El Colegio de México.
- Castro Libertad y Éric Montpetit (2017). "The role of scientific excellence in the changing meaning of maize in Mexico". *Review of Policy Research* 35. 1: 12-30.
- Dhermy-Mairal, Marine (2018). "Sociologie Des Controverses Scientifiques". *Revue d'Anthropologie des Connaissances* 4 (12): 735-742.
- DOF (2020) Decreto por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos utilizados en nuestro país que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente [en línea]. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365yfecha=31/12/2020>.
- Enciso, Angélica y Blanche Petrich (2012). "Los científicos chocan contra las transnacionales". *La Jornada*. 14 de febrero [en línea]. Disponible en <<https://www.jornada.com.mx/2012/02/14/politica/002n1pol>>.
- Enciso, Angélica (2019). "Piden a AMLO emita decreto para prohibir cultivo de transgénicos". *La Jornada* 27 de junio [en línea]. Disponible en <<https://www.jornada.com.mx/2019/06/27/sociedad/038n1soc>>.
- Fitting, Elizabeth (2007). "¿La economía 'natural' enfrenta a la global? Desafíos a los debates sobre el maíz mexicano". *Bajo el Volcán*, vol. 7, núm. 11: 17-44.
- Gutteling, Jan M. (2005). "Mazur's Hypothesis on Technology Controversy and Media". *International Journal of Public Opinion Research* 17 (1): 24-41.
- Jofre A. y R. Álvarez (2008). "¿Qué es una planta transgénica?". En *Cultivos transgénicos para la agricultura latinoamericana*, coordinado por Carlos Blanco. Colección Ciencia para todos, núm. 219. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

- Kitcher, Philip (2001). *El avance de la ciencia. Ciencia sin leyenda, objetividad sin ilusiones*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM.
- López, Patricia (2017) “90.4% de tortillas en México contiene maíz transgénico”. Ciudad de México: *Gaceta UNAM*, núm. 4904: 8
- Massieu, Yolanda (2004). “México y su necesaria Ley de Bioseguridad: intereses económico-políticos y movimiento social”. *El Cotidiano*, vol. 20, núm. 128 noviembre-diciembre: 110-123.
- Miller, Henry I., Piero Morandini y Klaus Ammann (2008) “Is biotechnology a victim of anti-science bias in scientific journals?”. *Trends in Biotechnology* 26 (3): 122-125.
- Motta, Renata (2014) “Social disputes over GMOS: An Overview”. *Sociology Compass* 8/12: 1360–1376.
- Murray James D. y Elizabeth A. Maga (2016) “Genetically engineered livestock for agriculture: a generation after the first transgenic animal research conference”. *Transgenic Research*, vol. 25, núm. 3: 321-327. DOI: 10.1007/s11248-016-9927-7
- Ortiz Sol, Ezequiel Ezcurra, Bernd Schoel, Francisca Acevedo, Jorge Soberón y A. Snow (2005) “Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004)”. *Nature* 102: 12338-12343
- Peerbaye, Ashveen (2004). “Dominique Raynaud, Sociologie des Controverses Scientifiques”. *Sociologie du Travail* 46 (4): 570–573.
- Pellegrini, Pablo (2019). *La verdad fragmentada. Conflictos y certezas en el conocimiento*. Buenos Aires Argentina: Editorial Argonauta.
- Peters, Hans P. (2005) “Editorial: Public Opinion on Biotechnology”. *International Journal of Public Opinion Research* 17 (1): 1-4.
- Poy, Laura. (2005). “Llama Bolívar Zapata a no satanizar avances de la biotecnología y la ciencia genómica”. *La Jornada*, 2 de julio [en línea]. Disponible en <<https://www.jornada.com.mx/2005/07/02/index.php?section=ciencias&articulo=a03n1cie>>.
- Quist, David e Ignacio Chapela (2001). “Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico”. *Nature* 414.6863: 541-543.
- Sandoval, Daniel (2017). *Treinta años de transgénicos en México*. México: Ceccam.
- Serratos, José Antonio (2009). “Bioseguridad y dispersión de maíz transgénico en México”. *Revista Ciencias* (92): 131-141.
- Shinn, Terry y Pascal Ragouet (2005) *Controverses Sur La Science. Pour Une Sociologie Transversaliste de l'activité Scientifique*. París: Raisons d'agir.
- Torres, Isaac (2019) “Grupo de 140 expertos se opone a decreto de veto a transgénicos”. *La Crónica*. 6 de agosto [en línea]. Disponible en <https://www.cronica.com.mx/notas-grupo_de_140_expertos_se_opone_a_decreto_de_veto_a_transgenicos-1127415-2019>.

Villa, Verónica y Ramón Vera (2012) “Diez años de la Red en Defensa del Maíz y por la autonomía de los pueblos” [en línea]. Disponible en <<https://www.desinformemonos.org/diez-anos-de-la-red-en-defensa-del-maiz-y-por-la-autonomia-de-los-pueblos/>>.

Von Schomberg, René (1993). “Controversias y toma de decisiones políticas”. En *Ciencia, política y moralidad*, coordinado por R. Von Schomberg. Biblioteca de teoría y decisión (Serie A: Filosofía y metodología de las ciencias sociales), vol 17. Springer, Dordrecht [en línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8143-1_2>.

Trayectoria de la investigación y producción de vacunas biotecnológicas en México: de la autosuficiencia a la dependencia científico-tecnológica

Nancy Alejandra Cuevas Mercado

INTRODUCCIÓN

La salud es común denominador entre las áreas consideradas estratégicas para el desarrollo económico y social. Diversos organismos internacionales, gobiernos nacionales y académicos reconocen su capacidad de generar condiciones mínimas de bienestar y coinciden en la importancia de preservarla, ya que no es posible trazar una ruta de desarrollo sin contar con una población sana. Pese a esto, prevalecen problemas sanitarios en todo el mundo, por ello se diseñan e implementan estrategias con el objetivo de mejorar los indicadores mundiales en el área, como son: políticas para prevenir y atender, programas de cobertura médica universal, financiamiento directo para infraestructura y compra de insumos médicos y, desde luego, el fomento la I+D en áreas de entrega de fármacos, diagnóstico y tratamiento.

En específico, interesa destacar que el uso de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) tiene la capacidad de brindar herramientas para palear algunos problemas vinculados con la salud al crear nuevas formas de tratar enfermedades, diagnosticar y prevenir sus manifestaciones. Algunos autores (Fong y Harris, 2015) sostienen que el

uso de tecnologías innovadoras brinda la posibilidad de aumentar el bienestar humano y promover la equidad sanitaria si se usan de forma sostenible y equitativa. Por tanto, se busca incentivar la I+D en medicina, por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2010) hace un llamado a empresas, instituciones, universidades, gobiernos y organizaciones sin ánimo de lucro a que diseñen, fabriquen o suministren tecnologías e innovaciones médicas para hacer frente a los problemas sanitarios que aquejan a la población mundial.

Entre estas tecnologías se encuentra la biotecnología moderna que, gracias a su carácter multidisciplinario, tiene la capacidad de diversificar sus aplicaciones en diferentes ramas y sectores estratégicos, tal es el caso de la salud. La biotecnología alcanzó importancia cardinal en el campo médico, gracias al desarrollo de la biología molecular, la ingeniería genética y el descubrimiento del ácido desoxirribonucleico (ADN), lo cual permitió avanzar en el conocimiento de la etiología de algunas enfermedades, el diseño de procesos de inmunización y terapia génica; la elaboración de biofármacos (vacunas, insulinas, hormonas de crecimiento, interferones y productos con tecnología de células madre), entre otros (Reguero y Cardozo, 1988, Salomón, 2009, Gutman y Lavarello, 2010).

Las vacunas constituyen uno de los adelantos médicos más importantes y mayormente usados en el campo de la medicina preventiva, esto se debe, según Berdasquera, Cruz, y Suárez (2000) a que su aplicación trae múltiples beneficios a los sistemas mundiales de salud, como la prevención, control y erradicación de distintas enfermedades causantes de millones de muertes en todo el mundo. Por ejemplo, la OMS (2019: 1) estima que la inmunización evita entre dos y tres millones de muertes anuales y asegura que es la intervención sanitaria preventiva más costoefectiva que existe. Además, asegura que su uso también trae ventajas las económicas, ya que por cada dólar gastado en una vacuna se ahorran entre cinco y 10 dólares en cuidados y procedimientos para curar el padecimiento (Kaufmann, 2007).

La convulsión mundial causada por la pandemia del SARS-CoV-2 corroboró la importancia de la salud, y en especial de las vacunas,

para el desarrollo. La propagación del virus colapsó los sistemas mundiales de salud y paralizó las actividades socioeconómicas, ratificando la necesidad de generar mecanismos para atender las necesidades epidemiológicas de la población mundial. Desde entonces, el progreso científico-tecnológico mundial se centró en la creación de productos para diagnosticar, tratar y, sobre todo, prevenir la enfermedad; pero en particular a la creación de una vacuna segura y eficaz que permita retomar las actividades productivas y sociales.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la trayectoria que ha seguido México en torno al financiamiento a la investigación y producción pública de vacunas biotecnológicas, para determinar si el progreso del área es prioritario dentro de las políticas públicas del país. Para ello, en la primera parte de este trabajo, se estudió el sistema mexicano de vacunación y se examinaron reportes oficiales de los Laboratorios y Reactivos de México, S.A. de C.V. (Birmex), al ser la institución encargada de proveer autosuficiencia al país en la producción de medicamentos y vacunas. Posteriormente, se analizaron los principales instrumentos de política pública del país, se revisaron las bases de datos que provee el Conacyt, relacionadas con los programas y fondos de financiamiento público a la investigación, con el objetivo de identificar los proyectos sobre vacunas biotecnológicas que han sido sujetos de apoyo.

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MEXICANO DE VACUNACIÓN

La observación y análisis del funcionamiento de las enfermedades fueron la base para la creación de las vacunas. Desde el 430 antes de Cristo (a. C.) en Atenas se estudiaba la forma en que evolucionaban los padecimientos con el fin de mitigar sus efectos y frenar las epidemias que acababan con pueblos completos. Tucídides, por ejemplo, se dio cuenta de que una persona no se podía enfermar dos veces por el mismo proceso infeccioso, entonces propuso que los sobrevivientes cuidaran de otros ya que no podrían volver contraer el mismo padecimiento (Martínez-Mateo, Bustos-Fonseca y Gil-Díaz, 2012).

Otro antecedente importante data del siglo VII, cuando budistas indios ingerían veneno de serpiente con el fin de ser inmunes a sus efectos. Mientras que alrededor del siglo XII en China, India y el Cercano Oriente empezaron a realizar procedimientos de variolación, que consistía en inocular el material obtenido de las lesiones de los enfermos de viruela. Poco después se comenzó a implementar en Inglaterra, popularizándose en el siglo XVIII, cuando el médico inglés Francis Home realizó intentos de inmunización contra el sarampión (Berdasquera, Cruz y Suárez, 2000; Santos, 2002; Jiménez, 2015). Durante este periodo, la inmunización logró controlar la propagación de enfermedades alrededor del mundo. Se usaban vacunas producidas de forma artesanal para frenar la dispersión de enfermedades altamente contagiosas que acababan con pueblos enteros rápidamente.

Posteriormente, Edward Jenner, padre de la inmunología, mediante estudios observacionales logro controlar el virus causante de la viruela, al darse cuenta de que los lecheros eran aparentemente inmunes a la viruela humana después de estar expuestos a la viruela bovina. De esta forma, Jenner, fabricó una sustancia líquida que preparó con linfas de lesiones de viruela bovina provenientes de una mujer que trabajaba como lechera. Fue en 1796 cuando inoculó por primera vez al niño James Phips con la intención de hacerlo inmune a la enfermedad. Al darse cuenta de que después de la aplicación el niño sólo presentó un cuadro leve de inflamación local, meses después decidió vacunarlos nuevamente, pero en esta ocasión con líquido de una ampolla fresca de viruela humana, esta vez no presentó síntomas y se mantuvo completamente sano (Benítez, 2020; Santos, 2002).

Más adelante, en 1880, Pasteur encontró la forma de atenuar la bacteria causante de la viruela, disminuyendo los riegos de contraer la enfermedad al utilizar el virus activo; a la par obtuvo la vacuna antirrábica sin conocer el agente causal y con esto sentó las bases para la preparación de las vacunas (Jiménez, 2015). Después de los descubrimientos de Jenner y Pasteur, el progreso de la inmunización se dio con rapidez, muchos científicos e investigadores crearon vacunas para distintos padecimientos.

Los avances surgidos en todo el mundo fueron adoptados por México en la época colonial, solo cinco años después de que Jenner publicara los resultados de su investigación en el libro “*Variolae vaccinea*”. En septiembre de 1803 el Rey Carlos IV ordenó la aplicación de la vacuna en todo el territorio de la Corona responsabilizando de tal encomienda al médico mexicano Francisco Xavier de Balmis (Santos, 2002). Casi de inmediato se inició la llamada “expedición filantrópica”, en la que se utilizaron niños expósitos para inocular de brazo a brazo a cientos de personas, técnica que se extendió a todo el territorio y más adelante a otros países (Santos, 2014).

En los siguientes 100 años los avances en materia de vacunación en México se multiplicaron (véase cuadro 1). Durante los siglos XIX y XX el país aprendió y adoptó rápidamente los avances surgidos en otros lugares. Se crearon vacunas para la prevención de enfermedades como cólera, fiebre tifoidea, peste, tuberculosis, difteria, tosferina, influenza, hepatitis B, entre otras (Berdasquera y otros, 2000; Manterola y otros, 1990).

Los hacedores de políticas públicas entendieron la importancia de la vacunación y comenzaron a generar estrategias para ampliar la protección tanto en número de individuos vacunados como en cantidad de enfermedades que se podían prevenir, se entendió que el sistema mexicano de salud en coordinación con el de ciencia y tecnología (CyT) necesitaban impulsar investigaciones en el área. Todo lo anterior permitió que el país se convirtiera en un ejemplo a seguir en América Latina.

Al respecto, Carrillo (2017) menciona que, en el transcurso del siglo XX, se crearon varias instituciones dedicadas a la producción de vacunas todas bajo la supervisión de la Secretaría de Salud. El gobierno consideró que la producción de vacunas era una prioridad nacional debido a los altos costos de importación, la necesidad de proteger a la población, la importancia de disminuir las estadísticas de mortalidad y morbilidad por enfermedades prevenibles y, por último, por razones de seguridad nacional al evitar la dependencia económica y técnica.

CUADRO 1
PRINCIPALES AVANCES EN MATERIA DE VACUNACIÓN EN MÉXICO

Año	Hechos relevantes
1800	El Rey Carlos IV ordenó la aplicación de la vacuna contra la viruela en todo el territorio de la corona, iniciando la expedición filantrópica.
1872	Benito Juárez firmó un decreto de ley donde se responsabilizaba a los médicos adscritos a los juzgados de lo civil de vacunar a los niños recién nacidos cuando se les llevará a registrar.
1888	Eduardo Liceaga trajo a México la vacuna antirrábica que se aplica desde entonces.
1895	Apertura de la sección de Bacteriología del Instituto Patológico Nacional.
1905	Apertura del Instituto Bacteriológico Nacional.
1921	Cambio el nombre del Instituto Bacteriológico Nacional a Instituto Nacional de Higiene
1924	Maximiliano Ruiz montó el Laboratorio Experimental de Inmunología en el Hospital General.
1938	Mario Salazar Mallén fundó el primer Servicio de Alergia en México, en el Hospital General.
1939	Apertura del Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales.
1960	Inicio de actividades en el Instituto Nacional de Virología.
1965-1970	Se implementó la vacunación masiva contra la poliomielitis y sarampión.
1973	Se instauró el Programa Nacional de Inmunizaciones, un año antes que la oms lanzará el Programa Ampliado de Inmunizaciones.
1974	Se inició la vacunación contra difteria, tosferina y tétanos.
1986	Se comenzó a usar la cartilla nacional de vacunación como instrumento de control y registro.
1990-1991	Se realizó la Encuesta Nacional de Vacunación donde se observaron rezagos en las coberturas.
1991	Creación del Programa de Vacunación Universal y el Consejo Nacional de Vacunación.
1993	Inicio de las Semanas Nacionales de Vacunación.

Fuente: Elaboración propia

En 1895 se abrieron centros e institutos que antecedieron la creación del Instituto Nacional de Higiene, en donde comenzó la producción de vacunas en 1939. Además, entre 1965 y 1970 se promovió la va-

cunación masiva contra la poliomielitis y, posteriormente, contra el sarampión. A la par se creó el Instituto Nacional de Virología (INV). También, en 1973 se instauró el programa nacional de inmunizaciones que permitió incrementar la cobertura de vacunación en todo el país. Gracias a todo lo anterior, en 1979, el INV fue reconocido por la OMS por su capacidad y calidad en la producción de biológicos a nivel mundial, nombrándolo Centro Regional de Referencia para Vacunas (Hurtado y Matías, 2005). Otro suceso importante fue que, en 1986, se creó la cartilla de vacunación como instrumento de registro y control de las aplicaciones del país; y finalmente, la política de días fijos de vacunación (Santos, 2002, 2014). Todas estas fueron medidas esenciales para que el país se colocara como ejemplo a nivel mundial en la cobertura.

Cabe destacar que desde 1970 hasta 1990, aproximadamente, México, junto con otras seis naciones, fue reconocido como autosuficiente en la producción de vacunas y exportación las vacunas del Programa Ampliado de Vacunación (PAI) (Morones, 2009; Latin-Comm, 2015); y se convirtió en pionero en materia de producción y generación de estrategias y planes de vacunación. Por ejemplo, datos de la Secretaría de Salud (2014, 2015) revelan que el Programa Nacional de Inmunizaciones pasó de tener 6 a 14 inmunógenos, entre 1973 y 2012, siendo uno de los esquemas más completos en América Latina. Además, las Semanas Nacionales de Vacunación y la aplicación de otros esquemas adicionales permitieron la disminución de la morbilidad y mortalidad de enfermedades como la poliomielitis, el sarampión, la difteria, la tosferina, el tétanos, la tuberculosis meningea, la rubéola y las infecciones por *haemophilus influenza* tipo B.

CAMBIO DE RUMBO: PÉRDIDA DE LA AUTOSUFICIENCIA

A finales de los años setenta, México, al igual que otros países de la región, se enfrentaron a un incremento de los problemas sociales, profundas crisis económicas e inestabilidad política y financiera; como resultado, se realizaron cambios en la política económica y, por tan-

to, en el modelo de desarrollo. Según Veltmeyer (2010), se implementaron una serie de lineamientos que dieron lugar al inicio del periodo neoliberal, entre los que se encuentran: políticas fiscales y monetarias fijas, privatización de empresas de propiedad estatal, apertura comercial mediante la eliminación de políticas de protección, desregulación de la economía, reforma laboral para evitar la protección al empleo, adelgazamiento del Estado, e instauración de políticas de libre mercado.

En concordancia con la adopción de estas políticas, rubros importantes para el progreso social, como la educación, la salud y la CyT, dejaron de ser prioridades de desarrollo nacional y pasaron a percibirse como negocios rentables. Casas y Dettmer (2007) señalan que con la instauración del periodo neoliberal, los objetivos de la plataforma de CTI cambiaron para alinearse con el nuevo modelo de desarrollo económico; se cambió el discurso que consideraba que el progreso de la CTI revertiría el atraso y la dependencia a uno que planeaba utilizar los conocimientos e innovaciones como ventajas comparativas y herramientas para la modernización industrial. Contrario a esto, Álvarez (1988) asegura que estas políticas causaron el deterioro de la estructura socioeconómica al eliminar los encadenamientos productivos logrados con anterioridad.

Lo anterior tuvo repercusiones en el área de la inmunización, el gobierno federal dejó de invertir en infraestructura, redujo el gasto e inició un proceso de desmantelamiento de los centros de I+D de vacunas, ignorando las recomendaciones de la OMS de incrementar el financiamiento en el área. Todo esto a pesar de que el país contaba con un sistema de vacunación robusto y exitoso, que producía 90% de las vacunas requeridas en todo el país, que en los noventa era la única nación latinoamericana que operaba el ciclo completo de producción al fabricar todas las vacunas incluidas en el Programa Nacional de Inmunización: antipoliomielítica oral (OPV), anti sarampión; vacuna contra la difteria, el tétanos y la tos ferina (DTP), antidiftérica y antitetánica (Td), antitetánica (TT) y contra la tuberculosis (BCG)

(Carrión, Vega Osnaya, y Mendoza 2020); y, además, realizaba exportaciones a 15 países (Morán, 2020).

En este sentido, 1977 el inicio de la fusión y desaparición de los institutos y dependencias encargadas de garantizar la vacunación en el país lo colocaron como líder productor y aplicador de vacunas. En su lugar se fundó Birmex constituyéndose como empresa de propiedad mayoritaria del Estado mexicano (Gómez, 2009), cuyo objetivo es garantizar la soberanía del país en la producción de biológicos, como medicamentos y vacunas, que atendieran las necesidades de la población (Secretaría de Salud, 2019a).

Sin embargo, desde su apertura, la producción de inmunógenos disminuyó, se suspendió la fabricación de la mayoría vacunas y, por primera vez en décadas, se incrementó la importación de productos biofarmacéuticos; situación que no se debió a insuficiencia de capital intelectual o técnico, sino a factores económicos y políticos que dominaron la época (Carrillo, 2017). Gracias a esto, México perdió de la autosuficiencia en la producción de vacunas lograda a lo largo de décadas de esfuerzo. Ahora las empresas farmacéuticas multinacionales, que por cierto siguen líneas de exploración ligadas mayormente a beneficios monetarios y no sociales, son las encargadas de cubrir las necesidades sanitarias de los mexicanos.

Uno de los factores que colaboraron con la pérdida de autosuficiencia fue la sujeción de México a los mandatos de los organismos internacionales, entre ellos la Organización Mundial del Comercio [OMC] (1994: 373) que, en específico, promulgó el Acuerdo sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio, en el cual se determinó que los países miembros debían de conceder la protección mediante una patente a productos farmacéuticos y químicos. Esto por supuesto tuvo impacto en los cambios en la producción que se presentaron en el país, ya que se permitió la entrada de las grandes corporaciones. Es así como desde 1998 no se producen suficientes vacunas en el país, ni siquiera las que considera el Esquema Nacional de Vacunación (ENV).

Actualmente, Birmex únicamente produce faboterápicos polivalentes, la vacuna Td y la OPV (Secretaría de Salud, 2019b); es decir, solo se fabrican dos de las 16 vacunas que incluye el ENV 2015 (Secretaría de Salud, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la salud, y Centro Nacional para la Salud de Infancia y la Adolescencia, 2015), y se compra el resto a las grandes corporaciones farmacéuticas que controlan el mercado nacional e internacional. En tal sentido, Birmex no cumple con las funciones para las que fue creada, dado que no es capaz de cubrir las necesidades de salud de la población mexicana; contrario a ello, se convirtió en una asociación público-privada que transfiere el financiamiento público al ámbito privado, proceso calculado por hacedores de políticas estructurales para cumplir con los lineamientos del modelo de desarrollo que se estaba implantando (Tamez y otros, 2016). En general, México descuidó el impulso y la aplicación de fondos a estas áreas, perdiendo lentamente su liderazgo.

Como ejemplo de operación, véase el caso de 2007, en el que, mediante el Acuerdo del Consejo de Salubridad, publicado en el *Diario Oficial de la Federación*, se dieron instrucciones a Birmex de asegurar la producción de vacunas contra el virus de la influenza para garantizar que el país contara con los inmunógenos necesarios para cubrir la producción de temporada y estar preparados en caso de emergencia. Según Rodríguez-Álvarez y Ponce de León-Rosales (2010: 6-7) esto se debió a que el país no tenía la capacidad de producir estas vacunas adquiriéndolas en laboratorios extranjeros, principalmente de Estados Unidos, Canadá y Francia. Es así como desde 2004 Birmex importa, controla y distribuye 20 millones de dosis de vacuna contra influenza a las instituciones del Sector Salud: Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Seguro Popular, Secretarías de Salud de los Estados, los servicios de salud de Petróleos Mexicanos (Pemex) y las Fuerzas Armadas, etcétera.

Ante esta solicitud, Ponce León-Rosales y otros (2011: A26-A27), empleados de Birmex, señalan que la paraestatal consideró tres alternativas, a saber: 1) crear tecnología interna para desarrollar y

comercializar la vacuna, sin embargo, descartaron esta estrategia al considerar que el período necesario para licenciar una vacuna es largo y tedioso; II) adquisición de la tecnología necesaria para producir la vacuna, aunque señalan que no pudieron identificar un proveedor de tecnología, y III) establecer un proyecto conjunto con una compañía de vacunas reconocida internacionalmente.

La empresa adoptó la última estrategia y procedió a comprar una planta para la producción de vacunas a Sanofi Aventis por 222 millones de pesos, con la intención de producir 15 millones de dosis anuales por 15 años, eso garantizaría la autosuficiencia del país ante posibles pandemias. Sin embargo, en 2011 se incrementó el costo de inversión de 493.8 mdp (222.4 para compra de la planta y 271.4 para construcción) a 1 082.7 millones de pesos, lo cual era insostenible según las autoridades mexicanas. En 2014, aún con la adaptación de la planta inconclusa, Birmex inició negociaciones con Sanofi Pasteur (empresa filial de Sanofi Aventis) para establecer una asociación público-privada con una duración de 15 años, con las siguientes características: Sanofi Aventis terminará y pondrá en operación la planta, hará transferencia de tecnología y capacitará al personal mexicano; mientras que Birmex estará obligado comprar vacunas a Sanofi Pasteur a precios preferenciales mientras se termina el acondicionamiento de la planta y una vez se inicie la producción será socio de la multinacional hasta el 2032 (Secretaría de Salud, 2018).

En 2009 unos años después de que se encargó a Birmex garantizar el abasto de vacunas contra la influenza, el país fue el centro de una de las pandemias más graves del siglo, cuando aún no contaba con la capacidad de proteger a toda la población contra el virus, incluso no se pudo garantizar que a las personas más vulnerables (niños, personas de la tercera edad, embarazadas y trabajadores del sistema de salud) fueran vacunadas. Al respecto, Rodríguez-Álvarez y Ponce de León-Rosales (2010: 8) aseguran que la situación por la que atravesó el país en el 2009 dio cuenta de que, en caso de requerirse vacunar a todos los habitantes del planeta, la plataforma de producción no sería capaz de cubrir esa solicitud, situación que es visible con la

actual pandemia de covid-19. Añaden que los avances biotecnológicos se encaminan a tener cada vez mejores vacunas, producidas en procesos óptimos, con altos rendimientos y menos puntos vulnerables; ello permitirá garantizar el abasto de las vacunas en todas las regiones del orbe. Aunado a esto, señalan que es imperante reforzar la educación sanitaria, fortalecer la capacidad de diagnosticar rápida y eficazmente las enfermedades prevenibles (no solo la influenza); establecer protocolos de vigilancia epidemiológica y, finalmente, desarrollar la capacidad de producir nuestras propias vacunas en México.

Ese no es el único ejemplo de la dependencia de la paraestatal. La cuenta pública de Birmex (al 31 de diciembre de 2014) proporcionada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2014) y datos de la Plataforma Nacional de Transparencia (2018, 2019, 2020) muestran como los principales proveedores de vacunas de Birmex a: Sanofi Pasteur, Merck Sharp y Dohme Comercializadora, Merck Sharp y Dohme de México, Schering Plough, Serum Institute of India Limited, Be Vaccines Pte Limited, Instituto Bioclon, S.A. De C.V., Grupo Laboratorios Imperiales Pharma, S.A. de C.V., entre otras; empresas con quienes celebran contratos millonarios anualmente y que controlan a nivel mundial mercado de vacunas.

En este sentido, Oliva, Jafif, Akkad y Waliszewski (2013) aseguran que el sistema de salud mexicano tiene nuevos retos y problemas que atender. La introducción de la biotecnología en el área puede ser una estrategia que permita mejorar la situación actual. Sin embargo, para que se obtengan los resultados deseados, es necesario gestar vinculaciones con universidades e investigadores expertos en la creación de medicamentos y vacunas para satisfacer las necesidades epidemiológicas de la población mexicana, y con ello reducir la dependencia que mantiene con las grandes empresas multinacionales.

A pesar de los obstáculos, México cuenta con áreas de oportunidad que puede utilizar para incentivar la investigación pública en vacunas. Se cuenta con infraestructura y personal altamente calificado en el área biotecnológica; aunque no trabajan de forma integrada ni

colaboran entre sí, se pueden diseñar convenios para incentivar la creación de avances.

FINANCIAMIENTO PÚBLICO A LA INVESTIGACIÓN EN VACUNAS BIOTECNOLÓGICAS

El progreso de la CTI contribuye al desarrollo de una nación, como se ha demostrado en experiencias de otros países. Por ello, organismos internacionales, gobiernos, empresas, académicos y distintas organizaciones de la sociedad civil recomiendan que las políticas públicas en el área contemplen la necesidad de invertir una cantidad suficiente de recursos, con la intención de crear una plataforma científico-tecnológica que permita a los países dejar atrás la dependencia y disminuir la brecha entre países. Al respecto, Guadarrama (2019) señala la necesidad de generar más incentivos directos e indirectos que promuevan la investigación, el desarrollo tecnológico y la creación de innovaciones, para lo cual es necesario incrementar el gasto en el área. Mientras que la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2020: 1) señala que “Invertir en ciencia, tecnología e innovación (CTI) es fundamental para el desarrollo económico y el progreso social”.

En este sentido, las economías diseñan estrategias que incentiven el gasto público y privado en el área. Una muestra de ello es que en México el marco normativo reconoce la importancia de invertir en CTI, generar entornos de innovación para que la iniciativa privada invierta y le otorga al sector público la obligación de garantizar el progreso del área; por ejemplo, en el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECITI) 2014-2018 (párr. 1) se anota que: “Existe la convicción de que la inversión en ciencia y tecnología es una herramienta fundamental para acceder a una economía de bienestar, basada en el conocimiento”.

No obstante, en el país se visualizan problemas, sobre la cantidad y el manejo de estos recursos, que impiden que sea líder en el área. Primero, el gasto como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB)

continúa por debajo del mínimo recomendado (1%), colocándose en 0.49% para 2017, según datos del Banco Mundial (BM) (2018), estos datos dan cuenta que en el país la CTI no se visualiza como palanca de desarrollo. A diferencia de México, otros países, sobre todo los desarrollados, destinan entre 1% y 4% de su PIB a la I+D y algunos han logrado construir entornos científico-tecnológico sólidos y virtuosos, lo que les permitió responder a la crisis, salir del estancamiento económico y acelerar su ritmo de crecimiento y desarrollo, algunos ejemplos son: Corea del Sur que gasta 4.5%, Japón, 3.21% y Alemania, 3.2% (BM, 2018), solo por mencionar algunos.

Segundo, el financiamiento a la I+D proviene de distintas fuentes: el gobierno, las empresas, las instituciones de educación e investigación e incluso de otras organizaciones del interior o exterior del país. En el caso de México, la mayor parte del gasto en este rubro proviene del gobierno (76.84% para 2017): si bien, ha incrementado la participación de las empresas (de 15.71% en 2014 a 19.04% en 2017), más de la mitad procede del sector público, convirtiéndolo en el más importante (Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología, 2019). Por lo tanto, los programas que se implementan para incentivar la participación de la iniciativa privada, u otros actores, en el país no están cumpliendo con su objetivo.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2016) el escaso financiamiento privado a la CyT en México se debe a que los vínculos entre la industria y la ciencia son débiles. Por su parte, el Consejo Consultivo de Ciencias (2017) lo atribuye a que existen pocas industrias innovadoras y agrega que a diferencia de otros países (Estados Unidos, Corea del Sur, India, entre otros), donde estas empresas son creadas por los investigadores, en el país los científicos tienen poco interés en la explotación comercial del conocimiento debido a varias causas: la falta de cultura tecnológica y de emprendimiento de las universidades y centros públicos de investigación; la falta de recursos y asesoramiento legal para gestionar y mantener las patentes; el desconocimiento del mercado y de la composición de la industria mexicana; y por último, la legislación fe-

deral impedía (antes de 2015) a los investigadores empleados en instituciones públicas trabajar en empresas a las cuales pudieran transferir tecnologías generadas en las instituciones públicas. A todo esto, se le puede agregar la falta de interés en la creación de industrias nacionales intensivas en conocimiento, la generación de un marco regulatorio que obligue a las empresas a establecer centros de I+D y a transferir conocimiento y tecnología cuando colaboran con las instituciones públicas.

Finalmente, el tercer problema tiene que ver con el manejo y orientación de los recursos. La política actual de CTI y, en específico algunos programas de financiamiento público tienen limitaciones que impiden optimizar el uso de los recursos. Así por ejemplo, Villavicencio (2019: 81-84) señala algunas de ellas: I) los programas no tienen una relación jerarquizada entre sí para que las empresas incursionen en actividades de I+D cada vez más complejas; II) no hay articulación entre todos los programas de financiamiento, lo que permite a las empresas acceder a diferentes subsidios para ejecutar proyectos similares durante varios años, o bien, de forma simultánea en distintos tipos programas; III) no existen instrumentos que apoyen el escalamiento industrial y la comercialización, de manera que las empresas no cuentan con capital suficiente para esta última fase y no logran colocar en el mercado los resultados de sus proyectos de I+D; IV) no cuentan con de un enfoque sectorial y concomitante con una política de fomento industrial; V) algunos programas de financiamiento a las empresas funcionan por medio de subsidios a fondo perdido, en lugar de ser créditos o exenciones fiscales, por lo que las empresas no están obligadas a devolver los recursos.

Aunado a ello, no se establece una agenda de investigación que vincule los temas de prioridad nacional con los proyectos susceptibles a financiarse; también, si los resultados obtenidos en las investigaciones son susceptibles de derechos de propiedad intelectual no son divulgados, lo que incrementa la concentración de conocimientos; además de que muchas patentes no se insertan en la esfera

productiva, por lo que no hay garantía de que la inversión pública colabore con el desarrollo nacional.

En este sentido, Ribeiro (2019: 3) menciona que, en muchos casos, en los proyectos participan universidades y centros públicos de investigación, lo cual facilita la influencia de las multinacionales en las agendas de investigación, que además aprovechan la infraestructura, la formación y trabajo de investigadores, docentes y estudiantes. Por su parte, Foladori, (2014) señala que, aunque la investigación pública tiene como objetivo directo brindar un servicio a la comunidad, de forma indirecta colabora en el proceso de obtención de ganancias de las grandes empresas, en primer lugar, al generar conocimiento científico básico en el que la iniciativa privada no invierte y, en segundo lugar, al formar personal altamente calificado cuyo costo de instrucción representa un subsidio al capital.

A lo anterior se le añade que los objetivos de las políticas científico-tecnológicas están sujetos a intereses económicos que definen qué áreas deben financiarse, y en general determinan el rumbo de la investigación; específicamente, se centran en elevar la competitividad y productividad, situación que se aleja de la satisfacción de necesidades sociales. En este contexto, Foladori (2015) señala que la competitividad significa orientar la investigación hacia sectores que puedan competir en el mercado mundial, que generen empresas (*spin offs*) que puedan ser rápidamente vendidas o conocimiento que pueda ser patentado, los cuales están cooptados por las corporaciones transnacionales.

Entre los sectores que pueden competir en el mercado internacional se encuentra la biotecnología y a las otras tecnologías emergentes: la nanotecnología, la genómica, las tecnologías de la información y comunicación. Por tanto, los planes y programas de CTI del país consideran la biotecnología, desde el año 2000, como un sector estratégico, es decir, es un área que debe guiar la generación y aplicación del conocimiento. Por ejemplo, PECITI 2014-2018 plantea la necesidad de “fomentar las aplicaciones de la biotecnología para atender

responsablemente las amenazas a la salud humana [...]” (Conacyt, 2014: 42, 43, 50).

Cabe señalar que en México la institución encargada de incentivar y vigilar el progreso científico-tecnológico es el Conacyt, específicamente, se le atribuye la función de “articular las políticas públicas del gobierno federal y promover el desarrollo de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación, a fin de impulsar la modernización tecnológica del país” (Conacyt, 2019h: 1).

Para ello, el Conacyt cuenta con distintos fondos y apoyos de financiamiento a la investigación científica, tales como: Fondos Sectoriales, Fondos Mixtos; Fondos y Apoyos Institucionales; el Programa de Estímulo a la Innovación y el Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología, entre otros, que deben atender temas de prioridad nacional, así por ejemplo, el Conacyt (2019f: 2) señala que sus programas presupuestales se reestructuran constantemente para atender las necesidades de financiamiento de las líneas de acción estratégicas, definidas en la Ley de Ciencia y Tecnología, el PECITI y el Plan Nacional de Desarrollo. Por lo anterior, este apartado muestra una revisión de los proyectos de investigación que se han financiado con los fondos y apoyos públicos del Conacyt, para determinar si el desarrollo de vacunas biotecnológicas es incluido como tema prioritario como se establece en la legislación. Cabe señalar que el periodo analizado en cada programa está en función de las bases de datos disponibles.

FONDOS Y APOYOS PARA EL FINANCIAMIENTO A LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN VACUNAS BIOTECNOLÓGICAS

En primer lugar, los fondos sectoriales son fideicomisos que tienen la finalidad de fomentar el desarrollo científico y tecnológico en los distintos sectores considerados estratégicos para el desarrollo del país (Conacyt, 2019e). Hasta el segundo semestre de 2019 había 32 fondos constituidos ante el Conacyt, sin embargo, en el primer trimestre de 2020 se observó una disminución y actualmente existen 24

(Conacyt 2019e, 2020). Con la revisión de estos fondos se encontró que solo en cuatro hay proyectos dedicados al desarrollo de la biotecnología: i) el Fondo Sectorial de Innovación, ii) el Fondo de Innovación Tecnológica, iii) el Fondo de Investigación Científica Básica y iv) el Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social.

Con relación al Fondo Sectorial de Innovación se localizó información disponible desde 2011 hasta 2018, donde se evidencia que se financiaron 1 152 proyectos, con un monto total de inversión de 836 438 638.01 pesos. Asimismo, se encontraron únicamente tres proyectos dedicados al desarrollo de vacunas para uso humano con un financiamiento de 6 021 500 de pesos. De estos proyectos de investigación, dos corresponden al desarrollo de vacunas biotecnológicas y uno es un plan de comercialización de nano biopolímeros para el transporte de vacunas (de cualquier tipo), por lo que está orientado al sector de servicios. Por su parte, entre 2002 y 2010 el Fondo de Innovación Tecnológica financió tres proyectos de investigación relacionados con la creación de vacunas biotecnológicas de uso humano con una aportación de 21 412 202.99 pesos, lo que corresponde a 0.78% del monto total de financiamiento.

Respecto del Fondo de Investigación Científica Básica, se cuenta con información de proyectos financiados desde 2002 hasta 2018; en este periodo se encontraron 38 proyectos relacionados con la invención de vacunas de uso humano, con un financiamiento de 46 406 994.73 pesos, de los cuales 31 tienen que ver con la creación de vacunas biotecnológicas, mientras que por falta de información no se pudo definir si los restantes corresponden a la creación de vacunas tradicionales o de última generación; en lo que refiere al financiamiento de estos proyectos corresponde a 0.39% de la inversión total del fondo.

Finalmente, entre 2013 y 2019 el Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social solo cuenta con seis proyectos dedicados al desarrollo de vacunas, los cuales son acreedores a un financiamiento de 13 436 375 de pesos. De estos, tres tienen que ver con la creación de vacunas biotecnológicas y el resto se ubican en la esfera de servi-

cios; es decir, en la evaluación, diagnóstico, comercialización de vacunas tanto tradicionales como de última generación.

CUADRO 2
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE VACUNAS FINANCIADOS POR FONDOS SECTORIALES

Fondos	Número de proyectos	Monto del financiamiento en pesos
Fondo Sectorial de Innovación		
Todos	1 152	836 438 638.01
Vacunas para uso humano	3	6 021 500.00
Fondo de Innovación Tecnológica		
Todos	998	2 725 874 193.00
Vacunas para uso humano	3	21 412 202.99
Fondo de Investigación Científica Básica		
Todos	10 294	11 762 961 969.00
Vacunas para uso humano	38	46 406 994.73
Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social		
Todos*	n/d	n/d
Vacunas para uso humano**	6	13 436 375.00

Fuente: elaboración propia con base en datos del Conacyt (2019d).

*Respecto del número de proyectos y monto total otorgado en este periodo, no se puede determinar, ya que hay periodos en los cuales el Conacyt no proporciona información (segundo trimestre del 2014 y primer trimestre del 2015); además, existen bases de datos duplicadas (por ejemplo, la base correspondiente al tercer trimestre del 2014 es igual a la del cuarto trimestre del 2013).

**Tres de los proyectos obtuvieron financiamiento en dos ejercicios fiscales.

Algunos de los entes beneficiados por este fondo son: el IMSS, el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), la Universidad Veracruzana, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad

Autónoma Yucatán (UADY), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), entre otros.

En segundo lugar, los fondos mixtos tienen por objetivo incentivar las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación regionales, ello mediante un fideicomiso que concentra aportaciones de los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal (Conacyt, 2019d). Entre 2002 y 2018 este fondo financió 5 614 proyectos por un monto de 13 474 142 724 de pesos, de los cuales solo 12 proyectos tienen que ver con el desarrollo de vacunas, aunque solo cuatro de ellas serían de uso humano.

El primer proyecto pertenece a la UANL con un monto aprobado de 650 mil pesos, el segundo al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ) con 499 mil pesos, el tercero la Universidad de Sonora con un financiamiento de 175 mil pesos y, finalmente el cuarto al IMSS, del estado de Yucatán, al que se le otorgó 750 mil pesos. De los cuatro, tres corresponden al desarrollo de vacunas biotecnológicas o de última generación y uno tiene que ver con una investigación sobre la eficiencia y seguridad de vacunas tradicionales.

Tercero, los fondos y apoyos institucionales se crearon para dar respuesta a la demanda de apoyos que realiza la comunidad científica y tecnológica del país, fortalecer las relaciones del país con sus socios en el plano de CTI; promover acciones científicas, tecnológicas y de innovación; formar de recursos humanos especializados, y fortalecer de los sistemas locales, estatales y regionales dedicados al área (Conacyt, 2019c). Entre los fondos institucionales se encuentran: el Fondo Institucional (Foins), el Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología (Foncicyt), el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (Fordecyt) y, por último, el Fondo para el Fomento y Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en Bioseguridad y Biotecnología (Fondo Cibigem).

En relación con el Foins, el Conacyt tiene información disponible desde 2009 hasta el 2013, periodo en el cual se financiaron 79 pro-

yectos por un monto de 575 486 294.94 de pesos. Durante este lapso no se encontraron proyectos relacionados con vacunas. Por otro lado, el Fonciycy financió 77 proyectos de investigación por un monto de apoyo de 246 446 724.20 de pesos entre 2014 y 2017; del total, únicamente se encontraron dos proyectos relacionados con el desarrollo de vacunas biotecnológicas por un monto de 3 838 471.46 de pesos, una de ellas para uso veterinario y otra de uso humano; esta última biotecnológica. Mientras tanto, desde 2009 hasta 2019 el Fordecyct financió 315 proyectos por un monto de apoyo de 5 295 829 674.06 de pesos, de los cuales no existen proyectos sobre vacunas.

Respecto del Programa para el Desarrollo de la Bioseguridad y la Biotecnología (PDBB), desde 2011 hasta la fecha solo se reportan 23 proyectos financiados, de los cuales 20 están ubicados en el desarrollo de la biotecnología agrícola y solamente uno en el área de la salud, en específico, para la creación de vacunas. El monto otorgado al proyecto es de 1 060 mil pesos, lo cual corresponde solo a 1.3% del presupuesto total otorgado.

Cuarto, el Programa de Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica está dirigido a instituciones que realicen actividades de investigación, y tiene la finalidad de proveer recursos económicos para la renovación de equipo científico (Conacyt, 2019a). El Conacyt provee información de este fondo desde 2011 hasta 2018, tiempo en el que se financiaron 1 130 proyectos de renovación, adecuación o construcción de instalaciones, así como de adquisición de equipo especializado. Durante este tiempo se encontró que cinco proyectos se orientaron a fortalecer la infraestructura para el desarrollo de vacunas de última generación, más aún, su financiamiento fue de 13 471 175.71 pesos, lo que corresponde a 0.32% del monto total del programa de apoyo. Además, las universidades y centros de investigación beneficiados cuentan con departamentos, líneas de investigadores y personal altamente calificado especializados en el estudio y desarrollo de la biotecnología.

Quinto, el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) tiene el objetivo de otorgar estímulos a las empresas para el fomento de la

investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación (Conacyt, 2019f:2). Entre 2009 y 2017 se apoyó, vía inversión, el desarrollo de proyectos de investigación por un monto de 24 487 170 121.45 de pesos. Las empresas beneficiadas están vinculadas a diferentes sectores industriales como: electrónica, automotriz, telecomunicaciones, agroindustrial, biotecnología, farmacéutica y salud, entre otras. No obstante, a pesar de que la salud y la biotecnología son áreas estratégicas, el análisis de los datos del Conacyt (2019g) revela que solo 10.67% de la inversión total del PEI se otorgó a proyectos relacionados con el desarrollo de biotecnología, 10.67% a salud y farmacéutica, y solo 0.05% al desarrollo de vacunas.

Además, desde 2009 hasta 2017 se financiaron únicamente cinco proyectos relacionados con el desarrollo de vacunas de uso humano; las empresas beneficiadas son: Birmex, Sanofi Pasteur y Bioextracto; es importante señalar que todas se dedican a la creación productos biotecnológicos.

Cabe señalar que la pertinencia del PEI se ha cuestionado, dado que otorga millones de pesos en financiamiento no solo a pequeñas y medianas empresas, sino a grandes corporaciones multinacionales. Por ejemplo, Ribeiro (2019: 10-11) advierte que por medio de este programa se entregaron decenas de millones de pesos a las mayores multinacionales farmacéuticas del mundo, como Merck, Novartis, Sanofi, Bayer y Boheringer Ingelheim. Esto a pesar de que la industria la farmacéutica es la que tiene el mayor porcentaje de retorno de ganancias y es conocida por su falta de innovación, al lanzar supuestos nuevos productos que son copias modificadas de los anteriores para prolongar la vida de sus patentes e impedir el acceso a medicamentos a bajo costo. Este autor añade que, como resultado, las multinacionales toman las innovaciones financiadas con dinero público y las privatiza para su lucro, con patentes y en mercados oligopólicos, creando dependencia e inhibiendo la innovación; por todo ello, considera que es fundamental la eliminación ese programa y replantear las acciones e investigaciones que debieran financiarse.

CUADRO 3
PROYECTOS SOBRE VACUNAS FINANCIADOS
POR EL PROGRAMA DE ESTÍMULOS A LA INNOVACIÓN

Año	Empresa	Título del proyecto	Costo total del proyecto en pesos	Monto de apoyo en pesos
2009	Birmex	Desarrollo y escalamiento a nivel piloto de una vacuna contra heroína-morfina para uso humano.	3 900 000	1 620 000
2009	Sanofi Pasteur	Inmunogenicidad y seguridad de la vacuna contra el dengue CyD de Sanofi Pasteur en niños y adolescentes sanos de 9 a 16 años en América Latina (CYD11).	1 969 296	433 245
2009	Sanofi Pasteur	Estudio de inmunogenicidad de la persistencia de anticuerpos y efecto de refuerzo de la vacuna combinada DTACP-IPV-HEPB-PRP-T administrado a los 15 a 18 meses de edad después de una serie primaria de DTACP IPV HEPB-PRP-T.	2 720 376	598 483
2011	Birmex	Desarrollo de una plataforma tecnológica basada en el empleo de células de mamífero para la obtención de vacunas contra influenza tipos A y B.	2 242 000	493 240
2014	Bioextracto	Desarrollo clínico, implementación regulatoria y comercialización de una novedosa vacuna terapéutica de aplicación nasal para la prevención y tratamiento de la aterosclerosis.	9 922 000	2 976 600
2015	Bioextracto	Desarrollo clínico, implementación regulatoria y comercialización de una novedosa vacuna terapéutica de aplicación nasal para la protección y tratamiento de la aterosclerosis: 2a etapa.	10 568 512	3 170 554
2016	Bioextracto	Desarrollo clínico, implementación regulatoria y comercialización de una novedosa vacuna terapéutica de aplicación nasal para la protección y tratamiento de la aterosclerosis: 3a etapa.	4 155 212	1 246 564
2017	Bioextracto	Mecanismos moleculares que intervienen en la prevención del hígado graso no-alcohólico mediante la vacuna terapéutica ATV-HB-8 en el tratamiento de la aterosclerosis.	3 318 012	995 404

Fuente: elaboración propia con base en datos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2019)

Si bien Villavicencio (2019) señala que actualmente las reglas de operación del PEI distinguen el tamaño de las empresas, por lo tanto, entre más grande, menor el porcentaje de financiamiento; cuestiona que estos apoyos sean subsidios directos a los proyectos de las empresas en lugar de créditos flexibles o exenciones fiscales, como sucede en otros países.

Con excepción del programa de estímulos fiscales que fue reactivado en 2017, tanto PEI como FIT subvencionan hasta 50% de los gastos de los proyectos de I+D a fondo perdido. Esto quiere decir que las empresas no están obligadas a devolver los recursos públicos otorgados en el caso de fracasar en la comercialización de los prototipos o productos mejorados, ni tampoco en el caso de que la innovación sea exitosa [...] lo que nos interesa destacar aquí es que una evaluación contextualizada del impacto de los más de 7000 proyectos apoyados a la fecha por el PEI es inexistente [...] Hoy por hoy, es imposible saber cuántos de los prototipos, mejoras a procesos o productos nuevos tuvieron viabilidad comercial con la consecuente rentabilidad para las empresas, mayor competitividad y derramas económicas para el país (Villavicencio, 2019: 79-80).

Además de lo anterior, este autor (Villavicencio, 2019) analizó 5 874 proyectos apoyados en este programa y únicamente identificó que 223 (menos de 5%) de estos fueron destinados a la biotecnología en todas las áreas; por lo tanto, los proyectos compiten con los de otras áreas que son mayormente beneficiadas, como software con 877 proyectos aprobados, mecánica con 856 y electrónica con 337. De esta forma, llegó a la conclusión que la convocatoria del PEI no especifica sectores estratégicos que se deben apoyar, lo que impide realizar una distribución adecuada de los subsidios en función de las prioridades nacionales. De manera que, a pesar de que en los últimos años se han hecho ajustes a las reglas de operación de este programa, aún persisten deficiencias que impiden la creación de procesos de innovación endógenos.

Finalmente, el Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT) es un crédito fiscal a empresas que tengan por lo menos tres años de experiencia comprobables en inversiones en actividades de I+D de tecnología. Este beneficio consiste en acreditar 30% de sus gastos en este rubro contra el Impuesto Sobre la Renta (ISR) y lo pueden ejercer durante 10 años. Con ello se pretende incrementar la investigación científica y el desarrollo tecnológico vía el incremento de la inversión de la iniciativa privada (Conacyt, 2019b).

El Conacyt provee información sobre las empresas que fueron beneficiadas por este estímulo únicamente del 2017 a la fecha. En este periodo fueron elegidos, sujetos de apoyo, 93 proyectos de investigación por un monto de apoyo de 1 395 663 194.88 de pesos. Mediante la revisión de las bases de datos se pudo encontrar que 25 proyectos tienen que ver con el área de la salud humana; ocho tienen con distintas áreas biotecnológicas (dos están relacionados con la biotecnología roja); y finalmente, dos están dedicados al desarrollo de vacunas, de las cuales una es para uso humano y la otra para uso veterinario. Los montos de cada proyecto no pueden definirse, ya que algunas empresas tienen registrados varios proyectos y el monto de apoyo no se encuentra desglosado.

A manera de balance, se puede decir que entre 2002 y 2011, a través de estos fondos y apoyos, en México se han financiado únicamente 65 proyectos sobre vacunas biotecnológicas, con una inversión de 15 816 343 866.78 pesos (véase el siguiente cuadro). Esta información da cuenta de que a pesar de que el discurso y las políticas públicas en el país colocan a la biotecnología, la salud y la creación de vacunas dentro de los sectores estratégicos, lo que en realidad se lleva a cabo discrepa. No se prioriza la investigación en el área y prevalece una trayectoria descoordinada en torno a la producción de vacunas en los últimos 30 años.

La pérdida de autosuficiencia en la producción de vacunas y falta de financiamiento para el desarrollo de vacunas biotecnológicas ha colocado a México en una situación de dependencia científico-tecnológica, frente a otras naciones. Por ejemplo, en el caso del desarrollo

de una vacuna contra el covid-19, a pesar de que existen iniciativas mexicanas para la creación de una vacuna, Carrión y otros (2020) advierten que el dinero invertido no se cuenta ni siquiera en millones de pesos, y la infraestructura previa necesaria es precaria; por lo que los centros y universidades que lideran los proyectos no pueden competir con las grandes farmacéuticas cuentan con todo el arsenal necesario para desarrollar una vacuna con éxito, es decir, con una participación de un sinnúmero de científicos, universidades, centros de investigación, gobiernos y empresas, en donde se han invertido miles de millones de dólares.

REFLEXIONES FINALES

La historia del sistema mexicano de vacunación desde sus inicios en la época colonial hasta la etapa del Estado Desarrollista se caracterizó por adoptar rápidamente los avances surgidos a nivel mundial; generó estrategias novedosas que permitieron ampliar la cobertura en cuanto a cantidad de población y de enfermedades prevenibles atendidas e incentivó la vinculación entre el sistema de salud y el de CyT para la construcción de una plataforma de investigación en el área. Todo esto permitió al país la autosuficiencia en el diseño y creación de vacunas para atender las necesidades sanitarias nacionales, lo que le valió el reconocimiento internacional.

Sin embargo, el cambio de las políticas económicas en los años setenta tuvo un impacto negativo en el área, pues se dejó de invertir, abriendo espacios para que el sector privado incrementará su participación. La reducción del gasto provocó el desmantelamiento de los centros de investigación encargados de la producción, y la apertura de sectores estratégicos al mercado permitió que las empresas farmacéuticas se encargaran de cubrir las necesidades de salud de los mexicanos. Todo esto resultó en un retroceso que mermó la autosuficiencia con la que contaba el país. Por ello, resulta evidente que es necesario un cambio en el paradigma prevaleciente e impulsar la investigación biomédica que atienda las necesidades epidemiológicas

para reducir la dependencia que existe con las grandes empresas que controlan el mercado nacional.

CUADRO 4
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE VACUNAS
FINANCIADOS POR FONDOS Y APOYOS CONACYT

Fondo	Periodo	Proyectos de vacunas	Total de proyectos	Financiamiento
<i>Fondos sectoriales</i>				
1. Fondo Sectorial de Innovación	2011-2018	3	1 152	836 438 638.01
2. Fondo de Innovación Tecnológica	2011-2018	3	998	21 412 202.99
3. Fondo de Investigación Científica Básica	2011-2018	31	10 294	46 406 994.73
4. Fondo de Investigación en Salud y Seguridad Social	2011-2018	6	N/d	13 436 375.00
Fondos mixtos	2002-2018	4	5 614	13 474 142 724.00
<i>Fondos y apoyos institucionales</i>				
1. FONCICYT	2014-2017	2	77	3 838 471.46
2. Cibíogem	2011-2018	1	20	1 060 000.00
Apoyos a infraestructura	2011-2018	5	1 130	13 471 175.71
Programa de estímulos a la innovación	2009-2017	8	6 472	11 534 090.00
Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo Tecnológico	2017-2019	2	93	1 395 663 194.88
Total		65	25 870	15 816 343 866.78

Fuente: elaboración con base en datos de Conacyt.

Birmex se fundó a partir de la fusión de institutos y dependencias que aseguraban la autosuficiencia del país, pero actualmente está lejos de cumplir la encomienda de garantizar el abastecimiento de vacunas en México. La paraestatal ya no produce nuevas vacunas, ya que, más que inscribirse en el desarrollo científico-tecnológico al funcionar como un centro de I+D y establecer redes de colaboración con centros de investigación y universidades, su función es de intermediaria al comprar a las grandes empresas biofarmacéuticas y revender a los institutos públicos de salud. El discurso del gobierno actual señala que la paraestatal tendrá un papel clave en esta pandemia, sin embargo, su encomienda se limitará a distribuir las vacunas en todo el territorio nacional, en lugar de sumarse y colaborar con infraestructura, personal y experiencia en el desarrollo de una vacuna mexicana que garantice el abasto a futuro de un padecimiento que se asegura será endémico.

México ha diseñado e implementado distintos programas de financiamiento para impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico con la intención de mejorar los indicadores de CTI. Estos programas incluyen como área estratégica a la biotecnología, pero no se definen sectores prioritarios, por lo cual la salud, y en especial las vacunas, aparecen en proyectos aislados, algunos de ellos comandados por las grandes corporaciones biofarmacéuticas que tienen el control del mercado internacional y nacional. Por tanto, el uso de los recursos no se orienta a la resolución de problemas sociales, sino que colabora directa o indirectamente con el proceso de acumulación de ganancias de las empresas. A esto se agrega que la inversión de la iniciativa privada en I+D es escasa, dado que no hay interés por crear industrias innovadoras nacionales, la vinculación entre la ciencia y la industria existente en el país es insuficiente; y no hay marcos normativos que obliguen a las empresas a invertir, transferir tecnología y conocimiento a las instituciones de investigación nacionales.

Finalmente, valdría la pena revisar la experiencia de algunos países que lograron establecer sistemas de vacunación robustos, gracias a la adopción de distintas estrategias que pueden servir de ejemplo y

adaptarse al contexto mexicano. Un caso que vale la pena mencionar es Cuba, dado que entendió la necesidad de impulsar y vincular distintos sectores estratégicos, como la CTI, la salud y la educación, con la intención de hacer frente los embargos económicos de la isla y, a la par, satisfacer las necesidades sociales de su población. Al respecto, la OMS (2008: 1) señala que el sistema de salud cubano es uno de los más eficaces del mundo y sus indicadores son comparables a los de países desarrollados. Mientras que Etienne (2018: 1) asegura que el sistema de salud cubano está preparado para responder a emergencias y brotes epidémicos, cuenta con más de 48 mil colaboradores de salud en 62 países, y ha graduado más de 28 mil médicos de más de 100 países.

Otro caso que llamo la atención en el último año es Israel, que frente a la pandemia por covid-19 logró inmunizar a gran parte de su población, esto no sólo porque tiene poca población, sino que tiene que ver con las características y eficiencia de su sistema de salud, que se caracteriza por ser público y brindar atención al 100% de la población (Kemnitz, 2021).

En este mismo sentido, valdría la pena revisar detalladamente la práctica de países como Estados Unidos, Reino Unido, China y Rusia que colaboraron en la creación o lograron desarrollar tempranamente una vacuna contra el covid-19, valiéndose de diversas estrategias como: la eficacia de su plataforma científico-tecnológica eficaz, la exitosa vinculación entre empresas biofarmacéuticas con centros de investigación y universidades, la eficacia de sus sistemas de salud y la inversión suficientes recursos a CTI y salud, dado que dieron muestra de su poderío y liderazgo en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, Alejandro (1988). “De la quiebra del neoliberalismo a la necesidad de superarlo: México en los noventas”. En *Hacia un nuevo modelo económico*, coordinado por José Luis Calva (coordinador general); Alejandro Álvarez y Ma. de la Luz Arriaga (coordinadores modulares), 65-77. Ciudad de México: Juan Pablos Editor, S.A.
- Beltrán, Flores Carlos (1983). “El sistema Cartilla Nacional de Vacunación”. *Salud Pública de México* 25 (2): 211-14.
- Benítez, Susana (2020). “Edward Jenner (Inglaterra 1749-1825)”. *Revista Médica Clínica Las Condes* 31 (3): 377. doi: 10.1016/j.rmcl.2020.07.001.
- Berdasquera Corcho, Denis, Georgina Martínez Cruz y Carmen Larreinaga Suárez (2000). “La vacunación. Antecedentes históricos en el mundo”. *Revista Cubana de Medicina General Integral* 16 (4): 375-78.
- Banco Mundial (BM) (2018). “Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)” [en línea]. Disponible en <<https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>> (consulta: 1 de enero de 2021).
- Carrillo, Ana María (2017). “Vaccine production, national security anxieties and the unstable state in nineteenth-and twentieth-century Mexico”. En *The politics of vaccination*, coordinado por Cristine Holmberg, Stuart Blume y Paul Greenough, 121-147. Manchester University Press.
- Carión, Lydiette, Fernanda Vega Osnaya, y Emilio Mendoza (2020). “Con dinero propio y ahorros: la carrera mexicana por la vacuna contra el covid” [en línea]. *Corriente Alterna, UNAM*, 21 de septiembre.
- Casas Guerrero, Rosalba y Jorge A. Dettmer (2007). “Construyendo un paradigma de política científica tecnológica para México”. En *Educación, ciencia, tecnología y competitividad*, coordinado por José Luis Calva, 137-154. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Consejo Consultivo de Ciencias (ccc) (2017). *Inversión privada para ciencia, tecnología e innovación* [en línea]. Disponible en <<https://www.ccciencias.mx/pdf/fichas/2.ficha.pdf>> (consulta: 7 de junio de 2020).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2014). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018* [en línea]. Disponible en <http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5354626&fecha=30/07/2014> (consulta: 31 de mayo de 2017).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019a). *Apoyos infraestructura. Fondos y apoyos* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/apoyos-infraestructura>> (consulta: 11 de febrero de 2029).

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019b). *Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología. Fondos y apoyos* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/estimulo-fiscal-a-la-investigacion-y-desarrollo-de-tecnologia-efidt>> (consulta: 2 de marzo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019c). *Fondos institucionales. Fondos y apoyos* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-institucionales>> (consulta: 3 de marzo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019d). *Fondos mixtos. Fondos y apoyos* [en línea]. Disponible en <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-mixtos> (consulta: 2 de marzo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019e). *Fondos sectoriales. Fondos y apoyos* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-sectoriales>> (consulta: 2 de marzo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019f). *Fondos y apoyos. Programa de Estímulos a la Innovación* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>> (consulta: 8 de marzo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019g). *Padrón de beneficiarios 2009-2017. Programa de Estímulos a la Innovación* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>> (consulta: 8 de marzo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2019h). *¿Qué es el Conacyt?* [en línea]. Disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt>> (consulta: 13 de mayo de 2019).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2020). *Informe de actividades del Conacyt, enero-marzo 2020. Gubernamental*. México: Conacyt.
- De Micheli-Serra, Alfredo (2002). “Doscientos años de la vacunación antivariolosa”. *Gaceta Médica de México* 138 (1): 83-87.
- Etienne, Carissa. (2018). “Cuba hacia la Salud Universal”. *Revista Panamericana de Salud Pública* 42 (e64): 1-2 [en línea]. Disponible en <<http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/34908>>.
- Foladori, Guillermo (2014). “Ciencia ficticia”. *Estudios críticos del desarrollo* 4 (7): 41-66.
- Foladori, Guillermo (2015). “Políticas de ciencia y tecnología: ¿beneficios para quién?”. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* 10: 55-56.
- Fong, Hildy y Eva Harris (2015). “Tecnología, innovación y equidad sanitaria”. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud. Recopilación de artículos* 93 (7): 437-512.

- Gómez, Thelma (2009). "México desoyó a la OMS". *El Universal.mx*, abril.
- Guadarrama Atrizco, Víctor Hugo (2019). "Ciencia, tecnología, innovación y el proyecto de presupuesto 2020". *Nexos*, septiembre 25.
- Gutman, Graciela E., y Pablo Lavarello (2010). *Desarrollo Reciente de la Moderna Biotecnología en el Sector de Salud Humana* [en línea]. Disponible en <<http://www.ceur-conicet.gov.ar/archivos/publicaciones/MBenSHDocumento2.pdf>> (consulta: 21 de octubre de 2017).
- Hurtado Ochoterena, Claudia A., y Norma A. Matías Juan (2005). "Historia de la vacunación en México". *Revista Mexicana de Puericultura y Pediatría* 13 (74): 47-74.
- Jiménez, Zamudio Luis A. (2015). "Breve historia de la inmunología en México". *Revista Ciencia* 66: 1-10.
- Kaufmann, Stefan H. E (2007). "The Contribution of Immunology to the Rational Design of Novel Antibacterial Vaccines". *Nature Reviews Microbiology* 5 (7): 491-504. doi: 10.1038/nrmicro1688.
- Kemnitz, Mauricio Pablo (2021). "La aplicación de un plan de vacunación con alta tasa de cobertura para covid-19 podría ofrecer una salida a la pandemia". *Evidencia, Actualización En La práctica Ambulatoria* 24 (3): 1-2 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.51987/evidencia.v24i4.695>>.
- LatinComm (2015). *México: país pionero en la producción local de vacunas. Historia y avances de la vacunación en México* [en línea]. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400159/Varios_-_Historia_y_avances_de_la_vacunaci_n_en_M_xico.pdf> (consulta: 3 de marzo de 2019).
- Manterola, Alberto Cesar, José A. Bodino, Angela Spagnuolo de Gentile y Eduardo López (1990). *Presente y futuro de las inmunizaciones*. Washington: Organización Panamericana de la Salud.
- Martínez-Mateo, P., M. J. Bustos-Fonseca, y M. J. Gil-Díaz (2012). "Actualización en vacunas. Teoría, realidades y mitos (I)". *SEMERGEN-Medicina de Familia* 38 (3): 160-66. doi: 10.1016/j.semerg.2011.10.021.
- Morán Breña, Carmen (2020). "México fue una potencia en vacunas: ahora espera la de la covid-19 mirando al exterior". *El País*, junio 10.
- Morones Ramírez, Rubén (2009). "Biotecnología: una oportunidad para México". *Ciencia y Desarrollo* 35 (235): 8-17.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2016). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*. OECD [en línea]. Disponible en <https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en> (consulta: 7 de junio de 2020).

- Oliva Sánchez, Pablo Francisco, Marcos Jafif Cojab, Isaac Akkad Schaffer, y Esteban Waliszewski Zamorano (2013). “Equidad, salud pública y genómica: el reto jurídico, social y biotecnológico en México”. *Gaceta Médica de México* 149 (5): 562-68.
- Organización Mundial del Comercio (OMC) (1994). *Acuerdo sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio*.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). “La revolución de la atención primaria en Cuba cumple 30 años”. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud. Recopilación de artículos* (86) 321-416.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2010). *Llamamiento de la OMS en favor de nuevas tecnologías para los problemas de salud en el mundo*. Centro de prensa [en línea]. Disponible en <https://www.who.int/mediacentre/events/meetings/2010/call_for_nominations_20100122/es/> (consulta: 5 de mayo de 2020).
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2019). *Inmunización. Temas de salud* [en línea]. Disponible en <<https://www.who.int/topics/immunization/es/>> (consulta: 14 de noviembre de 2019).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2020). *Invertir en ciencia, tecnología e innovación* [en línea]. Disponible en <<https://es.unesco.org/themes/invertir-ciencia-tecnologia-e-innovacion>> (consulta: 20 de julio de 2018).
- Plataforma Nacional de Transparencia (2018). *Padrón de proveedores y contratistas. Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México, S. A. de C. V.* Disponible en <<https://www.plataformadetransparencia.org.mx/web/guest/inicio>> (consulta: 2 de enero de 2021).
- Plataforma Nacional de Transparencia (2019). *Padrón de proveedores y contratistas. Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México, S. A. de C. V.* [en línea]. Disponible en <<https://www.plataformadetransparencia.org.mx/web/guest/inicio>> (consulta: 2 de enero de 2021).
- Plataforma Nacional de Transparencia (2020). *Padrón de proveedores y contratistas. Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México, S. A. de C. V.* [en línea]. Disponible en <<https://www.plataformadetransparencia.org.mx/web/guest/inicio>> (consulta: 2 de enero de 2021).
- Ponce de León-Rosales, Samuel, Ruth Velázquez-Fernández, José Bugarín-González, Pedro García Bañuelos, Angélica López-Sotelo, María-Eugenia Jiménez-Corona, Francisco Padilla-Catalán, y Rocío Cervantes-Rosales (2011). “Domestic influenza vaccine production in Mexico: A state-owned and a multinational company working together for public health”. *Vaccine* 29: A26-28.

- Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (2019). *Recursos financieros I+D, México 2008-2017* [en línea] Disponible en <http://dev.riicyt.org/ui/v3/bycountry.html?country=MX&subfamily=CTI_IMD&start_year=2008&end_year=2017#charttitle> (consulta: 10 de noviembre de 2019).
- Reguero, María Teresa, y C. Cardozo (1988). "Biotecnología y salud". *Revista Colombiana de Biotecnología* 1 (2): 15-26.
- Ribeiro, Silvia (2019). "Huachicoleo científico". *La Jornada*, febrero 2.
- Rodríguez-Álvarez, Mauricio y Samuel Ponce de León-Rosales (2010). "Las vacunas contra influenza, un desafío cíclico". *Revista Digital Universitaria* 11 (4): 1-9.
- Salomón, Ganado Alfredo (2009). "La biotecnología en México". *Comercio Exterior* 59 (10): 777-83.
- Santos Preciado, José Ignacio (1999). "Nuevo esquema de vacunación en México". *Salud Pública de México* 41 (1): 1-2.
- Santos, José Ignacio (2002). "El Programa Nacional de Vacunación: orgullo de México". *Revista de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Autónoma de México* 45 (3) : 1-13.
- Santos, José Ignacio (2014). "La vacunación en México en el marco de las 'décadas de las vacunas': logros y desafíos". *Gaceta Médica de México* 150: 180-188.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) (2014). *Cuenta Pública 2014. Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México, S.A. de C.V.* [en línea]. Disponible en <<https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/work/models/CP/2014/tomo/VII/NEF/NEF.02.NEF.pdf>> (consulta: 20 de diciembre de 2018).
- Secretaría de Salud (ssa) (2014). *Programa de Acción Específico. Vacunación Universal 2013-2018* [en línea]. Disponible en <http://www.censia.salud.gob.mx/contenidos/descargas/transparencia/especiales/PAE_Vacunacion_Universal_PAE_final_final.pdf> (consulta: 2 de marzo de 2019).
- Secretaría de Salud (ssa) (2015). *Esquema de vacunación. Conoce las vacunas y cuándo aplicarlas* [en línea]. Disponible en <<https://www.gob.mx/salud/articulos/esquema-de-vacunacion>> (consulta: 23 de enero de 2019).
- Secretaría de Salud (ssa) (2018). *Libro blanco. Asociación público-privada Birmex-Sanofi (Azteca vacunas-suministrador de vacunas)* [en línea]. Ciudad de México: Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México. Disponible en <<https://www.birmex.gob.mx/assets/libro-blanco-app-birmex-sanofi-2012-2018-.pdf>> (consulta: 3 de marzo de 2019).
- Secretaría de Salud (ssa) (2019a). *BIRMEX* [en línea]. Disponible en <<https://www.birmex.gob.mx/index.html>>. (consulta: 1 de marzo de 2019).
- Secretaría de Salud (ssa) (2019b). *Comercialización. Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México S.A. de C.V.* [en línea] Disponible en <<http://www.birmex.gob.mx/comercializacion.html>>. (consulta: 8 de marzo de 2019).

- Secretaría de Salud (SSA), Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud (SPPS), y Centro Nacional para la Salud de Infancia y la Adolescencia (Censia) (2015). “Programa de vacunación universal y semanas nacionales de salud. Lineamientos generales 2015” [en línea]. Disponible en <http://www.censia.salud.gob.mx/contenidos/descargas/vacunas/Lineamientos_PVUySNS2015.PDF> (consulta: 8 de marzo de 2019).
- Tamez, Silvia, Catalina Eibenschutz, Xareni Zafra y Raquel Ramírez (2016). “Public-private articulation in the production of vaccines in Mexico”. *Saúde em Debate* 40 (111): 9-21. doi: 10.1590/0103-1104201611101.
- Veltmeyer, Henry (2010). “Una sinopsis de la idea de desarrollo”. *Migración y Desarrollo* (14): 9-34.
- Villavicencio, Carbajal, Daniel Hugo (2019). “Los desafíos de las políticas de innovación en México”. En *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* 53-92. Ciudad de México: Facultad de Economía, Universidad Autónoma de México.

Intermediación y proximidad de la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico entre universidad y empresa

*Talía Santana Quintero
Manuel Soria López*

INTRODUCCIÓN

En México han existido precedentes de esfuerzos discontinuos por impulsar la transferencia de conocimiento tecnológico entre la universidad y la empresa. Los primeros esfuerzos del gobierno mexicano iniciaron en las décadas de los años cuarenta y cincuenta cuando se crearon tanto leyes como institutos de investigación científica (Pérez, 2005: 221) y tecnológica (Gómez-Galvarriato, 2019: 1273), con el objeto de fomentar la innovación industrial. Sin embargo, el desarrollo de estas actividades científicas y tecnológicas desde un inicio enfrentó restricciones presupuestales y decisiones políticas incongruentes de los gobernantes. En el largo plazo, los modelos económicos establecidos con éxito en los años cincuenta ya no fueron tan exitosos durante los años noventa, cuando este tipo de esfuerzos institucionales sobre ciencia, tecnología e innovación desaparecieron por completo (De Gortari, 1963: 363; Gómez-Galvarriato, 2019: 1304).

Los intermediarios han sido identificados como el factor vinculante entre agentes que colaboran, cuyo papel es reducir las brechas

estructurales y la discontinuidad de las relaciones, asumiendo roles de liderazgo o funciones amplias, dinámicas o diversas ante la ausencia de las sinergias requeridas en la actividad innovadora, compensando ciertas debilidades del sistema para facilitar la transferencia de conocimiento tecnológico entre universidades e institutos de I+D y los sectores productivos (Casalet *et al.*, 2008: 107, Stezano, 2008: 1081, Pérez, 2016: 163). Algunos mecanismos intermediarios a nivel sectorial o meso que han sobresalido en el caso de México son el Fondo PYME para I+D, la Aceleradora de Negocios TECHBA, organizaciones como la Fundación México Estados Unidos para la Ciencia, el Programa de Consorcios para la Innovación (Stezano, 2008:1085) o la Fundación Produce (Caballero y Vera-Cruz, 2016: 219). Sin embargo, estos y el resto de los programas u organismos intermediarios, no siempre lograron estabilizar sus propias estructuras al dispersar esfuerzos en una serie de multifunciones (Pérez, 2016: 179). La principal limitante señalada por estos estudios estriba en que si bien dichos organismos intermediarios impulsaron desde un nivel meso a ramas, sectores o regiones, a nivel micro no se indujeron las interacciones entre agentes necesarias para efectuar la transferencia efectiva de tecnología.

Durante la última década, el rol de intermediación del gobierno federal ha continuado con el diseño y ejecución de nuevos programas públicos dirigidos hacia la innovación en las empresas industriales. En efecto, el Programa de Estímulo a la Innovación (PEI), fue diseñado, administrado y financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) bajo tres modalidades; Innovatec, Proinnova e InnoaPYME. En particular, planteó como objetivo estimular la transferencia de conocimiento y tecnología, incentivando la formación de vínculos entre la universidad y la empresa. A este programa se destinó una inversión pública nunca antes vista que ascendió al menos a veinte mmdp durante el periodo 2009-2018 y los proyectos apoyados sumaron alrededor de 5 mil empresas micro, pequeñas, medianas y grandes vinculadas a las principales universidades e institutos de I+D mexicanos. Sin embargo, a pesar de la envergadura del PEI y los fondos públicos invertidos, no existen indicadores ni estudios recientes

que evalúen el destino de los recursos en función de los resultados de innovación tecnológica esperados por cada proyecto financiado (Rednacecyt, 2015: 438). El estudio de caso que se presenta y analiza en este capítulo es uno de los miles de proyectos apoyados por este tipo de programas públicos que demuestra que sí es posible desarrollar procesos de innovación mediante la vinculación de la universidad y la empresa.

En este orden de ideas, la pregunta que busca resolver esta investigación es saber cuáles son y cómo actúan los factores de la proximidad y los elementos constitutivos del proceso de intermediación gestado y desarrollado entre el CIBA-IPN, la empresa Novazucar y el intermediario Biolab, para impulsar la transferencia efectiva a la empresa del conocimiento tecnológico producido por la universidad. El argumento central afirma que la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico entre la universidad (CIBA-IPN) y la empresa (Novazucar) fue impulsada por la creación de la organización BIOLAB y el desarrollo de procesos de intermediación que acrecentaron la proximidad en cuatro dimensiones de la vinculación: institucional, organizacional, cognitiva y relacional.

El capítulo se divide en cuatro apartados. El primero presenta las principales categorías y conceptos teóricos con los cuales se analiza el caso de estudio. El segundo, muestra la metodología de la investigación. El tercer apartado aborda el caso de estudio en tres vertientes: su trayectoria de evolución, la innovación producida por estos agentes y las dimensiones de proximidad e intermediación que emanan del caso de estudio. En el cuarto apartado se despliega el análisis y discusión de los principales hallazgos. Al final, se presenta la conclusión.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA: INTERMEDIACIÓN Y PROXIMIDAD

Esta investigación es acerca de un caso de economía de la innovación que integra al marco analítico de la “intermediación” con el enfoque de “proximidad” entre agentes vinculados (Janssen *et al.*, 2020: 607), cuyo fin es facilitar la transferencia efectiva de conocimiento tecno-

lógico entre la universidad y la empresa (Theodorakopoulos *et al.*, 2012: 557; Bozeman, 2000: 636; Bozeman *et al.*, 2015: 35). El concepto del intermediario le asigna el rol de establecer las conexiones que sean necesarias para aproximar a los agentes de la innovación que se expresan como un mecanismo o un proceso o a una organización (Bessant y Rush, 1995: 98; Howells, 2006: 717). El concepto de proximidad opera en diferentes dimensiones, en las cuales se establecen las condiciones cognitivas, sociales, institucionales y organizacionales para coordinar la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico entre agentes de naturaleza diferente (Boschma, 2005: 63; Villani *et al.*, 2017: 88; Lauvas y Steinmo, 2019: 194).

Vinculación y transferencia de tecnología

Históricamente, la vinculación de la industria con la universidad ha sido a través de la docencia e investigación. Sin embargo, en la década de los setenta las universidades ampliaron sus actividades sustantivas de investigación al incorporar la ciencia como pieza clave para desarrollar las nuevas tecnologías y contribuir a las innovaciones de mercado que caracterizan la economía moderna. En efecto, esta tercera misión de la universidad implica la generación, uso, aplicación y explotación del conocimiento científico con actores externos para fines de comercialización (Secundo *et al.*, 2017: 234).

La interacción entre la universidad y la empresa ocurre a través de múltiples canales de vinculación, entre los cuales, los más destacados que pueden identificarse se ordenan en cuatro categorías (Lemos y Cario, 2017: 18): *tradicional*, *servicio*, *comercial* y *bi-direccional* (véase el cuadro 1, columna C). La utilización de las modalidades específicas de los canales de esta tipología se funda en determinados razonamientos sobre la naturaleza del conocimiento transferido, el involucramiento del investigador en cada proyecto específico, la naturaleza y dirección de la relación universidad-empresa, su grado de formalidad/informalidad y el resultado de la vinculación expresado en los beneficios sociales y económicos para los agentes involucrados.

La vinculación para transferir tecnología sugiere, además de estudiarla a través de sus canales y beneficios, que también han de considerarse aquellos factores que inhiben el proceso de interacción entre los agentes involucrados (Nsanzumuhire y Groot, 2020: 14). Estos factores implican al menos tres categorías principales: i) institucional, ii) organizacional y, iii) cultural y cognitiva.

Los factores inhibidores de carácter institucional tienen sus raíces en las normas, reglamentos y leyes dirigidas a regular y controlar la acción social de los agentes a través de mecanismos que inhiben o modifican su comportamiento original. Es decir, los agentes deciden si siguen o rechazan normas bajo diferentes contextos, lo que trae consigo diferentes resultados: unos esperados y otros no, al aplicarse las reglas y regulaciones impuestas a las universidades y empresas por las agencias gubernamentales (Nsanzumuhire y Groot 2020: 11).

Los factores organizacionales que inhiben la transferencia de conocimiento tecnológico se caracterizan por obstruir las actividades entre actores y las funciones estructurales de la organización, impidiendo así agilidad y dinamismo en el proceso de absorción y transferencia del conocimiento tecnológico por sus integrantes (Bruneel *et al.*, 2010: 860) Por ejemplo, al actuar los agentes bajo lógicas, intereses o contextos distintos a los de la organización o la vinculación entre organizaciones, se dificulta compartir habilidades y técnicas básicas necesarias para absorber y transferir conocimiento tecnológico (Halili, 2020: 3).

Los factores culturales-cognitivos incluyen toda diferencia o carencia entre agentes con respecto a su naturaleza, conocimientos, artefactos y creencias que inhibe la posibilidad de compartir sus reacciones motoras aprendidas, hábitos, técnicas, ideas, pensamiento necesario para formar una base de conocimiento común (Nsanzumuhire y Groot 2020: 13). Un efecto es incapacitar a los agentes para comunicarse, dificultando la comprensión de relaciones basadas en rutinas, la absorción del conocimiento, impulsándose así la falta de interés, incertidumbre y desconfianza entre los agentes vinculados (Bruneel *et al.*, 2010: 864).

Para mitigar estos factores inhibidores de la vinculación que alejan a la universidad de la empresa, se requiere de intermediarios como facilitadores para transferir con efectividad el conocimiento tecnológico; configurar y suministrar la legitimación, y efectuar la traducción e impulsar la adopción y adaptación innovadora de tecnología y conocimiento científico entre los agentes (Theodorakopoulos *et al.*, 2012: 557; 2014: 654).

Intermediación

En su origen al intermediario se le concibe como el “conector” que establece las bases para la construcción de puentes, agilizando los vínculos y logrando que todos los agentes colaboren entre ellos para efectuar actividades de innovación (Bessant y Rush, 1995: 100; Howells, 2006: 719). Su rol principal es ayudar a solventar fallas, problemas, debilidades o necesidades de la vinculación entre universidad y empresa para transferir conocimiento tecnológico (Klerkx y Leeuwis, 2009: 853), realizando actividades que los agentes involucrados desconocen o les son adversas en términos de difusión, flujos de conocimiento y reducción de información asimétrica (Kanda *et al.*, 2020: 451). El intermediario es entonces un facilitador, un agente con atributos para promover la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico y fortalecer a las organizaciones involucradas ante las debilidades que muestran sus vínculos (Siegel *et al.*, 2004: 135; Theodorakopoulos *et al.*, 2012: 558; Horner y otros, 2019: 1298). Desde una perspectiva del mercado de la información y el conocimiento, el intermediario desempeña el papel de fortalecer y fomentar las interconexiones entre la oferta y demanda de conocimiento tecnológico entre la universidad y la empresa (Theodorakopoulos *et al.*, 2012: 555). Desde una perspectiva cultural, si la proximidad entre los agentes favorece la comunicación del conocimiento entre la universidad y la empresa, sólo se requieren prácticas flexibles, robustas y consistentes para diseñar procesos y mecanismos mediadores que contribuyan a aproximarlos (Siegel *et al.*, 2004: 136).

El fenómeno de la intermediación se expresa en tres nociones básicas: i) *Mecanismo*: elemento conformado para cumplir con la función de mejorar o crear nuevas vías de comunicación e intercambio de conocimiento como parte de una experiencia colectiva (Bessant y Rush, 1995: 103; Diani, 2013: 150). *Proceso*: se constituye del suministro y transformación del conocimiento mediante una estructura que fomenta la creación de rutinas para establecer conexión entre soluciones nuevas y existentes (Howells, 2006: 720; Sánchez *et al.*, 2016: 155). iii) *Organización*: el intermediario de la innovación es un suceso sistémico caracterizado como una entidad generadora de valor para los agentes (De Silva *et al.*, 2018: 71), modelando nuevas formas de organizar la vinculación para transferir conocimiento tecnológico (Stezano, 2008: 1072). En efecto, la intermediación se concreta como mecanismo, proceso u organización que actúa como enlace entre dos o más actores, debido a fallas de conexión o por algún conflicto para interactuar, creando una nueva vía de comunicación e intercambio, asegurando la fortaleza y continuidad de las relaciones (Stezano, 2008: 1074; Howells, 2006: 722; Sánchez *et al.*, 2016: 157; Bessant y Rush, 1995: 103; Diani, 2013: 151).

Proximidad

En el enfoque sobre proximidad entre agentes se identifican al menos dos trayectorias de análisis (Balland, 2012: 742; Boschma, 2005: 63): la primera refiere a la cercanía territorial o espacial que favorece el intercambio de bienes, servicios, información y conocimiento *in situ* o entre entidades o agentes geográficamente próximos (Knoben y Oerlemans, 2006: 73); la segunda trayectoria es no-geográfica o dinámica y utiliza un enfoque que cubre lo geográfico e incluye otros procesos como la innovación, la producción de conocimiento y su difusión a través de la transferencia entre agentes.

La premisa central de este marco de análisis es que las diferentes dimensiones de proximidad pueden reducir los costos de coordinación a través de la creación de conocimiento interactivo y común,

mitigando así la incertidumbre y consintiendo el aprendizaje interactivo y la innovación (Boschma, 2005: 64; Lauvås y Steinmo, 2019: 6). En suma, con el fin de identificar y analizar el tipo de organización, proceso o mecanismo de intermediación que impulsa la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico, se utilizan cuatro dimensiones de análisis de la proximidad dinámica: cognitiva, organizacional, institucional y relacional.

En la dimensión de proximidad cognitiva, los actores vinculados se apoyan en el intermediario de la transferencia de tecnología para definir los canales de vinculación y los marcos de referencia de su proximidad, caracterizada porque los agentes involucrados se coordinan para compartir una misma base de conocimientos (Colombelli y Quatraro, 2013: 1683), dándole un atributo social donde los agentes comparten similitudes de cómo perciben, interpretan y entienden lo cognitivo.

La proximidad organizacional tiene un atributo cognitivo cuando los agentes hacen uso de su experiencia y conocimiento colectivos para ser más innovadores, eficientes y efectivos en sus organizaciones y en el mercado. La proximidad organizacional refiere a la capacidad que ofrece una organización para hacer interactuar a sus miembros conforme a similitudes en creencias, conocimiento, arreglos, mecanismos y rutinas organizacionales (Balland *et al.*, 2014: 744), mientras el intermediario es un vehículo de coordinación de transacciones que facilita la transferencia e intercambio de información y conocimiento en un mundo lleno de incertidumbre. Así, la proximidad organizacional permite nuevos enlaces que juegan un papel efectivo para la articulación y conectividad entre todos los actores (Casalet, 2012: 3).

La categoría de proximidad relacional se define en términos de relaciones socialmente integradas entre agentes (Boschma, 2005: 66) y se centra en dos funciones principales de exploración y recopilación de información, justo para dar pie a la comunicación y colaboración entre los agentes. En suma, se encuentra ligada a las conexiones sociales entre los diferentes actores que participan en el proceso

de innovación, en procesos colaborativos, redes formales/informales y sociedades afectivas.

Mientras que la proximidad organizacional coordina las relaciones intra e interorganizacionales a nivel micro, la proximidad institucional une organizaciones al compartir valores y normas similares a nivel macro (Boschma, 2005: 65). En la dimensión institucional la proximidad se encuentra relacionada con los mecanismos de regulación y corresponde al ejercicio de un conjunto de normas, convenciones, valores, expectativas y rutinas impuestas por el marco institucional. Entonces, la proximidad institucional implica que los agentes comparten las mismas representaciones, reglas de conducta y valores, así como, un conjunto de prácticas, leyes, reglas y rutinas que faciliten la acción colectiva (Geldes *et al.*, 2015: 265).

En suma, de lo anterior se comprende cómo la proximidad entre los agentes dentro de cada dimensión (institucional, organizacional, relacional, cognitiva) centra la interacción como el elemento que produce procesos colaborativos a mayor profundidad (Lauvås y Steinmo, 2019: 33). Los determinantes de la proximidad explican los contextos en los que las personas se encuentran y pueden conectarse efectivamente. Una vez conectados a partir de finalidades compartidas, forman parte de una red que ofrece oportunidades para formar nuevos vínculos y traspasar las fronteras organizativas y geográficas. Si bien estas perspectivas se han desarrollado de manera más o menos independiente, los investigadores están cada vez más preocupados por cómo estos patrones se superponen e interactúan (Cassi y Plunket, 2015: 950).

METODOLOGÍA

Este estudio es sobre un caso único en su contexto real, investigado desde un enfoque de metodología cualitativa que utiliza múltiples fuentes de información y triangula los datos para corroborar un fenómeno y dar credibilidad (Yin, 1998]: 26).

Como la pregunta de investigación es exploratoria y explicativa, el argumento central promueve el análisis de este caso único a través del ensamble de narrativas basadas en el análisis de contenido. Dos son las principales unidades de análisis: por una parte, las intermediaciones existentes entre los agentes vinculados, y por otra, los vínculos de proximidad que se establecen entre estos.

Las entrevistas semiestructuradas involucraron tanto a actores internos como externos al caso de estudio (cuadro 1). En el trabajo de gabinete se analizó documentación de diversas fuentes (convenios, contratos, programas públicos, reportes, noticias, libros, artículos) con el objetivo de identificar las convergencias y divergencias señaladas por los actores entrevistados.

Este caso fue seleccionado como resultado de evidencia preliminar surgida de una petición al INAI (2017), el trabajo de campo exploratorio y la disponibilidad de los agentes del caso para ser entrevistados y objeto de esta investigación. En total se realizaron dieciséis entrevistas semiestructuradas a empleados, investigadores, funcionarios y empresarios, recopilando más de veinte horas de audio *in situ* entre mayo (2017) y septiembre (2019). El procesamiento de las entrevistas implicó transcribir y codificar con Software MAXQDA mediante un sistema de 20 códigos generados a partir de los conceptos de intermediación, proximidad y factores inhibidores de la transferencia de conocimiento tecnológico. En efecto, los contenidos de las entrevistas y discursos obtenidos configuran “el espacio en el que el sujeto puede tomar posición para hablar de los objetos de que trata su discurso” (Foucault, 1970: 306). Entonces, este análisis de la información cualitativa pone en relieve la posición y la manera en la cual cada actor percibe las tareas esenciales que conoce y realiza.

CUADRO 1
Actores entrevistados por tipo de agente, 2018-2019

	Universidad	Intermediario	Empresa
1	Investigador Alpha Profesor investigador Ex Director General CIBA-IPN Tlaxcala	Intermediario Alpha Director general BIOLAB Ex alumno CIBA Tlaxcala	Empresario Alpha Propietario y director general Novazucar
2	Investigador Beta Profesor investigador CIBA-IPN Tlaxcala Ex alumno CICATA Puebla	Intermediario Beta Investigador BIOLAB Alumno CIBA Tlaxcala	Empresario Beta Director I+D S-Alimentos Alumno CIBA Tlaxcala
3	Estudiante Alpha Alumno posgrado I+D CIBA-IPN Tlaxcala		Empresario Gamma Director de ventas Novazucar Ex alumno CIBA Tlaxcala
4	Estudiante Beta Alumno posgrado I+D CIBA-IPN Tlaxcala		Empresario Delta Director de vinculación Novazucar Ex Alumno CIBA Tlaxcala
5	Funcionario Alpha Ex director general Instituto Politécnico Nacional		Empresario Epsilon Director Especialidades Aries
6	Investigador Empresario Gamma Profesor investigadora ENCB-IPN Director ejecutivo UDIMEB		Empresario Lambda Director Servicios ambientales

Fuente: Elaboración propia a partir de entrevistas realizadas y transcritas en el "Reporte Universidades" (Santana, 2021a), "Reporte Empresas" (Santana, 2021b) y "Reporte Intermediarios" (Santana, 2021c).

INTERMEDIACIÓN Y PROCESOS DE PROXIMIDAD: EVIDENCIA Y RESULTADOS

El propósito de este apartado es identificar y analizar tanto los mecanismos y procesos de intermediación como las dimensiones de la proximidad entre agentes vinculados del caso de estudio Novazucar-CIBA/IPN-Biolab. En efecto, el papel de los intermediarios en el impulso a la innovación es posibilitar la transferencia efectiva del conocimiento tecnológico al aproximar a los agentes. Sin embargo, la complejidad de las vinculaciones entre universidad y empresa en la dinámica del sistema de innovación todavía requiere de la búsqueda de respuestas teóricas y prácticas para comprender sobre la articulación y conectividad entre los agentes involucrados.

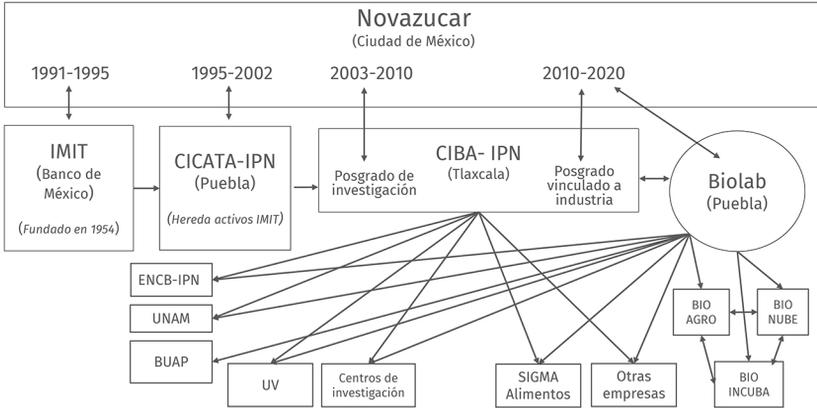
Evolución del vínculo entre Novazucar, CIBA/IPN y Biolab

Entre Novazucar, CIBA/IPN y Biolab existe una relación de vinculación que ha transitado por cuatro fases diferentes (Diagrama 1), a lo largo de las últimas tres décadas (1991-2020), y en cada una se ha establecido una serie de modalidades específicas.

La relación primordial se estableció en 1991, cuando el empresario Alfa, con su naciente empresa Novazucar, emprendió un proceso de innovación tecnológica con el Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas (IMIT, 1950), una institución caracterizada por su vinculación a proyectos en empresas a partir de propuestas concretas de investigación tecnológica con probabilidades de innovación (diagrama 1). El núcleo de la propuesta era desarrollar un proceso para extraer de la planta de la stevia un concentrado endulzante comercializable en el floreciente mercado de endulzantes de nueva generación que competía con el azúcar. En el IMIT el empresario Alfa entabló una relación estrecha con el investigador Alfa, incluso, convirtiéndola en una “sociedad afectiva” que habría de durar a lo largo de los próximos años. Durante esta etapa los canales de vinculación utilizados fueron las patentes y el contrato de investigación. Sin embargo, esta socie-

dad afectiva enfrentó su primer obstáculo para continuar el desarrollo tecnológico con el cierre del IMIT (1994), al aplicarse la política de liquidación de empresas públicas del gobierno en turno.

DIAGRAMA 1



La siguiente etapa de esta relación inicial fue fructífera porque continuó el desarrollo tecnológico dentro del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, 1995) del IPN en el Estado de Puebla, institución que heredó personal de investigación, ya que reclutó al investigador Alfa, y algunos de los activos del IMIT (diagrama 1). Durante estos años la vinculación se condujo, fundamentalmente, a través de la consultoría por parte del investigador Alfa a la empresa Novazucar propiedad del empresario Alfa. El cierre del CICATA/IPN sobrevino cuando no logró establecer instalaciones propias y permanentes en el estado de Puebla.

La tercera etapa surge por la gestión del investigador Alfa y otros actores involucrados para crear el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA/IPN, 2003), situado en Tlaxcala, debido a que el gobierno del estado proporcionó un lugar para su instalación (dia-

grama 1). Aquí, la relación de Novazucar continuó con el investigador Alfa a través del posgrado de investigación en Biotecnología Aplicada del CIBA/IPN. Esta relación probó ser prolífica en canales de vinculación mediante la firma de convenios, contratos de colaboración, la asistencia técnica, registro de patentes (seis patentes en copropiedad entre Novazucar y el IPN) y al incorporar a los alumnos de posgrado. Sin embargo, la transferencia de conocimiento tecnológico a través de estos canales también enfrentó factores inhibidores de carácter institucional como la firma tardía de convenios, tramites de patentes en copropiedad, la inexperiencia de la universidad en licitaciones y factores culturales que retrasaron la comercialización de resultados de investigación y conocimiento tecnológico.

En la actual etapa, la cuarta, se forjó una organización intermedia que funge como facilitador de la transferencia de conocimiento tecnológico (diagrama 1). En efecto, Biolab (2011) se constituyó con investigadores, egresados y estudiantes del posgrado del CIBA/IPN Tlaxcala, utilizando un capital semilla proporcionado, entre otros, por el empresario Alfa. En efecto, esta vinculación se ha fincado en una variedad de canales: entrenamiento de capital humano especializado, contratación de graduados, asesoría y consultoría, intercambio de información, patentes, redes de conocimiento, contratos de investigación conjunta y parques científicos. Así, Biolab desarrolló capacidad científica y tecnológica, capital humano especializado, e incorporó equipo de laboratorio necesario para experimentar, evaluar y validar tecnología. Asimismo, la universidad creó un nuevo tipo de posgrado, vinculado a la industria y denominado Maestría y Doctorado en Biotecnología Productiva (2012). Con la intermediación de Biolab, son alumnos e investigadores del posgrado quienes se vinculan a Novazucar y otras empresas de la industria a través de la investigación de tesis de grado.

El proyecto *Novazucar-180* entre CIBA/IPN, Biolab y la empresa planteó un giro de 180 grados. En efecto, la empresa Novazucar primero importó y luego desarrolló capacidad doméstica para producir un edulcorante de la *Stevia rebaudiana*. La capacidad de producción

del extracto de glucósidos de esteviol de alta pureza al 95% es en la actualidad la de mayor tamaño en México con 200 toneladas anuales (Machorro, 2020). Este proyecto se impulsó por los problemas con sus proveedores europeos respecto a tiempos de entrega del extracto, además de sufrir demoras en servicios de mantenimiento del equipo especializado. A su vez, esto último impulsó (2011) el desarrollo propio de máquinas mezcladoras, llenadoras y selladoras por la división de ingeniería de la empresa, hasta alcanzar en la actualidad la independencia tecnológica respecto de los proveedores extranjeros (García, 2017: 3). Además, en alianza con agricultores mexicanos ha logrado sustituir la importación de *estevia* por arriba de los 50 mdp anuales, mientras vende mensualmente 10 millones de sobres pequeños del endulzante bajo la marca Svetia, una cuota de mercado de 57% en el segmento de esteviósidos (Machorro, 2020: 2).

El producto Svetia es entonces una estrella del mercado, fruto de un vínculo robusto que estableció un modelo de trabajo basado en la confidencialidad, una comunicación dinámica y la constante adecuación tecnológica. La intermediación de Biolab fue decisiva para realizar este proyecto de innovación entre CIBA/IPN y Novazucar, agilizándose la dinámica de vinculación e impulsando la transferencia efectiva de conocimiento tecnológico. Entre otros factores, la transferencia del conocimiento tecnológico no sólo contribuyó al desarrollo de una significativa independencia tecnológica, también colocó a Novazucar como el mayor productor de *Estevia* para consumo doméstico en México, impulsó su integración vertical y elevó su nivel de competencia internacional.

Intermediación y dimensiones de proximidad

En este caso de estudio se analiza en la práctica como se expresan determinadas categorías de los enfoques sobre intermediación y proximidad. La causalidad esencial es que la realidad marca el sentido de los conceptos desarrollados para comprender el comportamiento de los agentes en la vinculación entre universidad y empresa.

Intermediación y proximidad cognitiva

La proximidad cognitiva constituye la dimensión de mayor peso en esta relación tripartita porque la principal razón de ser de dicho vínculo es generar y transferir conocimiento tecnológico entre la universidad y empresa, con Biolab ejerciendo como organización intermediaria.

En el caso del proyecto *Novazucar-180*, al igual que en proyectos anteriores, la transferencia de conocimiento tecnológico entre CIBA/IPN, Biolab y Novazucar fue un proceso continuo, tanto en la fase del escalamiento tecnológico, como en su validación y puesta en marcha. La transferencia del conocimiento tecnológico generado en la universidad se basó en una comunicación cotidiana entre los agentes, ya sea a través de reuniones presenciales o virtuales mediadas por Biolab, en las cuales los actores compartían, pormenorizadamente, la información demandada por la empresa. Según el empresario Beta, en el proceso hubo actividad de investigación básica, requerimientos técnicos y actividad de escalamiento e instalación de la planta:

Una parte es hacer toda la investigación básica y diseñar la parte de “netos”. El proyecto se apegó a las necesidades de la empresa, desde la investigación básica a nivel laboratorio y la compra de los equipos analíticos, hasta el diseño para encontrar los extractos de hoja de Stevia. En la parte técnica se capacita a la gente y se fabrican y evalúan los equipos. La parte de instalación es la compra y evaluación de equipos para arrancar la planta de producción de Stevia (Santana 2021b: 345).

En la práctica, conforme se fueron incorporando los estudiantes e investigadores al proyecto, el intercambio de información y conocimientos se reguló con la firma de un convenio de confidencialidad. Con esto se estableció un canal de vinculación efectivo entre CIBA/IPN y Novazucar a través de Biolab. En efecto, el empresario Beta, quien en su momento fue el estudiante Alfa del investigador Alfa (durante la etapa en CICATA/IPN) manifestó que: “con Biolab es más fácil, la

información y la formación de grupos es más directa, más enfocado. Puedo hablar ahorita con alguien encargado de mi proyecto en Biolab y me va a dar información. La parte institucional es la parte política, donde la situación se vuelve más compleja” (Santana, 2019b: 346).

En determinados diseños de equipo y en el escalamiento del diseño tecnológico, la empresa Novazucar utilizó los resultados que obtuvo Biolab en sus laboratorios con el trabajo de I+D de los investigadores y estudiantes del CIBA/IPN. Según el empresario Beta,

se trabajó a la par con Biolab y el CIBA/IPN que consta de la parte de soporte científico y en los laboratorios” (Santana, 2019b: 346). Por ejemplo, el empresario Beta afirma que si existía alguna duda Novazucar se comunicaba inmediatamente a Biolab, planteaba el problema y los investigadores y estudiantes participaban al evaluar o resolver problemas entre todos: “En las reuniones, Biolab comparte información, Novazucar comparte información y resultados de los proyectos, validan qué realmente funcionó. La colaboración con Biolab y CIBA/IPN termina hasta que Novazucar llega al escalamiento y validación de los procesos (Santana 2019b: 347).

Además, no sólo compartían la información, también asistieron a pruebas piloto hasta alcanzar los resultados esperados del escalamiento tecnológico en planta: “Biolab estuvo colaborando en la validación de procesos de extracción para saber cuáles eran los más eficientes: procesos de extracción de los glucósidos de esteviol, metodologías de análisis, cuantificación de los glucósidos de esteviol, diseño de protocolos de procesos de extracción y validación de esos procesos de extracción” (Santana 2021b: 350).

Intermediación y proximidad organizacional

La proximidad organizacional implica tanto procesos y mecanismos, como organizaciones con identidad propia, siendo tres los elementos más importantes del caso: i) la organización intermediaria Biolab, ii)

el posgrado del CIBA/IPN integrado a la industria y, iii) la creación de otros organismos.

La organización intermediaria Biolab se fundó (2011) con el objetivo de transferir tecnología, dar soluciones, desarrollar y adaptar tecnología. En palabras del empresario Alfa se expone la nueva forma de interactuar con el CIBA/IPN, donde Biolab tiene el papel de enlace:

Nosotros, como Novazucar, llegamos a firmar recientemente un acuerdo de desarrollo tecnológico con el Politécnico y el CIBA como parte integrante del esquema que lo vincula con Biolab para la transferencia de la tecnología y Biolab evidentemente con nosotros. Prácticamente, la evolución de Biolab la he seguido de cerca, desde que eran una pequeña habitación y cómo han ido creciendo, es un esquema muy interesante, no conozco uno similar en México. Biolab es una universidad de proyectos de desarrollo tecnológico aplicados a la industria, es la única universidad práctica destinada a formar gente orientada a resolver problemas concretos de la industria. Pueden estar trabajando en 20 proyectos que tienen una aplicación concreta, esto tiene una enorme vitalidad en el sentido de la innovación, representa estar haciendo investigación propia con recursos propios y formando a gente que con el tiempo puede encontrar un acomodo en la industria. Con el CIBA de Tlaxcala y después con la formación de Biolab cómo una empresa vinculadora de transferencia de tecnología en los últimos años, debemos haber trabajado más de quince proyectos juntos en diversas modalidades (Santana, 2021b: 340).

Además, para el empresario Alfa la relación entre los tres agentes se ha consolidado con el movimiento de los recursos humanos generados en la universidad y en Biolab hacia la empresa: “Nosotros hemos absorbido mucha gente egresada de ahí, trabajando con nosotros: concretamente, dos de los directivos más importantes de la empresa son egresados del CIBA/IPN, uno es el director de manufactura de producción y la otra es la directora de ventas industriales” (Santana, 2021b: 341).

Con la creación del posgrado vinculado a la industria del CIBA/IPN en Tlaxcala se promovió la creación de un mecanismo de intermediación crucial que logró evitar los obstáculos institucionales internos y externos. El posgrado consta de un esquema de nivel maestría y doctorado en biotecnología productiva que siempre dirige la propuesta de investigación hacia la demanda de solución de un determinado problema biotecnológico en una empresa o una entidad pública o social. El papel del CIBA/IPN es como proveedor del servicio educativo y formación de profesionistas especializados en I+D. Además, junto con esta dinámica organizacional, la mediación de los laboratorios de Biolab facilitó la experimentación de los estudiantes y la disminución de los gastos corrientes del CIBA/IPN. “Entonces, es el posgrado que más ha crecido porque tienes una institución, un profesional y una empresa. El IPN aquí no tiene el control, es la empresa la que tiene el control” (Santana, 2021c: 370).

Con la firma del convenio de confidencialidad tripartito el estudiante comienza su proyecto de investigación de tesis de grado con los recursos de investigación y de laboratorio financiados por la empresa. El investigador Alfa lo explica: “porque ahora, a través de los convenios de secrecía, se puede concebir que sean exámenes de grado cerrados, por la necesidad de conservar en secreto la información de la empresa que están trabajando el alumno e investigador” (Santana, 2021a: 311). Este mecanismo intermediario permitió que los estudiantes tengan libertad de interacción entre la empresa y la universidad y para que la transferencia de conocimiento tecnológico sea continua y efectiva. En efecto, según el intermediario Alfa:

El documento de tesis sí se entrega al Instituto porque por el reglamento institucional tiene que existir un producto y tiene que tener un título. La tesis se guarda, no lo pueden subir en archivo abierto. Sí hay una tesis general como documento, pero, que no se puede consultar, porque termina siendo propiedad de la empresa. Entonces, sí ha funcionado en el sentido en que efectivamente los investigadores y estudiantes tienen una conexión empresa-institución, que sí es complicada de entender porque

de repente tienes que cubrir todos los requisitos institucionales y tienes que cubrir con los de la empresa, exige todo ese entendimiento. Es todo un proceso, un modelo que normalmente no opera tan frecuentemente. Entonces, realmente estás impulsando efectivamente que profesionales se incorporen en las empresas, que trabajen y estén desarrollándose, que tengan experiencia en empresas (Santana, 2021c: 372).

Finalmente, fundado por egresados del CIBA, el modelo organizacional también se ha nutrido con otros organismos de intermediación que colaboran con Biolab. La organización Bioagro se orienta a negocios en el sector agro-biotecnológico, por ejemplo, licita las patentes creadas (2004) por el CIBA/IPN y Novazucar, aliviando la carga institucional y burocrática a la empresa y el IPN. La organización Bionube genera e imparte cursos asociados a los proyectos de investigación que Biolab desarrolla con el CIBA/IPN y transmite la información a las empresas, asociaciones y/u organizaciones que pertenecen a la red de conocimiento. Actualmente, la asociación Bioincuba funciona como incubador y vinculador de un mayor número proyectos para Biolab y el CIBA/IPN a través del posgrado vinculado a la industria.

Intermediación y proximidad relacional

Para este caso de estudio se identifican dos mecanismos de intermediación de proximidad relacional o social: i) la sociedad afectiva y ii) la red de colaboración externa.

La “sociedad afectiva” entre el investigador Alfa y el empresario Alfa, que inició en los años noventa, ha logrado aproximar a los agentes, trayendo consigo una larga vinculación tecnológica por casi treinta años y la creación de Biolab y el posgrado vinculado a la industria, y ha transformado el modelo tradicional de transferencia de conocimiento tecnológico entre universidad y empresa. Según el intermediario Beta:

El empresario Alfa y el investigador Alfa han desarrollado varios proyectos juntos, siempre han estado vinculados en una relación buena y constructiva. No se separan o vuelven a buscarse puesto que el investigador Alfa tiene bastante experiencia y para el empresario Alfa ha sido un sembrero de buenos consejos y desarrollos. La comprensión lograda por el investigador Alfa se debe mucho a la naturaleza inquieta del empresario Alfa, fue una buena mancuerna, una relación exitosa, porque hubo desde el inicio un entendimiento entre ambas partes, se dejaron claras muchas cosas y eso facilitó mucho la transferencia porque se rompieron obstáculos (Santana, 2021c: 359).

Si bien este caso de estudio tripartita implica una red interna de colaboración cognitiva, no siempre se cuenta con todo el conocimiento demandado. Para coadyuvar en diferentes proyectos de investigación con las empresas que atienden Biolab y CIBA/IPN, una red externa ha sido impulsada e incluye tanto a Bionube, Bioagro y Bioincuba como relaciones con universidades y centros de I+D públicos y privados. La proximidad relacional se impulsó con el establecimiento de toda esta red de conocimiento externa porque era necesaria, tal como afirma el intermediario Alfa:

Con la especialización no lo puedes cubrir todo y entonces necesitas también saber qué pedir y en dónde buscarlo. Nosotros buscamos y hacemos una detección de quién tiene a los expertos en México, quién tiene el laboratorio en el área, buscamos al grupo o persona necesaria para el desarrollo del proyecto. Así se ha trabajado con departamentos de la UNAM, las universidades de Puebla, Veracruz, ENCB-IPN y centros de investigación” (Santana, 2021c: 373).

Intermediación y proximidad institucional

Tres mecanismos de intermediación acentúan la proximidad entre agentes en la dimensión institucional: i) convenios, contratos y li-

cencias, ii) el fideicomiso IPN y iii) programas públicos con financiamiento.

El conocimiento y la propiedad intelectual originados de esta relación tripartita se establecen como propiedad de la empresa por convenio o contrato: “Las empresas sí tienen sus convenios y ellos ponen el tema de propiedad, por lo que la patente y todo el conocimiento y la propiedad intelectual esta cedida a la empresa” (Santana, 2021c: 378). Al generarse, transferirse y apropiarse el conocimiento financiado por la empresa, la secrecía establecida mediante convenio o contrato contribuye a la proximidad entre agentes porque genera lazos de confianza. Sobre todo, con la universidad como un agente cuya naturaleza es difundir conocimiento abiertamente al dominio público. Este mecanismo institucional se expresa en la dimensión organizacional con el diseño del examen de posgrado.

El Fondo Institucional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico es un fideicomiso del IPN (FIICDT, 2000) que actúa como un mecanismo de intermediación del ingreso/gasto de índole institucional. Con la disposición rápida y completa del recurso económico, el mecanismo del fideicomiso logra aproximar institucionalmente a los agentes e instituye un incentivo a los proyectos vinculados, tal como lo plantea el investigador Alfa:

¿Qué significa el fideicomiso? Es una forma de facilitar la gestión de los recursos de dinero que entra al fideicomiso y del fideicomiso sale a los proyectos. Se fundó con base en la ley de ciencia y tecnología, aprovechando que se hizo un cambio para permitir que instituciones como el IPN, reconocido como centro de investigación, pudieran generar esos fideicomisos. Firmas con el fideicomiso, cobras y no cobra el IPN: cobra el fideicomiso. El fideicomiso va dando al IPN de acuerdo a cómo va el proyecto y el margen o ciclo fiscal. El fideicomiso es importante porque es la solución para los académicos mexicanos, un fideicomiso privado, para la generación de transferencia (Santana, 2021a: 313, 321).

En suma, permite al IPN y sus dependencias recibir recursos autogenerados como ingresos por prestación de servicios externos sin transitar por la Tesorería de la Federación.

Finalmente, los programas públicos constituyen un mecanismo intermediario de proximidad institucional significativo. En este caso, afirma el intermediario Alfa, diferentes programas públicos del Conacyt constituyeron siempre un elemento intermediario que “contribuyó a que Biolab logre consolidar vinculaciones con empresas en la realización de proyectos, así como su certificación como oficina de transferencia de tecnología. En el Conacyt salió el programa de certificación de oficinas de transferencia y logramos certificarnos (2012). “En el periodo del 2012-2015, las colaboraciones con Novazucar fueron con programas públicos como el Finnova de Conacyt. Como estudiante en el CIBA/IPN tuve el acercamiento con programas públicos cuando trabajaba con proyectos vinculados a Novazucar” (Santana, 2021c: 371).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El “puente principal” que da forma a este peculiar canal de vinculación a través del cual transita el conocimiento tecnológico de la universidad a la empresa y viceversa, está compuesto de un nuevo tipo de organización intermediaria en el sector de CTI mexicano, ligada al menos a tres mecanismos, a tres procesos centrales y otras tres organizaciones de apoyo, expresados en cuatro dimensiones de proximidad distintas e interrelacionadas (cuadro 2).

El estudio de la trayectoria de evolución de este caso de vinculación ha revelado una serie de *factores inhibidores* que condujeron a discontinuidades en la transferencia de conocimiento tecnológico e interrumpieron innovaciones de Novazucar. No basta establecer canales de vinculación y un elemento de intermediación, además, es crucial incorporar un enfoque de proximidad entre los agentes en diferentes dimensiones. Los principales factores inhibidores del proceso emanan de la naturaleza misma del conocimiento científico y

tecnológico, la dimensión organizacional y carácter de cada agente, las relaciones sociales establecidas entre actores, así como de arreglos institucionales. En este caso, los factores inhibidores se desprenden de la naturaleza pública del conocimiento y su apropiación por los agentes involucrados, esto es, la titularidad de la propiedad del conocimiento tecnológico y también la exclusividad de uso y confidencialidad del conocimiento tecnológico producido. Asimismo, la transferencia efectiva del conocimiento tecnológico requirió de mecanismos organizacionales de comunicación y coordinación entre actores. Otro factor inhibidor fue que la universidad no contaba con los laboratorios, el equipo especializado y reactivos necesarios para efectuar experimentos y validaciones. A este factor se sumó el “tiempo de reacción” de la universidad frente al “tiempo del mercado”, al cual la empresa está sujeta porque necesita aplicar comercialmente el conocimiento tecnológico. En suma, estos factores de inhibición se encuentran asociados a cuestiones organizacionales, financieras, institucionales, cognitivas y culturales, en las cuales se presenta la rigidez o inexistencia de normas, la escasez de recursos materiales y financieros, así como agudas asimetrías en las prácticas culturales y cognitivas de cada agente.

En la dimensión *cognitiva*, la dinámica de producción, difusión y transferencia de conocimiento tecnológico por el CIBA/IPN, a través de Biolab y con empresas y organizaciones público-privadas y sociales, se identifica como el proceso central de intermediación que aproxima a los agentes de este caso de vinculación (cuadro 2-1AB). Los principales canales de vinculación entre universidad y empresa involucrados son los de categoría bidireccional como la I+D colaborativa y red de conocimiento; servicios en forma de consultoría y asistencia técnica; así como de carácter tradicional, resaltando las relaciones informales y la formación y contratación de graduados (cuadro 2-1D). En particular, destaca el proceso de producción y difusión de conocimiento científico y tecnológico, desde la fase inicial de la valoración tecno-económica, pasando por las fases de escalamiento y la incorporación del conocimiento tecnológico generado a la industria

y el mercado. Durante todo este proceso se ha establecido un intercambio bidireccional de los elementos cognitivos generados por los agentes, asegurándose así la transferencia efectiva del conocimiento tecnológico a la empresa desde los laboratorios en donde se producen y comparten con protocolos de confidencialidad y titularidad los resultados de la I+D demandados. Otro proceso de la dimensión cognitiva destacado es el que resulta de emplear a estudiantes y egresados formados a nivel posgrado entre el CIBA/IPN y Biolab, transformándolos en intermediarios especializados para las empresas de la industria. Asimismo, en el caso de Biolab, Bionube, Bioagro y Bioincuba se ha establecido también un proceso de intermediación de carácter cognitivo, consistente en proporcionar capacitación y especialización a empresas y organizaciones públicas o sociales, con base en el aprendizaje acumulado y para formar nuevas empresas de base tecnológica, tanto por egresados del CIBA/IPN como de otras instituciones educativas, sociales o empresariales.

En la dimensión *organizacional*, la intermediaria Biolab, el mecanismo organizacional del posgrado orientado a la industria y las organizaciones de apoyo a Biolab constituyen los principales elementos de intermediación que aproximan a los agentes (cuadro 2-2AB). En cuanto a los canales de vinculación todas las categorías tienen presencia: tradicional, servicios, comercial y bidireccional; porque en el proceso están en juego las fuerzas de la cooperación y la coordinación que impulsan a la producción cognitiva y su difusión entre los agentes y hacia el mercado (cuadro 2-2D). La organización “Biolab” constituye el elemento central de proximidad de base tecnológica entre agentes vinculados, orientada a conducir y gestionar el proceso interno y externo de intermediación entre los agentes. Comunica y coordina a los actores involucrados en el proceso de producción de conocimiento (directivos, ingenieros y empleados de Novazucar con funcionarios, investigadores y alumnos del posgrado en el CIBA-IPN), a quienes comparte una misma base de conocimientos. Biolab dispone del laboratorio adecuado para realizar el proceso de experimentación y generación del conocimiento, mientras, el CIBA/IPN organizó

un mecanismo institucional único: el posgrado vinculado a la industria. El proceso organizacional que cruza por este “puente principal” es el siguiente: un alumno trabaja en su tesis de posgrado con un investigador en un proyecto que dispone de los laboratorios, equipo y materiales requeridos a partir de una demanda tecnológica de la empresa, expresada como el tema central de la tesis del alumno inscrito en el posgrado. Como la confidencialidad de la investigación tecnológica es crucial para la empresa, los resultados presentados en examen de grado no son públicos, sino a puerta cerrada y un documento de difusión exclusiva. La propiedad del conocimiento tecnológico generado y difundido se resuelve a través de convenios de propiedad intelectual, bajo la titularidad de la empresa porque cubre la mayor parte del financiamiento de la investigación. Mientras, la otra parte se completa con financiamiento público en forma de becas de posgrado Conacyt e incentivos IPN/SNI y recursos de fondos Conacyt, para los estudiantes participantes e investigadores a cargo de los proyectos de investigación. Finalmente, una novedad de este entramado organizacional es la creación de tres nuevas organizaciones con identidad propia dentro del sector biotecnológico: Bionube, Bioagro y Bioincuba, a partir de una serie de requerimientos que tienen Biolab y CIBA/IPN.

En la dimensión *relacional* la “sociedad afectiva” constituye el mecanismo crucial de intermediación y proximidad (cuadro 2-3AB). Aunque la relación entre Novazucar y el CIBA-IPN transita a través de la intermediación de Biolab, los dos agentes Alfa han sido los artífices de dicho modo de vinculación y organización. El modelo seguido toma como inspiración ciertos mecanismos del modelo de generación y transferencia de tecnología desarrollado exitosamente por el Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas (IMIT) del Banco de México (1947-1994). El modelo IMIT ha inspirado los conceptos de vinculación científica y tecnológica aplicada, el financiamiento de la I+D inicial con fondos públicos y el financiamiento de largo plazo por la empresa, la confidencialidad en el manejo del conocimiento tecnológico generado y difundido, la propiedad intelectual bajo titularidad de la empresa y, la formación de recursos humanos especializados

para la industria. Asimismo, la “sociedad afectiva” entre los agentes Alfa ha puesto en juego todas las categorías de los canales de vinculación posibles (cuadros 1-3D). Finalmente, las redes se constituyen también en un proceso de mediación porque permiten explorar, recopilar o explotar recursos cognitivos o capacidades de equipo y laboratorio que se requieren para innovar que no están disponibles de manera directa (cuadro 2-3AB). Los agentes vinculados (Biolab, CIBA/IPN y Novazucar) también participan en una red colaborativa con universidades, institutos, otras empresas e incluye la actividad de Bionube, Bioagro y Bioincuba. Los principales canales de vinculación que entran en juego son, uno de carácter tradicional, como el contacto informal entre actores, y otro de naturaleza bidireccional como la red de conocimiento (cuadro 2-3D).

En la dimensión *institucional*, los contratos o convenios de confidencialidad que imponen la difusión exclusiva del conocimiento, así como la titularidad y licencias de derechos de propiedad intelectual, no solo regulan cómo debe ser el comportamiento de los agentes involucrados, sino que fijan las sanciones en caso de incumplir los agentes (cuadro 2-4AB). A su vez, el Fideicomiso del IPN media como un recurso de proximidad de la dimensión institucional porque permite a los investigadores acceder a ingresos extraordinarios por realizar actividades externas (cuadro 2-4AB). Sin este mecanismo, los ingresos externos del CIBA/IPN ingresarían a la Tesorería de la Federación y no estarían disponibles internamente para actividades de investigación. Finalmente, los fondos públicos han sido un mecanismo de mediación implementado por el gobierno federal y se han constituido históricamente en una fuente para financiar proyectos del CIBA/IPN con empresas y organizaciones públicas (cuadro 2-4AB). Actualmente, el grueso del financiamiento para este caso de estudio corre por cuenta de la empresa Novazucar. Los canales de vinculación movilizados son los de categoría tradicional como convenios institucionales y la categoría comercial como patentes, licencias y contratos y en menor medida, la categoría de servicios para el intercambio de información (cuadro 2-4D).

CUADRO 2
Proximidad, intermediación y vinculación
en el caso de CIBA-IPN Biolab Novazucar, 1991-2020

(A) Dimensión de proximidad	(B) Naturaleza de la intermediación	(C) Tipo de mediación	(D) Canal de vinculación
1	Cognitiva	Proceso	<p>"(a) Bi-direccional: I+D colaborativa o conjunta; Contrato de Investigación; Red de conocimiento.</p> <p>(b) Servicio: Consultoría y asesoría técnica; Intercambio de información.</p> <p>(c) Tradicional: Contactos informales."</p>
2	Organizacional	Organización Proceso Mecanismo	<p>(a) Tradicional: formación de recursos humanos y contratación de graduados; contactos informales.</p> <p>(b) servicio: consultoría y asesoría técnica; entrenamiento de personal; intercambio de información; intercambio temporal de personal.</p> <p>(c) comercial: patentes, licencias y contratos; incubadoras, <i>spin-off</i> o <i>start-Up</i> de empresas.</p> <p>(d) Bidireccional: I+D colaborativa o conjunta; contrato de investigación; red de conocimiento.</p>
	(b) Programa de posgrado vinculado a la industria.	Mecanismo	<p>(a) Tradicional: Formación de recursos humanos.</p> <p>(b) Servicio: Entrenamiento de personal.</p> <p>(c) Comercial: incubadoras, <i>spin-off</i> o <i>start-Up</i> de empresas.</p> <p>(d) Bidireccional: I+D colaborativa o conjunta.</p>

(A) Dimensión de proximidad	(B) Naturaleza de la intermediación	(C) Tipo de mediación	(D) Canal de vinculación
3	(c) Fundación de los organismos desde diferentes perspectivas: Bionube, Bioincuba y Bioagro; que apoyan a Biolab.	Organización	<ul style="list-style-type: none"> (a) Tradicional: Contactos informales. (b) Servicio: consultoría y asesoría técnica; entrenamiento de personal; intercambio de información; intercambio temporal de personal. (c) Comercial: incubadoras, <i>spin-off</i> o <i>start-Up</i> de empresas. (d) Bidireccional: red de conocimiento.
	(a) Sociedades afectivas.	Proceso Mecanismo	<ul style="list-style-type: none"> (a) Tradicional: contactos informales. (b) Servicio: consultoría y asesoría técnica. (c) Comercial: contratos; incubadoras, <i>spin-off</i> o <i>start-Up</i> de empresas. (d) Bidireccional: I+D colaborativa o conjunta; red de conocimiento.
	(b) Red de colaboración con diferentes organizaciones e instituciones, públicas o privadas o sociales.	Mecanismo Proceso	<ul style="list-style-type: none"> (a) Tradicional: contactos informales. (b) Bidireccional: red de conocimiento.
	(a) Contratos, convenios, licencias: investigación, confidencialidad, propiedad intelectual, transferencia de tecnología.	Mecanismo	<ul style="list-style-type: none"> (a) Tradicional: convenios institucionales; contactos informales. (b) Servicio: intercambio de información. (c) Comercial: patentes, licencias y contratos.
4	(b) Fideicomiso IPN	Mecanismo	<ul style="list-style-type: none"> (a) Tradicional: convenios institucionales. (b) Comercial: contratos y licencias.
	(c) Programas públicos, financiamiento. Programa Especial de Innovación.	Mecanismo	<ul style="list-style-type: none"> "(a) Tradicional: convenios institucionales. (b) Comercial: patentes, licencias y contratos."

Fuente: Elaboración propia, México, 2021.

CONCLUSIÓN

La evidencia y el análisis anteriores explican el proceso de intermediación gestado y desarrollado entre el CIBA/IPN y la empresa Novazucar. En el centro se encuentra la creación de una organización intermedia, el desarrollo de procesos y la incorporación de mecanismos de intermediación en las organizaciones que acrecentaron la proximidad en cuatro dimensiones de la vinculación: cognitiva, organizacional, institucional y relacional. En la dimensión cognitiva se mostró cómo la transferencia del conocimiento tecnológico de la universidad a la empresa ha sido efectiva en el contexto de un proceso de largo plazo que discurre de forma incremental y cotidiana a través del intercambio regular de piezas de conocimiento tecnológico generadas por los equipos de investigación conforme a la demanda de la empresa. En la dimensión organizacional, la universidad incorporó los mecanismos, procesos y organizaciones necesarios para establecer las condiciones de generación y difusión del conocimiento tecnológico. En la dimensión institucional se utilizaron los mecanismos de apropiación existentes para proteger y transferir el conocimiento tecnológico, así como los recursos financieros generados, entre los agentes involucrados. La dimensión relacional proporcionó el liderazgo, la visión y el ímpetu requeridos para producir y difundir conocimiento tecnológico innovador.

En suma, esta investigación del caso derivó en el descubrimiento de nuevas relaciones entre agentes, saber cuáles son y cómo actúan algunos de los factores de la proximidad y los elementos constitutivos del proceso de intermediación gestados y desarrollados para impulsar la transferencia efectiva a la empresa del conocimiento tecnológico producido por la universidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Balland, Pierre Alexandre (2012). "Proximity and the Evolution of Collaboration Networks: Evidence from Research and Development Projects within the Global Navigation Satellite System (GNSS) Industry." *Regional Studies* 46 (6): 741-56.
- Balland, Pierre Alexandre, Ron Boschma y Koen Frenken (2014). "Proximity and Innovation: From Statics to Dynamics". *Regional Studies* 49 (6): 907-20.
- Bessant, John, y Howard Rush (1995). "Building Bridges for Innovation: The Role of Consultants in Technology Transfer". *Research Policy* 24: 97-114.
- Boschma, Ron A (2005). "Proximity and Innovation: A Critical Assessment." *Regional Studies* 39 (1): 61-74.
- Bozeman, Barry (2000) "Technology Transfer and Public Policy: A Review of Research and Theory" . *Research Policy* 29 (4-5): 627-655.
- Bozeman, B., H. Rimes y J. Youtie (2015). "The evolving state-of-the-art in technology transfer research: Revisiting the contingent effectiveness model. *Research Policy*, 44 (1), 34-49 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.06.008>>.
- Bruneel, Johan, Pablo D'Este y Ammon Salter (2010). "Investigating the Factors That Diminish the Barriers to University - Industry Collaboration". *Research Policy* 39 (7): 858-868.
- Caballero Hernández, R. y A. Vera-Cruz (2016). "Las organizaciones intermediarias de innovación en el Sistema de Innovación Agropecuario Mexicano: una definición de las funciones básicas". En *Sistema de Innovación del sector agropecuario en México*, coordinado por Gabriela Dutrenit, y A. Vera-Cruz. México: M.A. Porrúa, pp. 207-228.
- Casalet, M., E. Buenrostro, y G. Becerril (2008). "La construcción de redes de innovación en los clusters de Software". *Quivera* 10 (1): 92-115.
- Casalet, Monica (2012). "Las relaciones de colaboración entre la universidad y los sectores productivos: una oportunidad a construir en la política de innovación". En *Dilemas de La Innovación En México*, coordinado por Jorge Carrillo, Alfredo Hualde y Daniel Villavicencio. Tijuana : El Colegio de la Frontera Norte; Ciudad de México: Red Temática Complejidad, Ciencia y Sociedad de Conacyt, pp. 109- 142.
- Cassi, Lorenzo, y Anne Plunket (2015). "Research Collaboration in Co-Inventor Networks: Combining Closure, Bridging and Proximities". *Regional Studies* 49 (6): 936-954.
- Colombelli, A., J. Krafft y F. Quattraro (2013). "The Emergence of New Technology-Based Sectors in European Regions: A Proximity-Based Analysis of Nanotechnology". *Research Policy* 43, 10: 1681-1696

- Da Cunha Lemos, Dannyela, y Silvio Antonio Ferraz Cario (2017). "University-Industry Interaction in Santa Catarina: Evolutionary Phases, Forms of Interaction, Benefits, and Barriers". *Revista de Administração e Inovação (RAI)* 14 (1): 16-29.
- De Gortari, Eli (1963). *La Ciencia En La Historia de México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- D'Este, Pablo y Pari Patel (2007). "University - industry linkages in the UK : What are the factors underlying the variety of interactions with industry? *Research Policy* 36, 9: 1295-1313.
- De Silva, Muthu, Jeremy Howells y Martin Meyer (2018). "Innovation Intermediaries and Collaboration: Knowledge-Based Practices and Internal Value Creation". *Research Policy* 47 (1): 70-87.
- Diani, Mario (2013). "Organizational Fields and Social Movement Dynamics". En *The Future of Social Movement Research: Dynamics, Mechanisms, and Processes*, 145-68, coordinado por Jacquélien van Stekelenburg, Conny Roggeband y Bert Klandermans, Minesota: University of Minnesota Press.
- Foucault, M. (1970). *La arqueología del Saber*. Buenos Aires: S. X. Editores.
- García, Ricardo (2017). "Metco Endulza Su Cadena de Valor." *Manufactura*, 15 de septiembre 2017 [en línea]. Disponible en <<https://www.pressreader.com/mexico/manufactura/20170915/281784219261569>>.
- Geldes, Cristian, Christian Felzensztein, Ekaterina Turkina y Aurélia Durand (2015). "How Does Proximity Affect Interfirm Marketing Cooperation? A Study of an Agribusiness Cluster." *Journal of Business Research* 68 (2): 263-272.
- Gómez-Galvarriato, Aurora (2019). "La construcción del milagro mexicano: el Instituto Mexicano De Investigaciones Tecnológicas, el Banco de México y la Armour Research Foundation". *Historia Mexicana* 69: 1247-1309. México: Colmex.
- Halili, Zahra (2020). "Identifying and Ranking Appropriate Strategies for Effective Technology Transfer in the Automotive Industry: Evidence from Iran". *Technology in Society* 62 (abril): 101264: 1-20.
- Horner, Sam, Dilani Jayawarna, Benito Giordano y Oswald Jones (2019). "Strategic Choice in Universities: Managerial Agency and Effective Technology Transfer". *Research Policy* 48 (5): 1297-1309.
- Howells, Jeremy (2006). "Intermediation and the Role of Intermediaries in Innovation". *Research Policy* 2: 715-28.
- Janssen, Matthijs, Maya Bogers e Iris Wanzenböck (2020). "Do Systemic Innovation Intermediaries Broaden Horizons? A Proximity Perspective on R&D Partnership Formation". *Industry and Innovation* 27 (6): 605-629.
- Kanda, Wisdom, Mika Kuisma, Paula Kivimaa y Olof Hjelm (2020). "Conceptualising the Systemic Activities of Intermediaries in Sustainability Transitions". *Environmental Innovation and Societal Transitions* 36 (enero): 449-465.

- Klerkx, Laurens y Cees Leeuwis (2009). "Establishment and Embedding of Innovation Brokers at Different Innovation System Levels: Insights from the Dutch Agricultural Sector". *Technological Forecasting and Social Change* 76 (6): 849-860.
- Knoben, J. y L. A. G. Oerlemans (2006). "Proximity and Inter-Organizational Collaboration: A Literature Review". *International Journal of Management Reviews* 8 (2): 71-89.
- Lauvås, Thomas y Marianne Steinmo (2019). "The Role of Proximity Dimensions and Mutual Commitment in Shaping the Performance of University-Industry Research Centres". *Innovation: Organization and Management*. 23 (2): 182-208.
- Machorro, Juan Carlos (2020). "Impulsan Endulzantes de Patente Mexicana". *El Economista America*, 7 de enero [en línea]. Disponible en <<https://www.economistaamerica.com/jamaica/prnewswire?rkey=20200107ES82046yfilter=10396>>.
- Nsanzumuhire, Silas U. y Wim Groot (2020). "Context Perspective on University-Industry Collaboration Processes: A Systematic Review of Literature". *Journal of Cleaner Production* 258: 1-27.
- Pérez, Ruy (2005). *Historia general de la ciencia en México en el siglo XXI*. México: Fondo de Cultura Económica. Primera edición.
- Pérez Hernández, Pilar (2016). "Las organizaciones intermedias en los procesos de innovación en México". *Perfiles Latinoamericanos*, 24 (48): 161-183.
- Rednacecyt (2015). *Proyectos de Innovación de Empresas Apoyadas En El PEI 2009-2013*. México: Conacyt.
- Sánchez Preciado, Deycy Janeth, Björn Claes y Nicholas Theodorakopoulos (2016). "Transferring Intermediate Technologies to Rural Enterprises in Developing Economies: A Conceptual Framework". *Prometheus* (Reino Unido) 34 (2): 153-70.
- Santana Quintero, Talía (2021a). *Reporte de entrevistas semiestructuradas con actores del agente universidad*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Santana Quintero, Talía (2021b). *Reporte de entrevistas semiestructuradas con actores del agente empresa*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Santana Quintero, Talía (2021c). *Reporte de entrevistas con semiestructuradas con actores del agente intermediario*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Secundo, Giustina, Susana Elena Perez, Žilvinas Martinaitis y Karl Heinz Leitner (2017). "An Intellectual Capital Framework to Measure Universities. Third Mission Activities". *Technological Forecasting and Social Change* 123: 229-239.

- Siegel, Donald S, David A Waldman, Leanne E. Atwater y Albert N. Link (2004). "Toward a Model of the Effective Transfer of Scientific Knowledge from Academicians to Practitioners : Qualitative Evidence from the Commercialization of University Technologies" . *Journal of Engineering and Technology Management* 21: 115-42. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2003.12.006
- Stezano, Federico (2008). "Procesos de intermediación en las relaciones ciencia-industria," *CONCYTEG* 3 (40): 1071-1097.
- Theodorakopoulos, Nicholas, David Bennett y Deycy Janeth Sánchez Preciado (2014). "Intermediation for Technology Diffusion and User Innovation in a Developing Rural Economy: A Social Learning Perspective". *Entrepreneurship and Regional Development* 27, 7: 645-662. Routledge: Taylor y Francis.
- Theodorakopoulos, Nicholas, Deycy Janeth Sánchez Preciado y David Bennett (2012). "Transferring Technology from University to Rural Industry within a Developing Economy Context: The Case for Nurturing Communities of Practice". *Technovation* 32 (9-10): 550-559.
- Torre, A. y A. Rallet (2005). "Proximity and Localization". *Regional Studies* 39 (1): 47-59.
- Yin, Robert (1998). *Investigación sobre estudio de casos diseño y métodos*. Thousand Oaks: SAGE Publications.
- Villani, Elisa, Einar Rasmussen y Rosa Grimaldi (2017). "How Intermediary Organizations Facilitate University-Industry Technology Transfer: A Proximity Approach". *Technological Forecasting and Social Change* 114: 86-102.

Fluorescencia celular y organización institucional. Uso social del conocimiento biotecnológico en laboratorios de recursos compartidos

*César Guzmán Tovar
Andrea Bedoya López*

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de recursos compartidos son espacios institucionales que cumplen con tres ejes (objetivos) misionales: la formación de recursos humanos, la investigación y la prestación de servicios especializados. En el país existen instancias con estas características en las universidades públicas y privadas; hasta 2019 estaban registrados al menos 82 laboratorios con estas características, denominados como Laboratorios Nacionales Conacyt. En México, una de las instituciones de mayor trascendencia y posicionamiento en el desarrollo de herramientas metodológicas en diversos campos de la ciencia (multidisciplinarios) es el Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo (LabNalCit), adscrito al Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La citometría de flujo es una herramienta ampliamente usada en áreas como la inmunología, investigación clínica, oncología, diagnóstico, etc. En particular el uso de la citometría de flujo en el campo biotecnológico es necesaria para establecer las características de las células, tales como

el tamaño, volumen, morfología, densidad, y estabilidad genética de los cultivos *in vitro* entre otras aplicaciones.

En este texto analizaremos la importancia de la citometría de flujo, en tanto artefacto específico de la biotecnología desde dos aristas: 1) la trayectoria institucional del LabNalCit y su importancia en el desarrollo de la biotecnología en México y 2) el uso social de los conocimientos biotecnológicos producidos a través de los vínculos que el Laboratorio establece con otros actores. La pregunta que se quiere responder es, en apariencia, sencilla: ¿cómo se han logrado posicionar las contribuciones del LabNalCit en el conjunto de la biotecnología mexicana? Para responder esa inquietud nos hemos planteado lograr un acercamiento a la citometría de flujo practicada en el LabNalCit, rastreando su trayectoria institucional y analizando las condiciones socioeconómicas que posibilitan dichas prácticas.

Para ello, el texto desarrolla una perspectiva metodológica basada en entrevistas en profundidad, análisis de archivo, visitas de laboratorio, observación participante y observación no participante. La combinación de la experiencia (biotecnológica) desde dentro del laboratorio por parte de la coautora de este capítulo con la visión (sociológica) externa del coautor nos permite acercarnos al caso desde un enfoque multidisciplinar. Con este abordaje desde dos polos del conocimiento (que esperamos que se atraigan y no que se repelen) queremos contribuir a la reflexión sobre la importancia de la biotecnología para combatir la pandemia de COVID-19 y, como corolario de lo anterior, sobre la necesidad de instalar en México capacidades científicas y tecnológicas para desarrollar investigaciones con patógenos potencialmente letales que podrían generar nuevas epidemias o pandemias en un futuro cercano.

Iniciamos el capítulo con una breve contextualización histórica de la biotecnología en México y su impulso desde la década de 1960 del siglo pasado; luego analizamos, desde una mirada interna, la práctica de la citometría de flujo en el Laboratorio; en el tercer apartado nos enfocamos en la trayectoria institucional del LabNalCit desde el punto de vista de los usos sociales del conocimiento científico; finalmente

exponemos algunas consideraciones que creemos de importancia no sólo para el futuro del Laboratorio, sino también para el impulso de la biotecnología en México.

ALGUNOS TRAZOS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA Y LA CITOMETRÍA EN MÉXICO

En México, la biotecnología inició en el área agroindustrial a partir de la década de 1960 con orígenes en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Pocos años más tarde se institucionalizó la biotecnología vegetal con el primer laboratorio dedicado al cultivo de tejidos vegetales creado en 1969 en el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo (Casas, 1993). A partir de allí se ha fortalecido la capacidad de investigación en biotecnología desde una creciente institucionalización del área en diversas regiones del país; aquí mencionamos sólo algunos casos sobresalientes.

En 1982 se creó el Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el cual se convertiría en el Instituto de Biotecnología (IBT) en 1991 (Guzmán Tovar, 2020b). En 1985 se creó el Departamento de Biotecnología del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), el cual se convirtió en la Unidad de Biotecnología del CICY en 1997 (Peraza, 2010). En 2004 surge el Instituto Nacional de Genómica (Inmegen), como resultado de un esfuerzo conjunto entre la UNAM, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de la Secretaría de Salud y la Fundación Mexicana para la Salud. Al año siguiente se creó el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio), el cual forma parte del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Estas menciones no exhaustivas de la institucionalización de la biotecnología en México dan cuenta de un amplio proceso de fortalecimiento de las capacidades para la investigación biotecnológica y, como dice Salomón (2008), de la formación de una élite profesional ligada a las contingencias y presiones políticas y económicas.

Por parte del sector empresarial, podemos decir que, de acuerdo con el trabajo coordinado por Francisco Bolívar (2003), a inicios de este milenio existían 98 empresas vinculadas a la biotecnología en México. Sin embargo, este número debe tomarse con cautela debido a que en México “en el mejor de los casos podemos acceder a datos sobre la formación y productividad científica en el país relacionada con la biotecnología, pero no existen datos precisos sobre el desempeño de las empresas productoras de biotecnología” (Morales y Amaro, 2019: 14). Es por ello que en otro trabajo los mismos autores encontraron que entre 2010 y 2011 existían en México 406 empresas que realizaban alguna actividad en biotecnología, pero no existían datos para empresas completamente dedicadas a dicha área (Morales y Amaro, 2017). En un estudio reciente se pudo establecer que entre septiembre de 2015 y enero de 2016 existían en total 40 empresas mexicanas que desarrollaban proyectos biotecnológicos, “lo cual implica excluir a las que sólo comercializan productos biotecnológicos y/o los utilizan como insumo, sin tener actividades de asimilación tecnológica, así como a las que forman parte de una empresa transnacional y sus proyectos biotecnológicos no se realizan en territorio mexicano” (Morales, Amaro y Stezano, 2019: 28). En ese sentido, no es erróneo decir que en México la industria biotecnológica es aún muy incipiente.

A pesar de este panorama, en el ámbito de la investigación académica, México cuenta con una importante tradición institucional esbozada anteriormente. Teniendo en cuenta que la biotecnología ha tenido su mayor difusión en el área de la salud humana gracias a la producción de nuevos fármacos, vacunas y métodos de producción basados en moléculas (Amaro y Sandoval, 2019; Chauvet, 2015), la generación de un Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo ha sido importante para impulsar investigación vinculada a la salud humana. Esta área del conocimiento, como sabemos, en tiempos de pandemia ha adquirido cierta prioridad en las políticas de ciencia y la tecnología de muchos países.

La citometría de flujo es un método de análisis celular que se ha extendido en las últimas dos décadas en investigaciones biológicas y

médicas para identificar antígenos y anticuerpos en células en suspensión (Barrera *et al.*, 2004). La citometría se basa en identificar y caracterizar células, microorganismos o partículas a través de su incidencia con una fuente de luz (láseres) detectando su dispersión de la luz y fluorescencia, es decir, analizando la absorción y emisión de luz (y, por ende, energía) de una molécula que se traduce en una gama de colores a través de un procesamiento computacional. Por eso, dentro de la citometría, es importante el desarrollo de artefactos que implementen láseres que permitan generar más colores.¹ Actualmente, el citómetro más desarrollado puede analizar una gama de más de 40 colores y son conocidos como citómetros espectrales. La citometría de flujo, al igual que la biotecnología en general, se caracteriza por ser “una red compleja de conocimientos donde la ciencia y la tecnología se entrelazan y complementan” (Muñoz, 2012: 28); de manera que es posible pensar en la citometría de flujo como una técnica en un *continuum* entre investigación básica, investigación aplicada, desarrollo tecnológico y uso social del conocimiento.

La aplicación de la citometría de flujo en el área clínica permite el monitoreo de enfermedades como la esclerosis múltiple, el lupus eritematoso sistémico, la artritis reumatoide, enfermedades pulmonares, en los trasplantes de médula ósea, y en pacientes con virus de inmunodeficiencia humana (VIH). En la actual pandemia de COVID-19, la citometría de flujo jugó un papel importante en el estudio y caracterización en detalle del efecto de la infección por el virus SARS-CoV-2 en el cuerpo humano a través del análisis de las células del sistema inmune, así como el efecto de los tratamientos y la mejora de la respuesta ante ellos.

En México, esta técnica se ha institucionalizado en varios laboratorios de investigación científica desde hace alrededor de una década.

¹ “La fluorescencia es consecuencia del efecto que produce el láser sobre un marcador (fluorocromo) que está pegado a la célula y que al ser excitado emite luz a una longitud de onda distinta, que es detectada por un fotodetector que ayuda a digitalizar la información que será interpretada por un *software*” (Bonilla, 2019, en Internet).

Entre los casos más representativos podemos mencionar la Unidad de Citometría de Flujo del Laboratorio Nacional de Servicios Experimentales (Lanse), del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), creado en 2012; el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (Lanisaf) de la Universidad de Chapingo, creado en 2013; la Unidad de Citometría de Flujo del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, creada en 2014; la Unidad de Citometría de Flujo de la Red de Apoyo a la Investigación (RAI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), creada en 2015; y nuestro caso de estudio, el Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo (LabNalCit) del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, el cual inició actividades en marzo de 2016.

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL LABNALCIT

En los últimos años se ha observado un creciente uso de la citometría de flujo en la industria, específicamente en la cuantificación y determinación de la viabilidad de las células en cultivos microbianos. Por ejemplo, Chiron y otros (2017) describen las ventajas del uso de la técnica en cultivos de probióticos de diferentes especies² usados en alimentos, en comparación con los estándares de oro como los conteos de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), logrando mayores conteos celulares y especificidad en especies cercanas. Michelutti y otros (2020) y Comas-Riu y Rius (2009) revisan en detalle esta y otras ventajas, como la posibilidad de detectar simultáneamente la integridad y potencial de membrana, el pH intracelular, la actividad enzimática, etc. y destacan específicamente el ahorro en tiempo en comparación con los métodos microbiológicos actuales, así como la posibilidad de determinar microorganismos contaminantes de manera específica.

² Algunas de ellas son: *Bifidobacterium bifidum* R0071, *Bifidobacterium longum* ssp. *infantis* R0033, *Bifidobacterium longum* ssp. *longum* R0175, *Lactobacillus helveticus* R0052 y *Lactobacillus rhamnosus* R0011.

En cuanto a la producción de metabolitos y proteínas recombinantes, la citometría de flujo es un método cualitativo que permite el seguimiento de las cinéticas celulares, la viabilidad y respuesta de las células ante los estímulos externos. Esto da la posibilidad de hacer un seguimiento detallado de la respuesta celular ante los cambios en sus condiciones de cultivo y en sus procesos de mejora.

En otros campos, se reportan aplicaciones para suplementos alimenticios, crecimiento microbiano en bioreactores, tratamiento y calidad de agua, selección de microorganismos altamente productores, producción de anticuerpos, fertilidad animal, dinámica microbiana, fisiología de las levaduras en la producción vinícola, viabilidad de conidias,³ entre otras aplicaciones (ver Michelutti y otros, 2020; Heins y otros, 2019; Safford y Bischel, 2019; Zeng *et al.*, 2020; Akagi *et al.*, 2019; Buysschaert *et al.*, 2018; Boe-Hansen y Satake, 2019; Lambrecht *et al.*, 2019; Longin *et al.*, 2017; Vanhauteghem *et al.*, 2017).

En México, el uso biotecnológico de la citometría de flujo no se encuentra muy extendido, sin embargo, el LabNalCit cumple un papel importante en el desarrollo de metodologías y la difusión de su uso. La citometría de flujo que se desarrolla en el LabNalCit siguió un proceso extenso de consolidación de protocolos, estandarización y validación para asegurar la calidad del resultado. Como resultado de ese proceso de búsqueda de la calidad, el laboratorio cuenta actualmente con certificación ISO 9001 e IQNet reconocida en más de 40 países a nivel global.

En el ámbito biotecnológico, el LabNalCit ha tenido un rol importante en la estandarización de pruebas con aplicaciones en la industria biofarmacéutica. Específicamente en ensayos basados en células relacionadas con la eficacia de los productos biofarmacéuticos. Asimismo, el Laboratorio ha hecho ensayos para determinar el nivel de producción de microalgas en condiciones de cultivo controladas y la

³ Las conidias son esporas asexuales de los hongos y es la forma más común que tienen para reproducirse.

cantidad de proteínas recombinantes en cultivos celulares. Una aplicación igualmente importante, es la caracterización de especies vegetales a través del contenido de DNA. Esta aplicación se encuentra actualmente estandarizada para especies vegetales de nopal y maíz, entre otros. Sin embargo, puede utilizarse en otras especies vegetales y animales para ser complementaria de los estudios genómicos que llevan a su correcta caracterización.

En el campo ambiental y de las ciencias agrarias, el LabNalCit apunta a la posibilidad del estudio de comunidades bacterianas con efectos benéficos y aplicaciones biotecnológicas para el control de enfermedades y mejora de la producción en cultivos limpios. Se piensa que un área de oportunidad a futuro para el Laboratorio es el desarrollo de test especializados basados en células, para el análisis de la respuesta de moléculas de interés biofarmacéutico. También el estudio de modelos microbianos y hongos productores de proteínas recombinantes con interés comercial y uso aplicado. Otra de las aplicaciones, con una relevancia significativa para el desarrollo biotecnológico mexicano, es la relacionada con la caracterización de células madre, esto por su importancia y aplicación en diversos tratamientos y terapias que han cobrado mucha fuerza en los últimos años como parte de la medicina traslacional.⁴ La caracterización por citometría de flujo resulta fundamental para corroborar que los cultivos celulares y aislamientos contengan las células con las características deseadas y que tienen el efecto descrito en estudios previos.

⁴ Es un campo emergente de la medicina que consiste en facilitar la transición de la investigación básica a aplicaciones clínicas: “[...] se debe considerar que la investigación traslacional en medicina requiere de la interacción de numerosos protagonistas que plantearán una interrogante desde la cama del paciente, la llevarán a modelos experimentales desarrollados en el laboratorio para generar una eventual respuesta a la pregunta planteada, la cual finalmente deberá ser resuelta aplicando la solución encontrada al paciente y eventualmente a la población” (Oyarzún, 2017: 81).

LA ORGANIZACIÓN SOCIAL DEL LABNALCIT

El LabNalCit surgió como un esfuerzo conjunto de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM, el Instituto de Investigaciones Biomédicas y la Universidad Benito Juárez de Oaxaca. Esta iniciativa contó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y luego se sumaron entidades como el Instituto Nacional de Cancerología, el Instituto de Fisiología Celular y la Facultad de Medicina de la UNAM, que aportaron equipo o recursos monetarios.

El Laboratorio se encuentra ubicado en el Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, y aunque funciona en un espacio moderado, actualmente cuenta con ocho equipos de alta tecnología (y costo) con los cuales lleva a cabo su principal objetivo, que es permitir el análisis multiparamétrico y la separación celular de alta velocidad y resolución a grupos de investigación de todo el país. Además de este objetivo, el LabNalCit también tiene la misión de formar recursos y promover proyectos de investigación interdisciplinarios e interinstitucionales.⁵

De acuerdo con Zabala (2004), la utilidad social del conocimiento científico tiene que ver con la capacidad que éste tiene para convertirse en un recurso para actores no-científicos, es decir, la capacidad que el conocimiento científico tiene para involucrarse con el resto de la sociedad. Desde hace 80 años la cuestión viene planteándose en diferentes términos. A finales de la década de 1930 Bernal (1939) llamó la atención sobre la interacción entre ciencia y sociedad planteando que esta relación debe ser analizada detenidamente, pues la ciencia es afectada por los cambios sociales a la vez que ella afecta la sociedad. En América Latina, la cuestión del carácter social y estructural de la

⁵ “Un LabNalCit es una unidad de investigación especializada para el desarrollo científico y la innovación en temas fundamentales. Cumple con tres funciones; la investigación, formación de recursos humanos y la prestación de servicios, y se establecen en asociación entre instituciones de diferentes regiones del país con la finalidad de expandir las capacidades científico-tecnológicas”. (ANUIES, 2018).

ciencia fue ampliamente debatido a partir de la década de 1960 dentro de lo que se denominó el Pensamiento Latinoamericano en Ciencia, Tecnología y Sociedad (Placts) cuya preocupación principal, pero no única, giraba alrededor del rol de las políticas científicas y tecnológicas para la región (Vaccarezza, 2004). Más recientemente, se han desarrollado estudios en donde se analiza el vínculo ciencia-sociedad a través de los conceptos de “transferencia de tecnologías” o “apropiación tecnológica” con atención a los procesos de producción de conocimientos en distintos niveles y momentos hasta llegar a los posibles usuarios de esa transferencia (Guzmán, 2020b; Juárez y Castañeda, 2017; Levin, Ferpozzi y Aguiar, 2020; Vaccarezza y Zabala, 2002).

El objetivo de lo que sigue es indagar hasta qué punto el trabajo de los citometristas del LabNalCit tiene un componente de vinculación con la sociedad, entendida en términos del uso social que se hace del conocimiento generado en el laboratorio. Para ello nos remitiremos a las dimensiones especificadas por Vaccarezza y Zabala (2002) en su estudio sobre la utilidad social del conocimiento en algunos laboratorios biotecnológicos de Argentina, dichas dimensiones son: 1) ámbito institucional; 2) área de producción; 3) contexto científico académico; 4) logros científico-tecnológicos; 5) contexto socioeconómico de referencia.

Ámbito institucional

Desde su creación en 2016, la dirección del LabNalCit ha estado a cargo de la doctora Gloria Soldevila Melgarejo, quien es una investigadora con amplia trayectoria en el área de la inmunología. Su adscripción al Instituto de Investigaciones Biomédicas le ha permitido impulsar algunas líneas de investigación sobre señales moleculares que participan en la activación y desarrollo de los linfocitos T, que cumplen la importante función de destruir células infectadas, siendo así los responsables de la inmunidad celular. La directora del LabNalCit forma parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en el nivel III y ha recibido premios y reconocimientos por sus investigaciones en el sis-

tema inmune; con ello se puede decir que la doctora Soldevila es una científica prominente y que ha sorteado satisfactoriamente los poderes instituidos en las políticas de ciencia y tecnología, las dinámicas propias del sistema de ciencia y tecnología mexicano, y las vicisitudes burocráticas de una entidad como la UNAM (Alcántara, 2005; Alvarado, 2015; Guzmán, 2019; Jiménez, 2014; Lloyd *et al.*, 2017).

Por otra parte, la organización intelectual y social del LabNalCit (Whitley, 2012) se puede caracterizar brevemente como una institución pequeña (actualmente el equipo del laboratorio lo conforman siete personas) con la Universidad Autónoma Benito Juárez Oaxaca y la Universidad Autónoma de Chihuahua como instituciones asociadas en donde el Laboratorio tiene sedes. Las actividades cotidianas del LabNalCit se distribuyen en tres áreas: 1) investigación y apoyo a la investigación (realización de convenios con otras instituciones, préstamo de equipos de alta tecnología y apoyo técnico para su uso); 2) oferta de servicios a académicos y personas en general (realización de pruebas, diagnóstico de muestras, etc.); 3) formación de recursos humanos (realización de talleres, cursos, capacitaciones y pasantías de becarios de licenciatura y de posgrado). Cada miembro del LabNalCit contribuye a alguna de esas actividades sin que sean excluyentes. Esas actividades están distribuidas entre la Dirección, Coordinación de investigación, Coordinación de docencia, Coordinación de operaciones, Coordinación de Servicios especializados y Coordinación de servicios a la clínica.

Adicionalmente, el Laboratorio también ha emprendido una labor social al prestar servicios de diagnóstico a niños con leucemia para determinar el tipo de padecimiento a través de un fondo económico alimentado por el sector científico y empresarial con el cual se hace pruebas gratuitas a población infantil entre 0 y 18 años con recursos limitados.

El surgimiento del LabNalCit obedece a una estrategia del Conacyt de crear laboratorios nacionales en diferentes áreas del conocimiento y en diferentes regiones del país como una manera de fomentar las capacidades de investigación. Por su reciente inicio, esta estrategia

aún no se puede evaluar profundamente, pero nos parece importante documentar el estado de este caso específico como un aporte al análisis de la cuestión biotecnológica en México.⁶

Área de producción

La producción del LabNalCit se puede enmarcar dentro de un conocimiento científico avanzado por cuenta de las novedosas metodologías usadas como apoyo a la investigación (p. ej. el análisis multidimensional de poblaciones celulares). Se trata de un conocimiento acumulado que interviene en el continuo proceso de la investigación básica a la investigación aplicada. El uso de los equipos sofisticados y el procesamiento de la información para su análisis a través de los *softwares* especializados hacen de la producción del LabNalCit un área de vanguardia para la investigación médica. Como mencionamos anteriormente, la citometría de flujo ha jugado un papel importante durante la pandemia de COVID-19 al ser usada como herramienta para la caracterización de la respuesta inmune en pacientes en contacto con el virus SARS-CoV-2; su relevancia seguirá siendo alta al permitir caracterizar la respuesta de los pacientes a los tratamientos aplicados. Se puede pensar, entonces, que el LabNalCit tiene un amplio horizonte de producción que podrá explorar en un futuro inmediato.

Contexto científico-académico

El LabNalCit cuenta con reconocimiento a nivel nacional y sus miembros han establecido colaboraciones con investigadores de otras instituciones, generando así redes informales internacionales. Por otra parte, al haber emergido de la UNAM con el apoyo del Conacyt, el LabNalCit tiene un soporte institucional y académico robusto y alta-

⁶ Para un análisis sobre las políticas recientes de ciencia, tecnología e innovación en México se pueden consultar los trabajos de Amaro y Morales (2016); Anzaldo (2019) y Loyola y Zubieta (2020).

mente validado. En términos de Whitley (2012), esto significa que el grupo de investigadores del LabNalCit puede acceder, si no lo ha hecho ya, a la élite de los grupos de dominio de las ciencias biomédicas y la biotecnología en México.⁷

Y esto es así porque el Laboratorio está inmerso en un contexto de excelencia científica soportado por los recursos materiales y simbólicos que ofrece formar parte de la UNAM y, más específicamente, estar dentro de un instituto altamente valorado y con una amplia tradición científica como lo es el Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB).⁸ Este contexto institucional se traduce en un contexto científico y académico de alto reconocimiento que en los próximos años posiblemente posicione al LabNalCit dentro de la esfera más alta en la producción de conocimientos biotecnológicos.

Logros científicos-tecnológicos

El LabNalCit ha incorporado capacidades tecnológicas de alto impacto en la citometría de flujo del país. Sus miembros han capacitado a otros investigadores en el uso de los equipos tecnológicos adquiridos y ha formado a estudiantes de licenciatura y de posgrado. En 2017 se unieron al equipo de trabajo dos becarios posdoctorales, lo cual permitió ampliar la oferta de cursos y servicios.

⁷ Whitley se refiere al dominio que puede ejercer un grupo de científicos a partir de la reputación obtenida. La idea del sociólogo inglés es simple: a mayor reputación, mayor posibilidad de control de la organización intelectual de las ciencias. “La búsqueda de reputación en las ciencias, al igual que en las artes y otros sistemas de producción cultural, no apunta solo a darse mutuamente palmaditas en la espalda, sino al poder sobre las metas y los procedimientos del conocimiento. Las reputaciones se ganan persuadiendo al público que cuenta de la importancia del propio trabajo, y por eso afecta a las prioridades y los procedimientos. Lograr una alta reputación requiere la facultad de hacer que los propios puntos de vista e ideas sean aceptados como importantes para que los demás sigan esa dirección” (Whitley, 2012: 90).

⁸ Sobre la trayectoria institucional del IIB y su impacto en las ciencias mexicanas se puede consultar Guzmán (2020a).

La cobertura del Laboratorio en cuanto a los usuarios asciende a 181 estudiantes y académicos de distintas instituciones de la UNAM y fuera de ella. En el Laboratorio están registrados 39 grupos de investigación, de los cuales 25 forman parte del IIB y 14 son de otras entidades de la UNAM y de otras instituciones públicas.

Desde el Laboratorio se han planteado importantes proyectos relacionados con la investigación clínica (terapias alternativas para pacientes con trasplante de riñón), la investigación biomédica (identificación de las células coadyuvantes en el desarrollo de la cisticercosis) y la investigación biotecnológica (detección temprana de la metástasis en cáncer a través de la identificación de las vesículas, exosomas, que un tumor cancerígeno libera).

Contexto socioeconómico de referencia

El perfil institucional del LabNalCit se caracteriza preponderantemente por la vinculación con otras instituciones del sector científico. La trayectoria del Laboratorio ha estado marcada por el vínculo con grupos de investigación de diversas áreas a través de los servicios y las asesorías que presta.

Se puede decir que el LabNalCit es una institución intermedia (Casalet, 2010)⁹ que actúa como generadora de conocimientos científicos y prestadora de servicios tecnológicos. Puente entre investigadores y sectores no-científicos, el LabNalCit es un nodo destacado en ciertas redes formales e informales que acercan el conocimiento a espacios de utilidad social. Ejemplo de dichas redes es su papel en la Red Iberoamericana de Citometría de Flujo o la red que articula en los procesos de formación en las técnicas avanzadas de la citometría mediante

⁹ El surgimiento de las instituciones intermedias es de gran importancia en las relaciones en el sector de la ciencia, tecnología e innovación. Estas instituciones se centran “en el desarrollo de redes interorganizacionales, con flujos dinámicos de intercambio con actores no académicos, y con financiamiento proveniente de varias fuentes, las que acrecientan y expanden los vínculos y los aprendizajes” (Casalet, 2010: 6).

cursos continuos y talleres a estudiantes e investigadores. En ese sentido, la cotidianidad del Laboratorio está signada por intercambios científicos y académicos que emergen de su interior, pero también de conocimientos que llegan desde arenas transnacionales. La citometría de flujo, en el caso que aquí exponemos, se desarrolla en un contexto socioeconómico de flujos de conocimientos desde lo local (dentro de la UNAM) hasta lo transnacional (por ejemplo, el reciente Congreso LatinFlow llevado a cabo de manera virtual en noviembre de 2020).

CONSIDERACIONES FINALES

Hemos hecho una somera descripción de la citometría de flujo como herramienta biotecnológica y su desarrollo en el LabNalCit. En este apartado precisamos algunos puntos que consideramos importantes en la utilidad social de la citometría en tanto conocimiento científico.

Una de las características del LabNalCit que llaman la atención es su eminente perfil hacia los servicios. Comúnmente, los laboratorios de investigación en biotecnología se especializan en la producción de conocimientos básicos y aplicados en donde las patentes y las publicaciones son altamente valoradas y los servicios se plantean como una actividad subsidiaria (*cfr.* Didou y Remedi, 2008; Montiel, 2014; Remedi y Ramírez, 2017; Vaccarezza y Zabala, 2002); sin embargo, en el caso que hemos abordado, una de las principales actividades desarrolladas es la de los servicios (a usuarios dentro y fuera de la UNAM) sin que ello signifique, como mencionamos más arriba, que no se haga investigación. Lo que queremos plantear con esta idea es que el LabNalCit tiene una vocación hacia la vinculación altamente institucionalizada, lo cual le ha permitido generar mayor visibilidad en la utilidad del conocimiento (de hecho, los proyectos de investigación que se realizan en el Laboratorio buscan contribuir a la solución de problemas del área médica).

En ese sentido, la organización intelectual y la utilidad del conocimiento del LabNalCit parecen ir en contra de la tendencia del desarrollo de la biotecnología en México, la cual está determinada

“más por la rentabilidad y competitividad económica de los procesos que por su repercusión social” (Casas, 2001: 168). Planteamos esto como hipótesis, pues la etapa inicial en la que se encuentra el Laboratorio no nos permite llegar a afirmaciones concluyentes al respecto; sin embargo, podemos destacar que el trabajo realizado hasta ahora rompe con los esquemas “tradicionales” de la biotecnología hecha para la obtención de réditos económicos o para el reconocimiento a través de citaciones y patentes.

No hay que olvidar, entre tanto, que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ya había incluido la producción de bienes y servicios como parte sustantiva de la biotecnología (Muñoz, 2012) y que, en México, esta noción se popularizó entre analistas y los propios biotecnólogos, como se corroboró en el trabajo realizado por Casas, Chauvet y Rodríguez (1992). Entonces, en realidad, la trayectoria construida hasta el momento por el LabNalCit no es ajena a cierto *ethos* colectivo dentro del campo de conocimiento enfocado en la generación de servicios. Podemos arriesgarnos a decir que la trayectoria institucional del Laboratorio estará marcada por lo que Vaccarezza y Zabala (2002) denominaron “diferenciación funcional” refiriéndose a científicos que se inclinan a los roles de investigación desarrollando sus propios propósitos, mientras que otros se inclinan a la satisfacción de las demandas del mercado. El grupo de trabajo que conforma el LabNalCit en este momento se caracteriza por una diferenciación funcional, aunque dicha diferenciación se observa más entre la investigación y los servicios.

Como mencionamos antes, el LabNalCit tiene un horizonte bastante amplio en la aplicación de conocimientos en problemas locales. Esto constituirá, sin duda, una oportunidad de crecimiento para el Laboratorio en términos de recursos y de impacto en la sociedad. También propiciará la ampliación de sus investigaciones y la configuración de redes de colaboración a través de la búsqueda de nuevas líneas de investigación. La ampliación de oportunidades para que estudiantes de posgrado y posdoctorantes realicen estancias en el laboratorio serán decisivas para la apertura hacia dichos horizontes

epistemológicos. Esto será importante no sólo para el Laboratorio, sino también para la biotecnología mexicana en tanto sea una ventana de oportunidades para crear conocimiento situado y con la posibilidad de generar aplicaciones en el contexto local.

Por último, queremos destacar las capacidades de vinculación y de colaboración tanto a nivel institucional como a nivel individual en el Laboratorio. Esta es, tal vez, su mayor fortaleza a nivel organizacional, puesto que le ha permitido posicionarse rápidamente como una de las instituciones referentes de la citometría de flujo a nivel nacional y, adicionalmente, ha encontrado cierto reconocimiento en el internacional. La participación de sus miembros en redes transnacionales ha sido de suma importancia, pues suma experiencia colectiva y, sobre todo, genera dinámicas en donde el conocimiento tácito (Collins, 2009; 2010) se vuelve un factor importante en el crecimiento y consolidación del Laboratorio.

Futuras investigaciones darán cuenta de la trayectoria realmente seguida por el LabNalCit en fases posteriores de su conformación; esas investigaciones podrán analizar su rol en la biotecnología mexicana, así como su consolidación como institución determinante en las actividades de investigación, formación y vinculación. Por el momento, nos atrevemos a concluir que el LabNalCit es una entidad con una potencialidad importante dentro de la biotecnología mexicana gracias al perfil institucional volcado hacia la demanda de servicios y a la apuesta hacia la generación de conocimientos para su aplicación en el contexto nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Akagi, Sachi, Chika Nakajima, Yoichiro Tanaka y Yasuyuki Kurihara (2018). "Flow cytometry-based method for rapid and high-throughput screening of hybridoma cells secreting monoclonal antibody". *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 125, núm. 4: 464-469 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.10.012>>.
- Alcántara, Armando (2005). *Entre Prometeo y Sísifo. Ciencia, tecnología y universidad en México y Argentina*. Barcelona: Ediciones Pomares.
- Alvarado, María Eugenia (2015). *Desarrollo y concepciones de ciencia. Una mirada histórica. El caso de la UNAM*. Ciudad de México: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades-UNAM.
- Amaro, Marcela y Alberto Morales (2016). "Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes", *REDES*, vol. 22, núm. 42: 13-40.
- Amaro, Marcela y Seyka Sandoval (2019). "Industria biotecnológica, concentración de oportunidades para las empresas mexicanas en el panorama mundial de encadenamientos productivos". En *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, coordinado por Mario Alberto Morales y Marcela Amaro, 127-170. Ciudad de México: Facultad de Economía, UNAM.
- Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) (2018). "Instalan Laboratorio Nacional de Citometría de flujo en la Facultad de Medicina" [en línea]. Disponible en <<http://crnanuies.uas.edu.mx/index.php/inicio/noticias/127-chihuahua/1612-instalan-laboratorio-nacional-de-citometria-de-flujo-en-la-facultad-de-medicina>> (consulta: 9 de febrero de 2021).
- Anzaldo, Mónica (2019). "Las agendas estatales de innovación en México: ¿gobernanza científica discrecional o de mercado? *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 11 (21): 223-254 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.22430/21457778.1296>>.
- Barrera, Lourdes, María Elisa Drago, Ana Zamora, Fabiola Gómez, Teresita Sainz y Felipe Mendoza (2004). "Citometría de flujo: vínculo entre la investigación básica y la aplicación clínica". *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, vol. 17, núm. 1: 42-55.
- Bernal, John (1939). *The Social Function of Science*. Londres: George Routledge & Son.
- Boe-Hansen, Gry y Nana Satake (2019). "An update on boar semen assessments by flow cytometry and CASA", *Theriogenology* 1, 137: 93-103. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.05.043.

- Bolívar, Francisco (coord.) (2003). *Recomendaciones para el desarrollo y la consolidación de la biotecnología en México*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Bonilla, Armando (2019). “Labnalcit, un pequeño laboratorio de gran impacto científico” [en línea]. Disponible en <<http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/salud/25131-labnalcit-laboratorio-impacto-cientifico>> (consulta: 9 de febrero de 2021).
- Buyschaert, Benjamin; Lotte Vermijs; Agathi Naka; Nico Boon y Bart De Gusseme (2018). “Online flow cytometric monitoring of microbial water quality in a full-scale water treatment plant”, *Clean Water*, 1 (16) [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1038/s41545-018-0017-7>>.
- Casale, Mónica (2010). “Velos y desvelos entre el poder y la ciencia”, *Revista Innovación RICEC*, vol. 2, núm. 1: 1-15.
- Casas, Rosalba (1993). *La investigación biotecnológica en México: tendencias en el sector agroalimentario*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.
- Casas, Rosalba (2001). “La transferencia de conocimientos en biotecnología: formación de redes a nivel local”. En *La formación de redes de conocimiento. Una perspectiva regional desde México*, coordinado por Rosalba Casas, 163-240. Barcelona: Anthropos/México: IIS-UNAM.
- Casas, Rosalba, Michelle Chauvet y Dinah Rodríguez (coords.) (1992). *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, IIE-UNAM; IIS-UNAM.
- Chauvet, Michelle (2015). *Biotecnología y sociedad*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Chiron, Camille, Thomas Tompkins y Pierre Burguière (2017). “Flow cytometry: a versatile technology for specific quantification and viability assessment of microorganisms in multi-strain probiotic products”, *Journal of Applied Microbiology*, 124 (2): 572-584. doi:10.1111/jam.13666.
- Collins, Harry (2009 [1992]). *Cambiar el orden. Replicación e inducción en la práctica científica*. Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Collins, Harry (2010). *Tacit and Explicit Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.
- Comas-Riu, Jaume y Núria Rius (2009). “Flow cytometry applications in the food industry”. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 36, núm. 8: 999-1011. [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1007/s10295-009-0608-x>>.
- Didou, Sylvie y Eduardo Remedi (2008). *De la pasión a la profesión: investigación científica y desarrollo en México*. Ciudad de México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN.

- Guzmán Tovar, César (2019). "Oasis, disrupciones y disensos en las prácticas científicas. Estudio de casos en México", *REDES*, vol. 25, núm. 49: 69-99.
- Guzmán Tovar, César (2020a). "El trasegar de la relación ciencia-sociedad desde lo institucional a lo individual. Análisis de dos centros de investigación en México", *Epistemología e Historia de la Ciencia* 4 (2), pp. 42-72.
- Guzmán Tovar, César (2020b). "Vicisitudes de la transferencia tecnológica en México: arenas epistémicas, coproducción y uso social de la bacteria *Bacillus subtilis*". *Revista Iberoamericana* CTS, núm. 45, vol. 15: 131-161.
- Heins, Anna, Ted Johanson, Shanshan Han, Luisa Lundin, Magnus Carlquist, Krist Gernaey, Søren Sørensen y Anna Eliasson Lantz (2019). "Quantitative Flow Cytometry to Understand Population Heterogeneity in Response to Changes in Substrate Availability in *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* Chemostats". *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7:187. doi: 10.3389/fbioe.2019.00187
- Jiménez, Yuri (2014). *La construcción social de la UNAM. Poder académico y cambio institucional (1910-2010)*. Ciudad de México: Universidad Pedagógica Nacional.
- Juárez, Paula y Yolanda Castañeda (2017). "Dinámicas de cooperación y apropiación del conocimiento. Análisis sociotécnico de agendas públicas de investigación para la soberanía alimentaria en Argentina y México". *REDES*, vol. 24, núm. 44: 133-163.
- Lambrecht, Johannes, Florian Schattner, Hauke Harms y Susann Mueller (2019). "Characterizing Microbiome Dynamics – Flow Cytometry Based Workflows from Pure Cultures to Natural Communities", *Journal of Visualized Experiments* (137). doi:10.3791/58033.
- Levin, Luciano, Hugo Ferpozzi y Diego Aguiar (2020). "Mucho ruido y pocas drogas. Producción de conocimiento y transferencia de tecnología en enfermedades negadas". *Revista Iberoamericana* CTS, núm. 45, vol. 15: 107-130.
- Lloyd, Marion, Imanol Ordorika, Roberto Rodríguez y Jorge Martínez (2017). *La complejidad del logro académico. Estudio comparativo sobre la Universidad Autónoma de México y la Universidad de São Paulo*. Ciudad de México: Seminario de Educación Superior-UNAM.
- Longin, Cédric, Clément Petitgonnet, Michèle Guilloux-Benatier, Sandrine Rousseaux y Hervé Alexandre (2017). "Application of flow cytometry to wine microorganisms", *Food Microbiology*, vol. 62: 221-231 [en línea]. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.10.023>>.
- Loyola, Rafael y Judith Zubieta (coords.) (2020). *Vaivenes entre innovación y ciencia. La política de CTI en México 2012-2018*. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa/Universidad Nacional Autónoma de México.

- Michelutti, Luca, Miechela Bulfoni y Emanuelle Nencioni (2020). "A novel pharmaceutical approach for the analytical validation of probiotic bacterial count by flow cytometry", *Journal of Microbiological Methods*, vol. 20. <<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105834>>.
- Montiel, María Araceli (2014). *Vínculos, transferencias y deseo de saber. Reconstrucción de trayectorias académicas de prestigio: tres casos de la UNAM*. Ciudad de México: ANUIES.
- Morales, Mario Alberto y Marcela Amaro (2017). "Panorama general de la biotecnología en México". En *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*, coordinado por Daniel Villavicencio, 33-67. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Morales, Mario Alberto y Marcela Amaro (coords.) (2019). *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*. Ciudad de México: Facultad de Economía, UNAM.
- Morales, Mario Alberto; Marcela Amaro y Federico Stezano (2029). "Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos". *Economía Teórica y Práctica*, Nueva Época, año 27, núm. 51: 14-44. doi: 10.24275/ETYP/UNAM/NE/512019/Morales.
- Muñoz, María Antonia (2012). *Biotecnología*. Bernal-Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Oyazún, Manuel (2017). "Medicina traslacional: un puente de plata entre las ciencias básicas y la medicina clínica", *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, vol. 33, núm. 2: 81-84 [en línea]. Disponible en <<http://dx.doi.org/10.4067/s0717-73482017000200081>>.
- Peraza, Sergio (2010). "La Unidad de Biotecnología". En *CICY: treinta años de labor científica y educativa*, coordinado por Luis del Castillo, Manuel Robert, Alfonso Larqué e Inocencio Higuera. Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Remedi, Eduardo y Ramírez, Rosalba (coords.) (2017). *Voces y ecos de trayectorias científicas*. Ciudad de México: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
- Safford, Hannah y Heather Bischel (2019). "Flow cytometry applications in water treatment, distribution, and reuse: A review". *Water Research*. doi:10.1016/j.watres.2018.12.016.
- Salomon, Jean-Jacques (2008). *Los científicos: entre poder y saber*. Bernal-Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Toboso, Mario (2014). "Perspectiva axiológica en la apropiación social de tecnologías". *Revista Iberoamericana CTS*, núm. 25, vol. 9: 33-51.
- Vaccarezza, Leonardo (2004). "El campo CTS en América Latina y el uso social de su producción". *Revista Iberoamericana CTS*, núm. 2, vol. 1: 211-218.

- Vaccarezza, Leonardo y Zabala, Juan Pablo (2002). *La construcción de la utilidad social de la ciencia. Investigadores en biotecnología frente al mercado*. Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Vanhauteghem, D., K. Demeyere, N. Callaert, A. Boelaert, G. Haesaert, K. Audenaert y E. Meyer (2017). "Flow cytometry, a powerful novel tool to assess viability of fungal conidia in metal working fluids". *Applied and Environmental Microbiology* 83 (16). doi:10.1128/aem.00938-17.
- Whitley, Richard (2012 [1984]). *La organización intelectual y social de las ciencias*. Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Zabala, Juan Pablo (2004): "La utilidad de los conocimientos científicos como problema sociológico". En *Producción y uso social de conocimientos. Estudios de sociología de la ciencia y la tecnología*, coordinado por Pablo Kreimer, Hernán Thomas, Patricia Rossini y Alberto Lalouf, 151-172. Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Zeng, Weizhu, Likun Guo, Sha Xu; Jian Chen y Jingwen Zhou (2020). "High-Throughput Screening Technology in Industrial Biotechnology". *Trends in Biotechnology*, doi:10.1016/j.tibtech.2020.01.001.

Conclusiones

Marcela Amaro Rosales

Detrás de este libro existen diversas motivaciones y es un claro ejemplo de la diversidad de enfoques analíticos y de la amplitud que conlleva hacer investigación sobre la biotecnología. El primer aspecto por destacar es la importancia de dos estructuras. La primera de ellas es la de mercado, ya que sin duda la tendiente concentración y centralización de capitales contribuye con la dinámica aplicada por las empresas multinacionales (EMN), las cuales imponen condiciones económicas y tecnológicas globales. La apropiación de las rentas derivadas de las innovaciones, las cuales provienen en muchas ocasiones del conocimiento científico que se desprende de las vinculaciones y colaboraciones con las universidades y los centros públicos de investigación plantean nuevas preguntas acerca de cómo establecer mecanismos que limiten la exfoliación del conocimiento y permitan, a la vez, estrategias de mayor autonomía científica que permeen en la solución de problemáticas sociales tan diversas como las relacionadas con la seguridad alimentaria, el manejo y control de los desastres ambientales, la salud humana y veterinaria, entre otras.

La segunda estructura es el entramado institucional que se compone por una diversidad de leyes, reglamentos y normas a muy distintos niveles, y que establecen una gobernanza que tiende a beneficiar también los intereses de las EMN, y que impacta de manera desigual a los actores. Ambas estructuras tienen una variedad de impactos sociales que se ven mezclados con factores como la desinformación o la

información de baja calidad, los intereses individuales y de grupo, entre muchos factores más.

Merece una mención particular el hecho de que este libro trata también de dar cuenta de que la biotecnología es mucho más que la transgénesis. En realidad, la biotecnología está compuesta por un numeroso tipo de tecnologías, donde la transgénesis es sólo una de ellas. Por ejemplo, en la actualidad, y debido a la crisis sanitaria por la COVID-19, se han difundido las distintas tecnologías utilizadas en la producción de las vacunas. A excepción de los grupos antivacunas, la población en general se muestra receptiva sobre los desarrollos, a pesar de que todos implican técnicas biotecnológicas. De hecho, a diferencia de los métodos basados en agentes patógenos íntegros atenuados, destruidos o con fragmentos, en esta ocasión se están desarrollando también vacunas basadas en el denominado “método genético” o “vacunas de ácidos nucleicos” en las cuales se utiliza una secuencia de material genético. Estas vacunas se basan en una técnica avanzada biotecnológica que permite a las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN) ser las instrucciones para fabricar proteínas específicas para que el sistema inmune induzca una respuesta ante la presencia del virus. Dado el tipo de biotecnología que se usa, podría esperarse que hubiese un amplio rechazo a su desarrollo, pero eso no ha sucedido.

Lo anterior podría responder a nuestras percepciones sobre la vida, pero también a lo que consideramos que es benéfico frente a lo dañino. En el caso de la biotecnología, se ha ido formando una serie de mitos y valoraciones que nos trastocan profundamente, por la estrecha relación con la vida y nuestra percepción de lo natural.

La biotecnología tiene tantas implicaciones y cruces transversales que suele ser complicado establecerlo como objeto de estudio bien delimitado. Al contrario, los límites suelen desdibujarse y entremezclar aspectos tan variados como la ética, la política, la economía, la ciencia y la técnica. En ese sentido, la biotecnología no puede verse y analizarse de forma endógena como una disciplina tradicional, ya que so-

bre ella pesan expectativas, pero también miedos que usualmente han conducido al establecimiento de dicotomías entre lo bueno y lo malo.

En ese sentido, este libro trata de superar dichas dicotomías al presentar una variedad de posiciones que se discuten a través de sus resultados de investigación y buscan contribuir con el debate contemporáneo. Sin duda, no se logra cubrir todos los frentes que se ven implicados con la biotecnología, pero se considera que se han planteado por lo menos tres ejes temáticos que permiten contextualizar el momento actual, así como plantear nuevas preguntas de investigación, o bien, responder a las preguntas clásicas desde nuevos paradigmas.

El país requiere del desarrollo científico y tecnológico de la biotecnología, pero también se necesita plantear prioridades para disminuir las distintas brechas que se van abriendo cada vez más. Sin duda, lo anterior requiere de un amplio consenso social y un debate plural que permita el avance científico y tecnológico y al mismo tiempo promueva condiciones de igualdad en el acceso y uso, y considere los impactos sociales, económicos y medio ambientales.

Sobre las autoras y los autores

Marcela Amaro Rosales

Investigadora de Tiempo Completo del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Doctora en Ciencias Sociales con especialidad en Economía y Gestión de la Innovación. Fue presidenta de la Red de Investigación y Docencia en Innovación Tecnológica (RIDIT) y es consejera científica del área de economía de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CibioGem). Coordinadora del Seminario de Estudios Interdisciplinarios sobre Ciencia, Tecnología e Innovación y del Seminario de Economía y Administración de la Ciencia y la Tecnología. Sus temas de investigación son los sectores emergentes, la transferencia tecnológica y aprendizaje, la innovación inclusiva e instituciones y las políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación. Pertenece al SNI en el nivel 1. ORCID 0000-0002-1647-8901

Andrea Bedoya López

Ingeniera biológica, magister en Biotecnología y doctora en Ciencias Biomédicas. Con más de cinco años de experiencia liderando equipos de trabajo científicos y técnicos en el campo académico y de servicios. Con experiencia en la implementación y mantenimiento de Sistemas de Gestión de Calidad, de acuerdo con los objetivos institucionales para lograr objetivos de crecimiento sostenido y posicionamiento. Formación integral, alta capacidad de liderazgo, trabajo metódico y enfocado a resultados. Habilidades para presentar y organizar grandes volúmenes de información con el uso de herramientas

ofimáticas y ajustadas al trabajo colaborativo. Capacidad para el trabajo con un mínimo de supervisión y en equipos multidisciplinarios con objetivos comunes.

Rosalba Casas Guerrero

Socióloga por la UNAM-México; maestra en Historia y Sociopolítica de la Ciencia en la Universidad de Montreal, Canadá y doctora en Políticas de Ciencia y Tecnología en la Universidad de Sussex, Inglaterra. Investigadora titular “C” de tiempo completo en el Instituto de Investigaciones Sociales, de la IIS-UNAM; investigadora del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias. Fue directora del IIS-UNAM entre 2005-2013. Su trabajo de investigación se ha concentrado en: historia de la política científica y tecnológica; impactos socioeconómicos de las nuevas tecnologías, en particular de la biotecnología; redes y flujos en la generación e intercambio de conocimiento; conocimiento, desarrollo regional e inclusión social. Es integrante y fundadora de Asociación ESOCITE, de la cual fungió como presidenta para el periodo (2016-2018).

Nancy Cuevas Mercado

Doctora en Estudios del Desarrollo por la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), maestra en Investigaciones Humanísticas y Educativas (UAZ) y licenciada en Economía (UAZ). Sus líneas de investigación actualmente son ciencia, tecnología, innovación y sociedad; especialmente, biotecnología en salud y vacunas, así como análisis de y para la política pública.

Michelle Chauvet Sánchez Pruneda

Su formación académica la inició en la carrera de Periodismo y Comunicación Colectiva en la UNAM, continuó con la maestría y doctorado en Economía en la misma institución. Profesora-investigadora del Depto. de Sociología, UAM- A desde 1981, SNI nivel III. En 1993 obtuvo el Premio a la Docencia, en 2010 el premio a las Áreas de Investigación y en 2011 fue nombrada profesora distinguida de la UAM.

Sus líneas de investigación han sido los efectos sociales de la biotecnología en la agricultura y el medio ambiente; la seguridad alimentaria y estudios sociales de la ciencia y la tecnología. Formó parte del Consejo Consultivo de Bioseguridad, de la Cibio gem, de 2000 a 2004. En 2009, fue invitada a colaborar como docente en el programa de doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad del Cinvestav-D.F. ORCID 0000-0002-6498-4147.

Rebeca de Gortari Rabiela

Socióloga por la UNAM y doctora en Historia por la Escuela de Altos Estudios en Ciencias Sociales de París, Francia. Es investigadora Titular en el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Pertenece al SNI. Sus líneas de investigación son: Sociología de la ciencia y la tecnología, Innovación y desarrollo tecnológico y redes de conocimiento. Imparte cursos y dirige tesis a nivel licenciatura y posgrado y cuenta con una amplia producción académica de libros, capítulos y artículos. Sus trabajos más recientes son *Políticas globales y prácticas locales para el cuidado del medio ambiente en México, España y Estados Unidos*, IISUNAM/Bonilla Eds., “La inversión pública para el fomento de las capacidades tecnológicas”, en *Vaivenes entre innovación y ciencia. La política de CTI en México 2012-2018*, coordinado por R. Loyola y J. Zubieta, UNAM/M. A. Porrua y “Rural entrepreneurship and small businesses in Mexico”, en A. Almaraz y O. Montiel, *The history of entrepreneurship in Mexico: contextualizing theory, theorizing context*. Emerald Publishing.

Arcelia González Merino

Investigadora-profesora de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, en el departamento de Sociología, en el área de Impactos Sociales de la Biotecnología, desde 2007. A partir de 1994 y hasta marzo de 2021 ha centrado su investigación en los temas de impacto socioeconómico de la biotecnología agrícola, propiedad intelectual y bioseguridad sobre la materia viva en América Latina y en el plano mundial.

César Guzmán Tovar

Sociólogo de la Universidad Nacional de Colombia; magíster en Investigación en Problemas Sociales Contemporáneos por la Universidad Central (Colombia) y doctor en Investigación en Ciencias Sociales con mención en Sociología por la Flacso-México. Actualmente, es investigador posdoctoral del Conacyt en el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Desde 2018 es profesor en el Programa de Posgrado en Filosofía de la Ciencia de la UNAM en el área de Estudios filosóficos y sociales sobre la ciencia y la tecnología. A partir de 2019 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México. Es miembro del grupo de trabajo “Ciencia y sociedad” del Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (Clacso).

Juan Luis Hernández Pérez

Es investigador del Instituto de Investigaciones Sociales UNAM. Doctor en Ciencias Políticas y Sociales por la UNAM, graduado con mención honorífica, maestro en Desarrollo Regional por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), y licenciado en Economía por la UNAM, en donde recibió también la distinción de mención honorífica. Al finalizar sus estudios de posgrado realizó una estancia posdoctoral en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadores (nivel Candidato). Recibió el Premio Nacional de Economía Agrícola “Ernest Feder 2018”. Sus líneas de investigación son: el sistema agrícola mexicano en el contexto de la globalización, en particular sobre el impacto socioeconómico y ambiental de las innovaciones tecnológicas y sociales en la agricultura del país. Es profesor de la Facultad de Economía y de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM.

Rubén Oliver Espinoza

Doctor en Ciencias Sociales por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Profesor investigador del Instituto Politécnico Nacional, coordinador de la especialidad en Gestión Estratégica de la Innovación y de la Propiedad Industrial (PNPC, posgrado de nueva creación)

y coordinó la maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico (PNPC, actualmente como programa consolidado). Ha dirigido 14 tesis de maestría e impartido asignaturas teóricas y prácticas en maestría y especialidad. Coordinó la Red Temática Conacyt Convergencia del Conocimiento para Beneficio de la Sociedad. En materia de vinculación, ha colaborado con la Agencia Espacial Mexicana, el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del estado de Hidalgo y el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial. Investigador nacional (SIN I) en materia de cambio tecnológico e innovación.

Jaime Enrique Padilla Acero

Editor ejecutivo de la revista *Biotecnología en Movimiento* del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Fue director científico de Agro BIO México, consultor independiente, y participó en la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem). Actualmente es técnico académico adscrito al área de Vinculación del Instituto de Biotecnología, UNAM. Cuenta con diversas publicaciones especializadas en el tema de biotecnología y regulación, en específico para México.

Eduardo Robles Belmont

Investigador Titular en el Laboratorio de Redes del Departamento de Modelación Matemática de Sistemas Sociales del IIMAS, UNAM. Su investigación se centra en la producción de nuevos indicadores de la ciencia y la tecnología; la emergencia y desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías y sus relaciones con la sociedad; así como la teoría y metodología del análisis de redes sociales y la visualización de datos. Es coordinador del Seminario de Estudios Interdisciplinarios de Ciencia, Tecnología e Innovación y miembro de la Comisión Directiva de la Sociedad Latinoamericana de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología; ha participado en diversos proyectos y redes de investigaciones nacionales e internacionales. Además, imparte cursos y dirige tesis en posgrados en la UNAM y el Cinvestav-IPN.

Myrsia Eliany Sánchez Goicochea

Maestra en Economía con especialidad en Economía de la Tecnología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora adjunta de la Facultad de Economía (UNAM) en las materias de Introducción a la teoría económica y Economía de la empresa. Colaboró en el proyecto PAPIIT “Capacidades tecnológicas, instituciones e innovación en la biotecnología agroindustrial y farmacéutica en México”, y con la empresa CamBioTec en proyectos de consultoría. Sus temas de investigación están relacionados a las capacidades tecnológicas, cadenas de valor, biotecnología, recursos naturales, inteligencia tecnológica, sociedad, y economía.

Talía Santana Quintero

Economista por la Escuela Superior de Economía del IPN y maestra en Política y Gestión del Cambio Tecnológico por el Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales (CIECAS-IPN). Actualmente doctorante de la UAM Xochimilco en el área de Economía y Gestión de la Innovación, en los temas de transferencia de conocimiento tecnológico, intermediación y proximidad entre agentes.

Manuel Soria López

Licenciado en Economía (UAM-Iztapalapa), maestro en Ciencias de la Comunicación (Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM), doctor en Estudios Organizacionales (UAM -Iztapalapa) y miembro del SNI nivel 1. Es profesor e investigador del Departamento de Producción Económica y del Posgrado en Economía y Gestión de la Innovación, así como integrante del Área de Economía Industrial e Innovación de la UAM-Xochimilco en la Ciudad de México. El tema central de su investigación es la economía y organización de la innovación, la propiedad intelectual, las patentes y el conocimiento tradicional en México y los países desarrollados y en desarrollo. Ha publicado dos libros, diversos artículos y ensayos sobre temas de propiedad intelectual y patentes en México, así como sobre los procesos de innovación en las organizaciones públicas de I+D en México.

Federico Andrés Stezano Pérez

Doctor en Sociología y miembro del Nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores desde 2011. Actualmente es oficial de Asuntos Económicos de CEPAL-México. Ha sido profesor e investigador en CIECAS-IPN, UAM-Cuajimalpa, Flacso-México, Infotec y Tecnológico de Monterrey. Fue creador y coordinador entre 2014 y 2016 de la Red Temática Convergencia del conocimiento en beneficio de la sociedad auspiciada por Conacyt. Sus líneas de investigación articulan el estudio de los procesos de innovación, la convergencia tecnológica y la transferencia de conocimiento, las políticas industriales y de innovación, el cambio estructural y el papel del Estado como agente productivo. ORCID 0000-0001-5450-6339.

*Aspectos socioeconómicos e institucionales
de la biotecnología en México,*

editado por el Instituto de Investigaciones Sociales
de la Universidad Nacional Autónoma de México,
se terminó de imprimir en febrero de 2023,
en los talleres de Gráfica Premier, S.A. de C.V.,
calle 5 de Febrero núm. 2309, Col. San Jerónimo,
C.P. 52170, Chichahualco, Metepec, Estado de México.

La composición tipográfica se hizo en

Tisa Pro (10.5/15, 9.5/15 pts.)

y Lemon Sans Next (17/20, 11.5/15, 8.5/11 pts.).

La edición en offset consta de 500 ejemplares
en papel bond ahuesado de 90 gramos.

Este libro presenta un análisis de las dinámicas sociales y económicas en la producción de la biotecnología en México. A partir de una diversidad de enfoques sociales y en la búsqueda de contribuir al debate académico de las últimas décadas sobre biotecnología, se discuten las implicaciones que tiene para la solución de problemas y necesidades en áreas como la salud y la alimentación, entre otras. También se plantean los posibles efectos adversos implicados en términos de apropiación científica y tecnológica, la explotación de ciertos recursos naturales y la ampliación de brechas entre los diversos actores que intervienen en su desarrollo, producción y consumo.

Los capítulos que componen la obra *Aspectos socioeconómicos e institucionales de la biotecnología en México* son resultado de un esfuerzo analítico multidisciplinario que busca contribuir y promover el diálogo entre dos importantes tradiciones: los estudios de la economía de la innovación y los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad. Se trata de una invitación que pretende trazar nuevos debates y preguntas que permiten enriquecer las investigaciones sobre la biotecnología, con el fin de seguir construyendo conocimiento y evidencia sobre las implicaciones, oportunidades y riesgos que una tecnología tan relevante como esta puede tener en la sociedad y su entorno.



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
SOCIALES

