

*La Biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* es el resultado del trabajo colectivo que los distintos autores de los capítulos que componen este libro, a través de varios años de estudio del sector biotecnológico. La singularidad de este libro radica en el uso de diversos enfoques teóricos y metodológicos con los que se abordan el objeto de estudio, tales como: análisis de grafos, políticas públicas, cadenas globales de valor, ejercicios econométricos, etcétera. El lector tiene en sus manos una importante síntesis actual sobre las características de la innovación, las diversas estrategias empresariales y el entramado institucional de la biotecnología en México. El libro aporta discusiones e hipótesis relevantes para todos aquellos interesados en el análisis de dicha tecnología emergente, sus componentes y dinámicas.

Mario Alberto Morales Sánchez es Secretaría General de la Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, donde también es Profesor de Tiempo Completo.

Marcela Amaro Rosales es Investigadora en el Instituto de Investigaciones Sociales y Profesora del área de Economía de la Tecnología del Posgrado de Economía de la UNAM

ISBN 978-607-30-2106-7



9 786073 021067



## LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Mario Alberto Morales Sánchez  
Marcela Amaro Rosales  
(Coordinadores)



# LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Innovación tecnológica, estrategias competitivas  
y contexto institucional

Mario Alberto Morales Sánchez  
Marcela Amaro Rosales  
(Coordinadores)







# **LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO**

**Innovación tecnológica, estrategias competitivas  
y contexto institucional**



# LA BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Innovación tecnológica, estrategias competitivas  
y contexto institucional

Mario Alberto Morales Sánchez  
Marcela Amaro Rosales  
Coordinadores



Facultad de Economía, UNAM  
México | 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

Enrique Luis Graue Wiechers	<i>Rector</i>
Leonardo Lomelí Vanegas	<i>Secretario General</i>
Mónica González Contró	<i>Abogada General</i>
Leopoldo Silva Gutiérrez	<i>Secretario Administrativo</i>
Alberto Ken Oyama Nakagawa	<i>Secretario de Desarrollo Institucional</i>
Raúl Arcenio Aguilar Tamayo	<i>Secretario de Prevención y Atención a la Seguridad Universitaria</i>

FACULTAD DE ECONOMÍA

Eduardo Vega López	<i>Director</i>
Mario Alberto Morales Sánchez	<i>Secretario General</i>
María del Carmen Aguilar Mendoza	<i>Secretaria Administrativa</i>
Juan M. M. Puig Llano	<i>Coordinador de Publicaciones</i>

---

Este libro se inscribe en el Proyecto “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano”, con el número IN307116 financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM.

Diseño de portada: MARÍA FERNANDA ROMERO RODRÍGUEZ

D.R. © 2019, Facultad de Economía,  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria, 04510 México, D. F.

Primera edición: 13 de agosto de 2019

ISBN: 978-607-30-2106-7

Impreso y hecho en México/Printed and made in Mexico.

“Prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización por escrito de los autores”

## Contenido

### **Introducción**

Mario Alberto Morales Sánchez  
y Marcela Amaro Rosales 9

### Capítulo 1

#### **Perspectiva general y delimitación del sector biotecnológico desde la economía de la innovación**

Mario Alberto Morales Sánchez  
y Héctor Eduardo Díaz Rodríguez 23

### Capítulo 2

#### **Los desafíos de las políticas de innovación en México**

Daniel Hugo Villavicencio Carbajal 53

### Capítulo 3

#### **Breve panorama de la innovación biotecnológica en México**

Carlos Fabian Flores-Jasso  
y Selma Eréndira Avendaño-Vázquez 93

### Capítulo 4

#### **Industria biotecnológica, concentración y oportunidades para las empresas mexicanas en el panorama mundial de encadenamientos productivos**

Marcela Amaro Rosales  
y Seyka Verónica Sandoval Cabrera 127



Capítulo 5 <b>Políticas de ciencia, tecnología e innovación para la industria farma-biotecnológica mexicana</b> Federico Andrés Stezano Pérez	171
Capítulo 6 <b>Biotecnología agroindustrial y alimentaria en México, entre grandes empresas y pequeños productores</b> Marcela Amaro Rosales	211
Capítulo 7 <b>El sector biotecnológico en México; estructura, entorno y política industrial para su desarrollo</b> <b>Un análisis de teoría de grafos</b> Héctor Eduardo Díaz Rodríguez y Mario Alberto Morales Sánchez	243
Capítulo 8 <b>Capacidades y desempeños de innovación en empresas biotecnológicas de México</b> Rubén Oliver Espinoza y Federico Andrés Stezano Pérez	271
<b>Conclusiones</b>	321

## INTRODUCCIÓN

MARIO ALBERTO MORALES SÁNCHEZ

MARCELA AMARO ROSALES

Este libro es resultado del trabajo colectivo realizado por un conjunto de profesores e investigadores a partir del proyecto auspiciado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM): “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano IN307116”. El cual surge de diversas preocupaciones que han guiado nuestro trabajo como grupo de investigación y de manera individual. Por lo tanto, es un proyecto que busca dar seguimiento a las líneas de investigación que hemos desarrollado con el objetivo fundamental de analizar al sector biotecnológico en México desde diversas perspectivas teóricas y metodológicas.

El propósito general de este trabajo es contribuir al análisis y comprensión del sector, particularmente de las estrategias empresariales y tecnológicas que las empresas mexicanas han seguido en el contexto global, en un ámbito en el que domina una estructura de mercado oligopólica con fuertes tendencias a la concentración. Nuestra preocupación versa en torno a las posibilidades reales de

inserción a nivel mundial de las empresas mexicanas. Lo anterior, a partir de diversas consideraciones que se han formulado desde organizaciones internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) que han establecido diversas agendas relacionadas con el desarrollo de la biotecnología bajo la idea de su importancia como motor potencial de crecimiento económico, el cual, a través de procesos innovadores materializados por las empresas, puede contribuir de manera destacada a la solución de problemas sociales, medio ambientales, alimentarios y de salud, entre algunos otros.

Antes de plantear las preguntas que han guiado nuestras reflexiones y trabajos, es importante definir el objeto de estudio. Existen diversas definiciones de lo que es la biotecnología, en este trabajo seguimos la propuesta formulada por la OCDE. La cual plantea que la biotecnología es

la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a sus partes, productos y sus modelos, para modificar materiales vivos y no vivos para la producción de conocimientos, bienes y servicios (Van Beuzekom y Arundel, OCDE, 2006 y 2009).

La anterior definición nos permite concentrarnos únicamente en lo que ha sido denominado “biotecnología moderna” ya que es aquella que potencialmente cuenta con una serie de características que la hacen susceptible de convertirse en procesos y productos capaces de proveer respuestas comerciales e innovadoras.

Consideramos también que la biotecnología es una tecnología relevante ya que, en el marco de la denominada economía del conocimiento, podría representar soluciones a muy diversas problemáticas asociadas a los cambios productivos que indiscutible-

mente están sucediendo día a día. No sólo partimos de la idea de que la biotecnología es relevante como tecnología *per se*, sino como una tecnología que permite transformaciones a través de las innovaciones asociadas a ella.

Este trabajo también busca discutir y reflexionar acerca de lo que se ha convertido en una constante discursiva en la política científica y tecnológica, la cual apela a que las tecnologías emergentes –entre ellas la biotecnología– representan una ventana de oportunidad para países como México, pues contamos con una amplia biodiversidad y dotación de recursos naturales que son tentativamente una fuente de experimentación y abasto de material genético que sirve como base para muchas de las investigaciones y desarrollos biotecnológicos. Pero es justo con este discurso que el libro pretende discutir, ya que existen una serie de condiciones para el desarrollo del sector que no han sido consideradas adecuadamente, como la estructura económica global en la que la biotecnología está inmersa y el marco institucional que la soporta; además de las particularidades de una tecnología que, si bien tiene una serie de potencialidades inimaginables, también representa un reto en términos de regulación económica, medioambiental, de salud, ética y de aceptación social.

Desde la perspectiva de las revoluciones tecnológicas, la biotecnología, junto con otras tecnologías emergentes como la nanotecnología y la genómica podrían ser la revolución tecnológica que permita, a través del insumo clave que es el material genético –ácido desoxirribonucleico ADN–, recomponer el ciclo del capital productivo y lograr crecimiento sostenido mediante el abaratamiento de las materias primas o la creación de insumos biotecnológicos que permita redefinir a las industrias existentes y crear nuevas. Es en este contexto que planteamientos como el de Carlota Pérez (2004) o el de

Jorge Katz (2018), han cobrado relevancia para los países en vías de desarrollo, ya que apoyados en dicha premisa han argumentado a favor de una estrategia de desarrollo basada en el uso y explotación de los recursos naturales fundamentalmente para el progreso tecnológico. Si bien, en términos amplios consideramos que la biotecnología podría representar ventanas de oportunidad para México, también se plantea la importancia de formular el análisis en un contexto global que permita dilucidar objetivamente esas oportunidades. Es por ello por lo que ha resultado fundamental en este libro repensar constantemente sobre las estrategias tecnológicas y empresariales que las empresas biotecnológicas en el país han llevado a cabo de manera exitosa y definir cuáles han sido las principales falencias, obstáculos y barreras en su camino.

Para países como México, la importancia de promover y desarrollar la biotecnología radica en el papel fundamental que tiene la generación de ventajas competitivas basadas en procesos innovadores. El mundo está inserto en una dinámica donde, si bien el conocimiento siempre ha sido importante, hoy en día ha cobrado una relevancia mayor dado que es un factor productivo que permite cambios radicales y es fuente de competitividad, siempre y cuando éste se convierta en procesos o productos innovadores. Es por ello que uno de los hechos más relevantes de la vida moderna es el descubrimiento del ADN y su secuenciación, ya que ello planteó la posibilidad de contar con una nueva base de conocimiento científico y tecnológico con grandes repercusiones en los sectores productivos tradicionales.

A pesar de los potenciales benéficos que la biotecnología podría representar en términos agrícolas, alimentarios, medioambientales e industriales; también expresa una gran desigualdad en el ámbito económico, principalmente con respecto al acceso, uso y explotación.

Los derechos de propiedad intelectual (DPI), han establecido reglas del juego a nivel internacional que limitan el acceso a las invenciones y a los desarrollos innovadores al generar espacios de poca competencia, es decir, áreas industriales con fuerte presencia dominante de un pequeño grupo de empresas que a nivel mundial son los jugadores dominantes. La concentración de poder a través de los DPI es un hecho innegable que obliga a los pequeños jugadores a adaptarse a las reglas impuestas desde las grandes corporaciones, las cuales usualmente los sitúa en posiciones desventajosas frente a la capacidad de un grupo de empresas internacionales que dominan mercados, tecnologías y oportunidades.

La biotecnología, además representa un reto metodológico en sí misma ya que es una tecnología convergente, que nos obliga a redimensionar el análisis en términos de la definición de agentes, dinámicas y resultados. Su complejidad no sólo radica en la estructura multidisciplinar que le da forma, sino en la multiplicidad de agentes que requiere y la diversidad de recursos que demanda –científicos, tecnológicos y financieros–. Es por ello que analizar a las empresas biotecnológicas en México no sólo implica repensar el desempeño clásico de la empresa, sino también el tipo de relaciones que se entrelazan con su entorno o, como aquí se ha denominado, la dinámica institucional. Entender dicha dinámica institucional implica la comprensión de que analizar y estudiar el sector biotecnológico de manera aislada es imposible, se requiere considerar el contexto para identificar patrones asociados a las estrategias que las empresas han llevado a cabo, además de distinguir la problemática que enfrentan de acuerdo a sus particularidades.

Planteado el escenario anterior, *Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano* versa alrededor de una serie de interrogantes que son de-

sarrolladas a lo largo del libro: ¿Puede la biotecnología representar una ventana de oportunidad para las empresas mexicanas, dado el contexto económico global? ¿Qué tipo de estrategias tecnológicas y empresariales han seguido las empresas mexicanas relacionadas con la biotecnología?

En este punto es preciso referir una de las principales problemáticas al abordar el objeto de estudio sobre estos temas es que, lamentablemente, en México no se cuenta con mecanismos estandarizados de recopilación de información sobre el sector biotecnológico; 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. Esto ha representado desde hace mucho tiempo un verdadero reto, ya que la única manera de analizarlo es ir construyendo información sobre el tema. En ese sentido, este libro ha aprovechado el esfuerzo previo realizado por la red temática financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) “Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad”, en donde se han llevado a cabo diversas iniciativas para construir y recopilar información sobre la biotecnología. Aunado a esto, la gran mayoría de los integrantes del proyecto hemos realizado incesantemente trabajo de campo basado en entrevistas a muy distintos agentes, lo cual nos ha permitido avanzar en la discusión que aquí se plantea.

En síntesis, este libro representa un esfuerzo de elaboración conjunta desde una perspectiva multi y transdisciplinar que reflexiona desde la economía de la innovación hacia el desarrollo económico en México, al ir enfatizando la naturaleza de un sector con la potencialidad de transformar radicalmente el ámbito productivo en los próximos años. Por primera vez en la historia

de la humanidad enfrentamos un paradigma tecnológico que potencialmente posee la facultad no sólo de alterar los procesos materiales mediante los cuales producimos y consumimos bienes y servicios, sino de modificar la constitución biológica misma de la materia viva; lo cual abre un conjunto de oportunidades económicas importantes, pero también grandes retos y posibles amenazas. Es por ello que el análisis del sector debe realizarse mediante la elaboración conjunta de especialistas en diversas disciplinas como la economía, ciencias de la vida, sociología y la biotecnología. En este libro se ofrece esta perspectiva multi y transdisciplinar, pero además lo hace al aprovechar un conjunto de herramientas teórico-metodológicas propuestas desde la economía de la innovación para el estudio de sectores emergentes que serán expuestas en cada uno de los capítulos como: la perspectiva de sistemas de innovación, de la triple hélice, cadenas globales de valor; así como herramientas de corte cuantitativo y cualitativo como el uso de modelos econométricos, teoría de grafos, aplicación de encuestas y realización de entrevistas.

Los trabajos que se presentan en este libro y que se reseñan a continuación, abordan la problemática de manera sintética en esta introducción. En el primer capítulo se presentan los ejes teóricos y analíticos que permean a lo largo de toda la obra; básicamente se sitúa el tema de la biotecnología desde la perspectiva de la economía de la innovación, como un sector emergente, transversal e intensivo en conocimiento; cuyo despliegue puede contribuir de manera potencial con el desarrollo económico del país, mediante la generación y extensión de actividades innovadoras. Dentro de esta caracterización se desarrollan las particularidades de las empresas biotecnológicas cuyo principal insumo es el conocimiento científico generado por los agentes que constituyen el sistema de innovación



biotecnológico, lo cual no sólo determina las estrategias seguidas por las empresas basadas en la valoración del conocimiento sino también la constitución misma del sector: segmentos de mercado de carácter oligopólico dominados por grandes corporaciones transnacionales que se combinan con algunas ventanas de oportunidad para empresas emergentes en nichos de mercado específicos. Se aborda también una comparación del caso mexicano con respecto a otros países de la OCDE, al tomar en consideración indicadores clave, como el número de empresas, gasto en investigación y desarrollo (I+D) y generación de patentes, y se ofrece un panorama claro sobre la gran brecha tecnológica actual entre México y los países líderes en el desarrollo biotecnológico.

En el segundo capítulo se plantea una discusión general sobre el carácter actual de la política de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en México. El texto ofrece elementos para comprender el papel que juegan las instituciones encargadas de diseñar y ejecutar las políticas públicas orientadas al diseño de incentivos para la innovación, situada en el marco analítico de los sistemas regionales de innovación. Se enfatiza sobre la naturaleza misma de la innovación tecnológica que ayuda a comprender la singularidad de la biotecnología abordada en los capítulos siguientes. Las características que se expresan en este capítulo con respecto a la política de CTI en México son la falta de recursos para apoyar a las empresas que intentan realizar innovaciones tecnológicas; como la falta de coordinación entre los distintos programas existentes o la ausencia de evaluación real de los impactos que se han logrado, pues ello ha ocasionado la falta de participación privada en el sector.

Al retomar el análisis anterior y aplicarlo al caso particular del sector biotecnológico, el tercer capítulo aborda la problemática institucional para el desarrollo del sector en México. Se parten

del marco conceptual de la *triple hélice*, describe de manera clara el papel que juegan las universidades, empresas y los hacedores de políticas públicas en la construcción conjunta de la innovación en biotecnología. Destaca que uno de los principales obstáculos para el desarrollo innovador es la falta de un lenguaje común entre los diversos agentes que colaboran en el sistema, este hecho resulta aún más notorio en el caso de la biotecnología al ser, como se ha mencionado, una disciplina intensiva en conocimiento y cuyo principal insumo es el conocimiento científico. Esta mirada se complementa con el análisis de otras organizaciones fundamentales para el engranaje y buen funcionamiento del sistema de innovación, particularmente las oficinas de transferencia en el ámbito académico y los parques tecnológicos; que tienden a fomentar el acercamiento entre empresas y universidades; así como para contribuir en la construcción de un lenguaje común y un reconocimiento mutuo. Este capítulo no sólo aporta un mejor entendimiento de lo que es la biotecnología y cómo debiera funcionar en el mercado –a través de la propiedad intelectual, por ejemplo– desde la perspectiva de biotecnólogos, sino que, además, propone valiosas reflexiones desde el ámbito científico, cuya preocupación principal es mejorar el sistema de relaciones entre los agentes que participan en la generación de conocimiento en el sector.

Por su parte, el cuarto capítulo analiza la industria biotecnológica mediante el uso la metodología de las cadenas globales de valor, lo cual le permite plantear la dinámica del mercado, identificar a los agentes económicos y situar en el contexto global a las empresas mexicanas, para ir reflexionando acerca de las oportunidades para acceder y considerar las particularidades que presenta la biotecnología, por ejemplo, la tendencia a la concentración y a las estructuras de gobernanza verticales. El objetivo es caracteri-

zar la cadena de valor, identificar a las empresas líderes y especificar las posibilidades de escalamiento de las empresas mexicanas. La hipótesis es que dado el tipo de cadena y mercado que se ha estructurado en la biotecnología, los espacios abiertos para integrarse en la cadena global de valor son reducidos, presentan altas barreras a la entrada y desventajas asociadas a los requerimientos financieros; por tanto, la estrategia más factible es aprovechar los nichos de mercado que se denominan como “olvidados” o de bajo interés para las empresas líderes, aunque ello signifique insertarse en eslabones de bajo valor. En síntesis, el capítulo presenta una interesante discusión que permite contextualizar a las empresas mexicanas en consideración con la estructura global productiva y la característica fundamental de la biotecnología como industria que tiende a la concentración y al oligopolio.

El quinto y sexto capítulos ofrecen una perspectiva sectorial del desarrollo de la biotecnología en México, en dos subsectores de gran importancia para el país: el farmacéutico y el agrícola. En primer lugar, el quinto capítulo estudia las posibilidades de escalamiento productivo y de inserción industrial en el sector bio-farmacéutico en México. A través de un análisis productivo e institucional del subsector se realiza un análisis comparativo a nivel internacional en cuanto a la intensidad tecnológica de las empresas mexicanas y el gasto que realizan en investigación y desarrollo (I+D), así como el nivel de patentamiento y de vinculación. En cuanto a la estructura institucional se analiza el nivel de regulación y el grado de avance en la legislación sobre propiedad industrial en el ámbito nacional. El estudio concluye con señalar las principales características de la industria y enfatiza el hecho de que existe un predominio de las empresas nacionales en sectores tradicionales con poca oportunidad de escalamiento productivo. Esto es

así debido –principalmente– a una insuficiente inversión pública y privada en I+D, así como a una carencia de eslabonamientos productivos y vínculos con los agentes productores de conocimiento (principalmente universidades y centros de investigación) que permitan generar un ecosistema adecuado que fomente procesos de innovación. Quizá el principal problema sea la existencia histórica de mercados oligopólicos en los que las empresas mexicanas tienen un papel de subordinación tecnológica y cognitiva respecto de los grandes conglomerados transnacionales. Este escenario ha provocado una dependencia tecnológica de productos, procesos e insumos extranjeros que dificulta el desarrollo de procesos endógenos de aprendizaje. Ante la falta de incentivos públicos a la innovación y la carencia de un mercado financiero que establezca incentivos de mercado para el desarrollo de las empresas nacionales, ha persistido una tendencia a la especialización en sectores de bajo valor agregado como los medicamentos biosimilares. De seguir esta tendencia, el país perderá la oportunidad de insertarse en el paradigma emergente de la biotecnología en el subsector farmacéutico.

Dentro de la misma dinámica sectorial se analiza el subsector agroindustrial y alimentario, se plantea que el objetivo es identificar y analizar el tipo de empresas del sector que realizan algún tipo de biotecnología, para así poder identificar la estructura productiva y tecnológica. Se pretende problematizar uno de los grandes temas del sector en México, ya que la polarización entre los pequeños productores agrícolas y las empresas agroindustriales ha determinado –en gran medida– la dinámica de apropiación y desarrollo tecnológico en general a lo largo de la historia mexicana en el contexto actual, también determina las posibles oportunidades que la biotecnología brinda a los agentes productivos del

sector. En el capítulo se presenta una propuesta metodológica con respecto al objeto de estudio, ya que como se ha planteado en varios capítulos, analizar la biotecnología como una tecnología emergente susceptible de aplicación en diversos sectores económicos se enfrenta ante la disyuntiva de la construcción del objeto de análisis. En este caso, se plantea que hay diversos tipos de empresas del sector agroindustrial y alimentario en relación con la biotecnología; se retoman caracterizaciones planteadas en otros capítulos de este mismo libro y, a través de la construcción de información propia, se muestra parte de la dinámica en el sector. Se considera que el subsector agro-biotecnológico es fundamental ya que podría representar un área real de desarrollo, uso y explotación de la biotecnología en México. Cabe mencionar que la hipótesis del capítulo plantea que si bien la absorción y desarrollo de capacidades biotecnológicas para las empresas agroindustriales y alimentarias en México puede representar una oportunidad para el aumento de la productividad de dichas empresas, también existe el riesgo de ampliar aún más la brecha tecnológica y productiva con los pequeños productores agrícolas, convirtiéndolos en dependientes o bien, excluidos tecnológicos. Dicha hipótesis aún está en discusión, sin embargo, se aportan ideas relevantes que pueden transformarse a futuro en recomendaciones de políticas públicas diferenciadas, dada la disparidad productiva existente en el sector.

Finalmente, para concluir el libro, se presentan dos análisis desde la perspectiva empresarial, basados en la *Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México*, levantada en el marco de la Red Temática de Conacyt: *Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad*, de la cual forman parte los autores de este libro. El objetivo de esta encuesta fue recabar información sobre las capacidades tecnológicas con

que cuentan las empresas productoras de biotecnología moderna en México, excluyendo aquellas que, o bien son usuarias de biotecnología, o producen biotecnología tradicional; por lo que es una encuesta pionera en el ámbito nacional.

En primer lugar, el capítulo 7 se presenta una panorámica general de las empresas de biotecnología en México mediante la teoría de grafos. Los hallazgos más importantes apuntan a concluir que las empresas nacionales presentan una baja dependencia de insumos importados, por lo que el valor agregado que reportan es alto comparado con otros sectores industriales. Por otra parte, se constató que el sector público tiene una importancia fundamental en la producción privada de tecnología en el sector, lo cual se manifiesta por la vía de dos canales principales: el financiamiento público que se canaliza a través de diversos programas de fomento a la innovación; y por medio de la derrama de conocimiento proveniente de instituciones de educación superior. No obstante, un aspecto interesante que vale la pena destacar es que, del cúmulo total de conocimiento empleado por las empresas para generar innovación tecnológica, la mayor proporción proviene de la empresa misma y, en segundo lugar, de las instituciones de educación superior; lo cual implica que el sector industrial presenta aún una escasa interacción e interdependencia con su entorno. Cuando las empresas llegan a vincularse con otras organizaciones, lo hacen mediante acuerdos formales de colaboración. Un aspecto importante es la escasa vinculación que presentan las empresas con el sector financiero, y reafirma que no existe un mercado de capitales indispensable para el desarrollo del sector. En suma, las conclusiones en materia de política pública derivadas de este análisis son muy fructíferas: no existen dependencias o mecanismos institucionales que fomenten y mantengan los lazos de cohesión institucionales necesarios para el dinamismo del sector.

Al seguir con el análisis del sector a nivel empresa, en el capítulo 8 se presenta un estudio econométrico para medir las capacidades de ciencia, tecnología e innovación del sector biotecnológico con base en la encuesta referida. Los resultados obtenidos ratifican estudios estadísticos similares que se han realizado en otros contextos nacionales. En primer lugar, se verifica una relación positiva entre la probabilidad de que las empresas introduzcan nuevos procesos y productos al mercado y el grado de madurez tecnológica-productiva con que cuentan: a un mayor nivel de consolidación productiva, aumenta la probabilidad de generar innovaciones. Otro aspecto importante que se demuestra en este capítulo es que la probabilidad de innovar por parte de las empresas biotecnológicas mexicanas, crece con el aumento de sus capacidades de absorción de conocimiento proveniente de otras organizaciones. Finalmente, se plantea que las capacidades de gestión internas en las empresas no tienen impacto en la creación de innovaciones, lo cual contraviene una rama importante de la literatura existente. Estos hallazgos permiten reforzar las recomendaciones de política pública tendientes a fortalecer la vinculación que existe entre los diversos agentes que constituyen el sector biotecnológico y, particularmente los vínculos entre las propias empresas.

Si bien, el conjunto de la obra presenta un panorama extenso sobre las características, alcances, retos y oportunidades en el sector biotecnológico en México, se espera que su contribución principal sea fomentar de manera activa el debate sobre una verdadera política industrial en la que se considere el impulso de sectores intensivos en conocimiento, como parte de una agenda integral para el desarrollo económico.

# PERSPECTIVA GENERAL Y DELIMITACIÓN DEL SECTOR BIOTECNOLÓGICO DESDE LA ECONOMÍA DE LA INNOVACIÓN

MARIO ALBERTO MORALES SÁNCHEZ  
HÉCTOR EDUARDO DÍAZ RODRÍGUEZ

## I. Introducción: innovación y desarrollo

El proceso de innovación tecnológica es el principal impulso del desarrollo económico moderno. Actualmente, los países con altas tasas de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita son aquellos que han logrado propiciar de manera sistémica actividades de mejora continua en productos y procesos de uso final y productivo; al generar eventualmente cambios radicales en los métodos de producción y de consumo (Morales, 2018; Fagerberg y Verspagen, 2002; Fagerberg, 1987). Estos cambios impulsan una renovación continua en los procesos a través de los cuales los agentes económicos obtienen los medios materiales para la satisfacción de sus necesidades de consumo (final y productivo); al contribuir además con el diseño y adopción de nuevos patrones institucionales de organización social (Freeman y Pérez, 1988).

Dichos cambios no surgen de forma continua, antes bien, requieren de un esfuerzo deliberado por parte de agentes específicos que les confieren viabilidad, direccionalidad y aseguran



su generalización y difusión; por ello, diversos autores destacan la importancia de una matriz institucional que determina el proceso de generación, asimilación y transferencia de conocimiento como fundamento básico del proceso de innovación. Dicha matriz se encuentra conformada por un conjunto de organizaciones en constante interacción –gobierno, laboratorios de investigación públicos, universidades y otras organizaciones educativas, organismos intermedios, empresas, etc.–, y define una estructura que confiere un soporte social amplio para la generación y difusión de las nuevas tecnologías, así como un mecanismo para asegurar que dichas tecnologías mantengan una influencia permanente en el conjunto de la sociedad, para impulsar de esta manera el proceso de desarrollo económico (Freeman, 1987; Lundvall, 1992, Nelson y Rosenberg, 1993).

Cada una de las organizaciones que conforman la matriz institucional referida anteriormente realiza funciones diferentes en el proceso de creación de nuevas tecnologías. Las agencias gubernamentales y hacedores de políticas públicas tienen un papel fundamental en este proceso. Por ejemplo, el Estado no sólo incentiva al sector privado para la generación de innovaciones tecnológicas a través de subsidios, reducción de impuestos, establecimiento de estándares técnicos; sino que, en algunos casos, constituye la fuerza motora del liderazgo empresarial (Mazzucato, 2013).

Por su parte, las empresas privadas juegan un rol insustituible en la generación de innovaciones. Si bien, como se ha dicho, la innovación tecnológica es un proceso colectivo producto de la sinergia y vinculación de agentes económicos diversos, la empresa privada sigue siendo un actor fundamental, ya que, en gran parte de los casos, la innovación tecnológica emerge como un medio para la obtención de ventajas competitivas en el largo plazo (Freeman,

1994; Schumpeter, 1912/1997). Esto es así porque el mercado, por un lado, y la política pública por el otro, actúan de manera persistente estableciendo los incentivos necesarios para que las empresas privadas orienten sus esfuerzos hacia las actividades precursoras de la innovación, comúnmente llamadas de investigación y desarrollo (I+D). Ante la posibilidad de generar ganancias en el largo plazo, las empresas destinan una parte importante de sus recursos para la realización de actividades que conlleven la obtención de productos y procesos nuevos o mejorados, con el objetivo de captar una mayor proporción de la demanda efectiva. De lograrlo, las empresas obtienen ganancias extraordinarias derivadas del desplazamiento de sus funciones de producción.

Si bien en un primer momento de instauración de las nuevas tecnologías los bienes y servicios derivados del proceso de innovación satisfacen una reducida proporción de la demanda de mercado, en el largo plazo se verifica un aumento del excedente de productores y consumidores a causa de la obtención de insumos o bienes de consumo de mejor calidad a un precio inferior en términos relativos, con lo que resulta factible aumentar el bienestar social.

En una síntesis muy apretada que servirá para los fines analíticos del presente libro, puede plantearse que el proceso de innovación tecnológica es el resultado de una relación compleja entre la interacción de agentes innovadores y el medio de selección que conlleva un cambio estructural en el conjunto de la economía. En este caso, los agentes son principalmente empresas que se diferencian por sus capacidades internas y las estrategias que implementan; mientras que el medio de selección lo constituyen los mercados definidos por la propia dinámica de competencia y las acciones de política pública establecidas por el Estado que generan reglas e

incentivos, los cuales guían la acción de los agentes individuales. Bajo la hipótesis que se maneja en este libro, los agentes son heterogéneos y compiten en un ambiente de selección que recompensa la actividad innovadora como fuente de ganancias extraordinarias sostenidas en el largo plazo. Esta hipótesis se encuentra fundamentada en un programa de investigación que analiza el papel del cambio tecnológico en el nivel microeconómico y en el cambio estructural de la economía en el nivel macroeconómico, así como su influencia en el sistema económico de conjunto (Dosi, 1988; Nelson y Winter, 1982; Freeman, 1995; Lundvall, 1992; Fagerberg, 1994; entre otros): para fines prácticos llamaremos a este programa de investigación: economía de la innovación.

## *II. Sectores intensivos en conocimiento*

Dentro del marco teórico-analítico definido anteriormente, emerge un problema de investigación de suma importancia, particularmente para los países en vías de desarrollo: el surgimiento de sectores emergentes intensivos en conocimiento en los que la innovación tecnológica es un proceso dinámico, así como su influencia en el cambio estructural de la economía. Si bien, el proceso de innovación tecnológica puede ocurrir con diferentes ritmos, intensidad y diseminación en la mayoría de los sectores económicos, en aquellos definidos como intensivos en conocimiento, la innovación tecnológica representa la estrategia dominante de supervivencia, crecimiento y generación de ganancias extraordinarias de las empresas.

Los sectores intensivos en conocimiento pueden definirse como aquellos sectores económicos cuyo fundamento esencial de los procesos de innovación es el desarrollo del conocimiento cien-

tífico (Pavitt, 1984); Coriat *et al.*, 2003). En la medida en que logran desarrollarse y desplegarse plenamente, los sectores intensivos en conocimiento contribuyen con una proporción creciente del producto nacional, así como con el nivel de empleo y de inversión de la economía en su conjunto.<sup>1</sup> Además, contribuyen de manera destacada con el incremento de la productividad de los demás sectores económicos, impulsando un proceso de transformación productiva que tiende a sustituir y modificar los insumos y procesos utilizados hasta el momento (Foray, 2004).

Como se ha mencionado, el conocimiento representa el fundamento último de la innovación tecnológica (Antonelli, 2008; Rosenberg, 1982). Diversos autores han planteado que el conocimiento generado dentro de la empresa y fuera de ella por la actividad de otras organizaciones como universidades, centros de investigación, constituye el antecedente inmediato de la innovación tecnológica a nivel microanalítico (Nelson y Rosenberg, 1993). La innovación tecnológica generalmente se encuentra asociada de manera directa con descubrimientos científicos de frontera, especialmente en las primeras fases de su desarrollo (Dosi, 1988); no obstante, en los sectores intensivos en conocimiento, la producción, absorción y difusión del conocimiento resulta una estrategia dominante. En síntesis, aunque el conocimiento científico es un activo importante para la generación de innovación tecnológica en cualquier sector,

1 La taxonomía que propone Pavitt (1984), es seminal en este sentido ya que establece la existencia de sectores económicos cuyas trayectorias de innovación se encuentran fuertemente ligadas al desarrollo de conocimiento científico. Para estos sectores es fundamental la actividad de investigación y desarrollo que se realiza al interior de las empresas y en otras instituciones como universidades y centros públicos de investigación. Dentro de esta categoría se encuentran sectores tecnológicos como la biotecnología, la nanotecnología, las tecnologías ambientales, el desarrollo de nuevos materiales, entre otras.

la relevancia de dicho insumo es aún mayor en sectores intensivos en conocimiento.<sup>2</sup>

Debido a que el conocimiento es un activo intangible generado a partir de diversas actividades de investigación desarrolladas por agentes heterogéneos, se espera que las empresas que conforman este tipo de sectores registren una mayor probabilidad de establecer relaciones con otros agentes (Tether y Tajar, 2008). Las empresas no sólo establecen relaciones con organizaciones encargadas de generar y transmitir el conocimiento como universidades y centros de investigación, sino también realizan alianzas estratégicas con otras empresas, como una forma de adquirir conocimiento externo y acelerar los procesos de innovación y comercialización de sus productos (Shin, Ji y Park, 2016).

En consecuencia, los sectores intensivos en conocimiento presentan al menos tres características principales: *a*) el desarrollo de procesos de innovación se encuentran fuertemente correlacionado con la generación, asimilación y difusión de conocimiento científico (Pavitt, 1984; Coriat *et al.*, 2003); *b*) dado que las empresas no pueden generar todo el conocimiento que necesitan, deben desarrollar capacidades de absorción que les permitan asimilar y procesar internamente todo el conocimiento que logren obtener de otras fuentes externas (Cohen y Levinthal, 1990; Dosi, Faillo y Marengo,

2 De acuerdo con Coriat *et al.* (2003), los sectores intensivos en conocimiento presentan al menos tres características fundamentales; *a*) la innovación tecnológica se basa fundamentalmente en la investigación, por lo que el acceso al conocimiento externo es crucial (la innovación implica el uso comercial de cierto tipo de conocimiento que proviene de organizaciones no corporativas); *b*) en este tipo de sectores las oportunidades tecnológicas son abundantes y persistentes, por lo que existe un amplio espectro de nuevos productos potenciales; y *c*) el diseño de los nuevos productos se basa en la explotación comercial de *clústers* de conocimiento conformados por resultados científicos provenientes de distintas disciplinas

2003); y c) que el conocimiento en sí mismo es un activo que potencialmente puede ser valorado en los mercados existentes (Pisano, 2010 y 2006). Cabe señalar además que, en todos los aspectos antes aludidos, el capital humano es un activo central debido a que, en última instancia, los individuos son los portadores de una parte importante del conocimiento científico y tecnológico.

Por otra parte, es importante mencionar que los sectores intensivos en conocimiento no sólo se diferencian de los tradicionales por el tipo de tecnología que desarrollan, sino también por los diversos y cambiantes patrones institucionales en los que se enraízan y les confieren viabilidad, a tal grado que presentan una relación de co-determinación y co-evolución de las tecnologías y las matrices institucionales propias de dichos sectores. Los cambios en la base de conocimiento no pueden explicar por sí misma la emergencia de un sector industrial, se requiere de un rango específico de complementariedades institucionales tales como cambios en los regímenes de propiedad, modos de financiamiento y una relación estrecha entre ambos aspectos. Como plantean Coriat *et al* (2003):

queremos remarcar el hecho de que sí un cambio en la base de conocimiento ha jugado un papel preponderante como una precondition de la transformación, una 'industria' específica sólo puede desarrollarse por la poderosa y continua intervención del Estado (...) de los reguladores (...) y algunos legisladores [court rulings] (p. 247).<sup>3</sup>

3 Como plantean los autores, el desarrollo del sector biotecnológico en Estados Unidos estuvo precedido de cambios institucionales en el sistema propiedad industrial y en el sistema de regulación financiera. Concretamente en dos cambios decisivos: a) La firma de la llamada Acta Bayh-Dole (1980) que permitió por primera vez patentar los resultados de la investigación realizada con fondos públicos y patentar los "productos de la naturaleza" (organismos genéticamente modificados), lo cual modificó radicalmente los incentivos de investigadores y universidades. Una consecuencia directa de esto fue el surgimiento de Genetech, la primera empresa basada completa-

En suma, el surgimiento de sectores tecnológicos emergentes intensivos en conocimiento, así como su influencia en la reconversión productiva y su impacto en la tasa de crecimiento del producto, representa actualmente un tema decisivo en la agenda de investigación de la economía industrial. En el caso de los países que no han podido establecer senderos estables de desarrollo, los sectores intensivos en conocimiento revisten una importancia mayor, ya que representan ventanas de oportunidad potenciales para la reconversión productiva y el cambio estructural del sistema económico. En este contexto, el tema de la biotecnología mantiene un gran interés por sus potenciales usos en la transformación de la materia viva, así como los impactos potenciales en temas decisivos como la salud humana, el cambio climático, la sustitución de combustibles fósiles, entre otros.

### *III. Importancia del sector biotecnológico*

Al presentar todas las características descritas en el apartado anterior, el conjunto de las actividades biotecnológicas orientadas a la producción de nuevos bienes y servicios valorados en el mercado puede ser definido como un sector intensivo en conocimiento.<sup>4</sup> Al respecto es necesario discutir dos ideas clave: el concepto de biotecnología y el de sector biotecnológico.

.....  
mente en actividades científicas que cotizó en el mercado de capitales; y *b*) la creación de nuevas reglas en el NASDAQ (1984), con las que las empresas especializadas en la investigación científica, sin posibilidades inmediatas de ganancia, podían cotizar en los mercados de valores (Coriat *et al.*, 2003).

4 Autores como Niosi (2011), argumentan que la biotecnología es una disciplina transversal basada directamente en la actividad científica, que en su parte industrial conforma un sector económico intensivo en conocimiento ya que mantiene una dependencia muy significativa de la investigación que se realiza en universidades y otros centros públicos y privados de investigación.

Sobre el concepto de biotecnología, una definición comúnmente aceptada es la que propone la OCDE, pues es una definición general que condensa diversos significados que se ha atribuido al término biotecnología. Como establecen Arundel y Crespi (2006), esta definición está basada en un conjunto de técnicas que pueden explicar el núcleo central de la actividad biotecnológica, las cuales son: DNA/RNA, proteínas y otras moléculas, cultivo e ingeniería celular y de tejidos, técnicas de biotecnología de procesos, vectores de genes y RNA, bioinformática y nanotecnología. Para los autores, esta propuesta de la OCDE busca, por un lado, proporcionar una definición manejable para la investigación y el levantamiento de encuestas; por otro, establecer una diferenciación conceptual entre la biotecnología moderna y la biotecnología tradicional y; finalmente, otorgar al concepto “biotecnología” una cierta flexibilidad para la incorporación posterior de nuevos desarrollos y descubrimientos, en un campo que se caracteriza por una dinámica constante.

Por otra parte, si bien en este libro se alude constantemente al sector biotecnológico como si fuese un campo unificado o estuviese estructurado como sector industrial tradicional, es necesario plantear algunas observaciones. Del párrafo anterior se desprende que la biotecnología se encuentra conformada por un conjunto de técnicas diversas, que pueden ser creadas o implementadas por empresas pertenecientes a diversos sectores económicos como el farmacéutico, químico, de alimentos y bebidas. Por lo tanto, más que un sector tradicional, en términos económicos, la biotecnología se encuentra conformada por un conjunto de técnicas de carácter transversal u horizontal con la posibilidad influir en la actividad de diversos sectores tradicionales. Aún no existe una propuesta sistemática y exhaustiva que equipare las diversas técnicas biotecnológicas con actividades industriales concretas representadas en



los distintos niveles de desagregación de la actividad industrial en las estadísticas nacionales. A pesar de ello, en este libro se alude explícitamente al sector biotecnológico, refiriendo el conjunto de empresas cuya actividad principal se centra en el desarrollo comercial de alguna de las técnicas referidas anteriormente, así como en productos y procesos cuya elaboración dependa de las mismas, sin importar el sector industrial a que pertenezcan.

La importancia de la biotecnología como sector emergente que abre potenciales ventanas de oportunidad para países en desarrollo ha sido planteada por importantes organismos internacionales como la OCDE, que incluso ha adoptado el término “bioeconomía” para referir las profundas implicaciones económicas y sociales que presenta este nuevo paradigma tecnológico emergente. En este sentido, la OCDE (2009) asigna una probabilidad muy alta al hecho de que, en un futuro cercano, la biotecnología desempeñe un papel fundamental en diversos aspectos económicos y sociales tales como el abastecimiento de alimentos, tratamiento y distribución del agua, generación de energía, nuevos métodos para el cuidado de la salud humana y de animales, combate contra el cambio climático. Estudios como el de la OCDE (2009), plantean que la biotecnología podría convertirse en una de las tecnologías líderes del próximo ciclo de crecimiento económico y parte crucial del nuevo paradigma tecnológico.

Debido a lo anterior, resulta de suma importancia analizar el desarrollo del sector biotecnológico en países emergentes, con la finalidad de comprender su potencial real en la transformación productiva y tecnológica. En este libro se ofrece dicho análisis desde la perspectiva de las capacidades y estrategias reales y potenciales con que cuentan las empresas biotecnológicas en México, las cua-

les desarrollan actividades productivas diversas en un contexto institucional particular.

#### *IV. Características de las empresas biotecnológicas*

Las empresas dedicadas a la biotecnología, son empresas basadas en ciencia, las cuales pueden definirse como aquellas empresas comerciales cuya actividad principal se basa en dos objetivos fundamentales: por un lado, crear ciencia; y por el otro, capturar valor comercial de dicha actividad. Una de las particularidades esenciales de la biotecnología consiste en que los desarrollos científicos realizados por empresas y otras organizaciones académicas pueden ser directamente valorizarlos en el mercado, por lo que existe una estrecha relación entre generación de conocimiento y creación de valor (Pisano, 2006 y 2010). Por tal motivo, el valor comercial de las empresas biotecnológicas no sólo radica en la elaboración de bienes y productos finales; sino además en su capacidad real y potencial de realizar avances en la frontera científica en las distintas técnicas que conforman el sector.

Dado que, como se ha dicho anteriormente, el fundamento último de la innovación tecnológica es el conocimiento que generan conjuntamente los agentes involucrados en el sistema, y debido a que en los sectores intensivos en conocimiento este hecho es aún más decisivo; la principal diferencia que presenta el sector biotecnológico con respecto a sectores económicos tradicionales consiste en que las empresas se han involucrado cada vez más con el desarrollo de actividades científicas generadoras de conocimiento; pero también, al mismo tiempo, en que las universidades y centros públicos de investigación han impulsado cada vez más la creación de empresas comerciales. Por tanto, existen dos formas principales

de crear nuevas empresas biotecnológicas: en primer lugar, académicos e investigadores que incursionan en el mercado con la fundación de nuevas empresas y, en segundo lugar, científicos o *managers* que salen de las empresas existentes para abrir nuevas compañías.

Todas las actividades que conforman el sector biotecnológico, en mayor o menor medida, se caracterizan por llevarse a cabo en una profunda y persistente incertidumbre, debido a que el conocimiento científico en el que se basan es altamente complejo, dinámico y heterogéneo. Los agentes involucrados deben adecuarse a operar en un contexto científico caracterizado por cambios acelerados, en que el aprendizaje acumulativo es la clave del desempeño económico; por lo tanto, la conformación de estrategias exitosas de innovación por parte de las empresas biotecnológicas requiere que éstas desplieguen un nivel de actividad científica importante (Pisano, 2006). Al mismo tiempo, al contar con ventajas indiscutibles en el proceso de creación científica, las universidades y otros centros de investigación han identificado la oportunidad de obtener recursos económicos adicionales al incursionar en la creación de empresas y en el desarrollo de productos y procesos con potencial valor económico en el mercado. Más aún, comúnmente la generación de valor comercial en este sector requiere una estrecha colaboración entre empresas comerciales, por un lado, y universidades y centros de investigación por el otro, por lo que el factor *vinculación* reviste una importancia crucial para el desarrollo del sector.

El esquema descrito anteriormente representa un paradigma organizacional particular clasificado como un nuevo modelo basado en ciencia, en el cual una parte importante de la investigación científica básica, en muchas ocasiones investigación de punta, se realiza al interior de la empresa, lo cual conlleva la contratación de

investigadores cuyos incentivos se orientan a la actividad científica (pro-publicaciones). Este nuevo paradigma no sólo transforma la organización interna de la empresa, también la de las universidades, ya que éstas encuentran incentivos para la creación de equipos de investigadores cuyo propósito es valorizar el conocimiento que generan atendiendo las necesidades empresariales. Además, las pequeñas y medianas empresas orientadas a las actividades de investigación no requieren comercializar productos reales para lograr una independencia financiera, son promovidas y financiadas por los mercados financieros que apuestan al desarrollo de productos revolucionarios (Coriat *et al.*, 2003).

No obstante, este llamado nuevo paradigma organizacional crea un problema importante de fragmentación del conocimiento, lo cual genera fuertes problemas de apropiabilidad. Dada la heterogeneidad del contenido y procedencia del conocimiento necesario para generar productos y procesos novedosos, los dividendos del proceso innovador deben ser compartidos por dos agentes de naturaleza completamente distinta: las empresas que buscan un beneficio privado de sus actividades, y las universidades y centros públicos de investigación que primordialmente cumplen con una función social basada en la creación y difusión de conocimiento. En el primer caso, el conocimiento generado tiene un carácter privado y exclusivo, los inversores y accionistas tienen incentivos para la apropiación del conocimiento mediante mecanismos como patentes, secretos industriales, etc.; mientras, en el segundo caso, la naturaleza del conocimiento es colectiva y no apropiable individualmente. En el sector biotecnológico este problema es mayor. Muchos elementos científicos no pueden ser apropiados de manera privada y algunos métodos de apropiabilidad –como secretos industriales– son difíciles de aplicar en el contexto de normas

científicas aplicadas a publicaciones y mecanismos de difusión de conocimiento (Pisano, 2006).

El problema de fragmentación se vuelve aún más complejo debido a que el capital financiero o de riesgo cumple un papel esencial en el financiamiento de nuevas empresas con base tecnológica intensiva en conocimiento. Los inversores externos apuestan grandes sumas de dinero en el financiamiento de productos y procesos con alto impacto potencial en los mercados, por lo que su conocimiento de la industria rebasa en muchas ocasiones al que pueden tener pequeñas empresas especialistas en nichos de mercado particulares. Una forma de colaborar con los inversores es creando alianzas estratégicas y asociaciones empresariales, o bien, recaudando fondos en los mercados de capitales. El derecho a la salida por parte de los accionistas es un buen mecanismo de control corporativo (Pisano, 2006). No obstante, para que estos mecanismos de financiamiento funcionen adecuadamente, la información se convierte en un insumo esencial, por lo que deben existir mecanismos institucionales que aseguren su buena calidad y flujo constante. Los mercados de valores tradicionales no están diseñados para financiar empresas biotecnológicas ya que, como se ha dicho, se caracterizan por presentar una alta incertidumbre técnica y financiera, a tal grado que muchas de ellas no reportan ganancias durante los primeros años de operación. La evaluación de las oportunidades de mercado sólo la pueden realizar expertos, tanto en organización industrial como en las diversas técnicas que conforman el sector, por lo que se requiere un conocimiento muy especializado.

La especialización y fragmentación del conocimiento es una característica del sector. No sólo se encuentra presente la división tradicional entre conocimiento científico generado primordial-

mente por las universidades y centros públicos de investigación; y conocimiento científico y técnico generado por las empresas, sino además el conocimiento de especialistas en la industria que tienen la capacidad de observar el potencial comercial de productos y proceso en fases muy tempranas de desarrollo. La integración industrial surge como una forma de solventar el problema de la especialización y fragmentación del conocimiento.

Como apuntan algunos autores, existen dos formas de integración en el sector biotecnológico: en primer lugar, la conformación de redes de colaboración con otras empresas y organizaciones, en donde los programas públicos para el financiamiento de proyectos de investigación son fundamentales; en segundo lugar, la compra y absorción de pequeñas empresas especializadas por parte de grandes corporaciones verticalmente integradas, como ocurre en el sector farmacéutico y agrobiotecnológico (Stezano y Quezada, 2017). La primera opción apunta al manejo del problema de la integración mediante la creación de una red de especialistas independientes integrados a través del mercado o de proyectos públicos o privados de investigación; la segunda se encuentra dirigida al manejo interno de los recursos creando mecanismos de coordinación dentro de la propia empresa que tienden a incorporar bajo una sola dirección los diferentes conocimientos necesarios para la gestión adecuada de proyectos de innovación tecnológica.

Debido a lo anterior, el sector se encuentra altamente segmentado. Por un lado, pequeñas y medianas empresas concentradas en nichos especializados, cuya actividad depende de la vinculación con otras empresas y organismos públicos y privados; por el otro lado, grandes empresas verticalmente integradas con poder de mercado que dictan las pautas de competencia en sectores y productos determinados. En países en vías de desarrollo como

México, las primeras muestran una dependencia muy alta del financiamiento público y de vinculación con centros de educación superior, mientras que las segundas son generalmente filiales de empresas transnacionales que crean mercados oligopólicos a nivel país, o bien, empresas nacionales que logran dominar mercados locales o incluso internacionales, que generan productos y procesos muy específicos.

En el siguiente apartado se presentan algunos datos generales sobre la situación actual de los países de la OCDE respecto a la actividad biotecnológica a nivel empresa, que permitirá contextualizar el análisis sectorial desarrollado en los siguientes capítulos de este libro.

#### *V. Panorama general de la biotecnología en países en la OCDE*

El desempeño de la actividad biotecnológica a nivel empresarial en los países que actualmente conforman la OCDE es muy desigual. A pesar de que la biotecnología es un paradigma emergente con amplias posibilidades de desarrollo, la brecha en el desempeño entre países es ya muy amplia en algunos casos, lo cual puede limitar el progreso futuro del sector en aquellas regiones que no generen capacidades adecuadas en esta primera fase de despliegue. A continuación, se presentan datos que permitirán ubicar la situación actual de México en comparación con los demás países miembros de la OCDE.

La Figura 1 muestra el número de empresas activas en biotecnología por país y las que se considera completamente dedicadas a

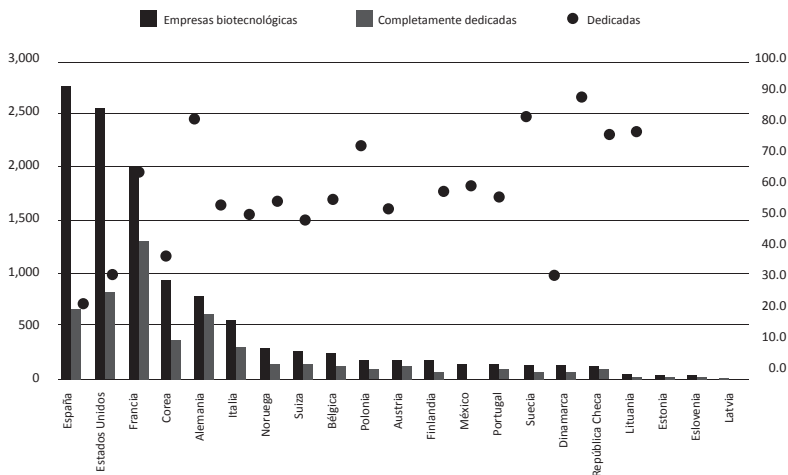
las actividades biotecnológicas.<sup>5</sup> Se observa que España ha tenido un repunte importante de empresas biotecnológicas, que se explica por un incremento considerable de la inversión en este sector en los últimos años. En segundo lugar, se encuentra Estados Unidos que durante muchos años ha sido el mercado más dinámico en este sector. No obstante, Alemania, a pesar de contar con un número significativamente menor de empresas, muestran un elevado porcentaje de empresas dedicadas completamente a las actividades biotecnológicas, lo cual puede expresar una mayor intensidad en actividades de I+D. Lo mismo ocurre en países como Austria y República Checa, aunque con un número muy reducido de empresas. México cuenta con un número aún menor de empresas y no existen datos disponibles sobre el porcentaje de empresas dedicadas, en este sentido, el rezago es evidente.

.....

5 Las empresas activas en biotecnología se definen como aquellas que “aplican al menos una de las técnicas biotecnológicas” (antes expuestas en este capítulo: DNA/RNA, proteínas y otras moléculas, cultivo e ingeniería celular y de tejidos, técnicas de biotecnología de procesos, vectores de genes y RNA, bioinformática y nanotecnología) “para la producción de bienes o servicios y la ejecución de I+D biotecnológico”. Por su parte, las empresas dedicadas a la biotecnología representan un subconjunto de las anteriores y se caracterizan debido a que su “actividad predominante involucra la aplicación de técnicas biotecnológicas en la producción de bienes o servicios y en la ejecución de I+D biotecnológica” (RICYT, 2014:85).



**Figura 1**  
**Número de empresas activas en biotecnología**  
**(2015 o último año disponible)**

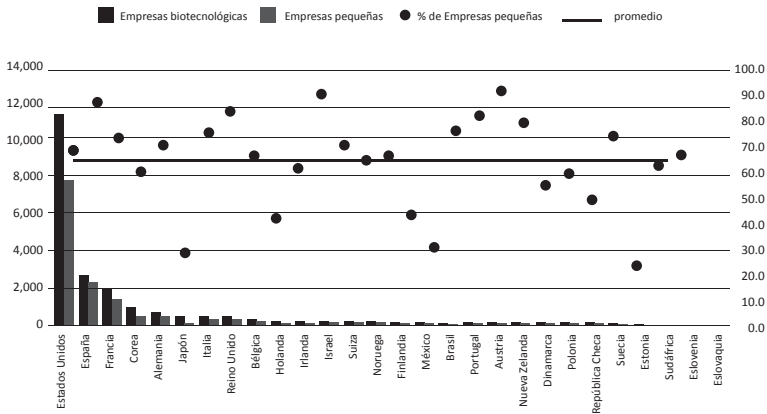


Fuente: elaboración propia con base en los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre de 2018).

Otro aspecto interesante de la composición industrial en el sector es que un importante porcentaje de las empresas biotecnológicas son pequeñas (menos de 50 empleados). En promedio, el porcentaje de empresas pequeñas se encuentra por arriba de 64% (escala derecha de la Figura 2) del total de las empresas biotecnológicas en los países de la OECD, Figura 2. Lo cual implica que existe un dinamismo importante en los mercados, ya que las empresas pequeñas tienen oportunidades abiertas para valorizar sus productos antes de ser adquiridas por otras empresas más grandes o ser dominantes en algún nicho de mercado. Sea cual sea el desenlace, la presencia de empresas pequeñas dinamiza el sector porque permite

una renovación constante de conocimiento que se transforma en nuevos productos y procesos. En contraste, en México sólo 43% de las empresas son pequeñas, lo cual implica la existencia de mercados oligopólicos en muchos mercados biotecnológicos, y la escasa oportunidad que tienen empresas emergentes, generalmente locales, de entrar en los mercados nacionales.

**Figura 2**  
**Porcentaje de empresas biotecnológicas pequeñas**  
**(2014 o último año disponible)**

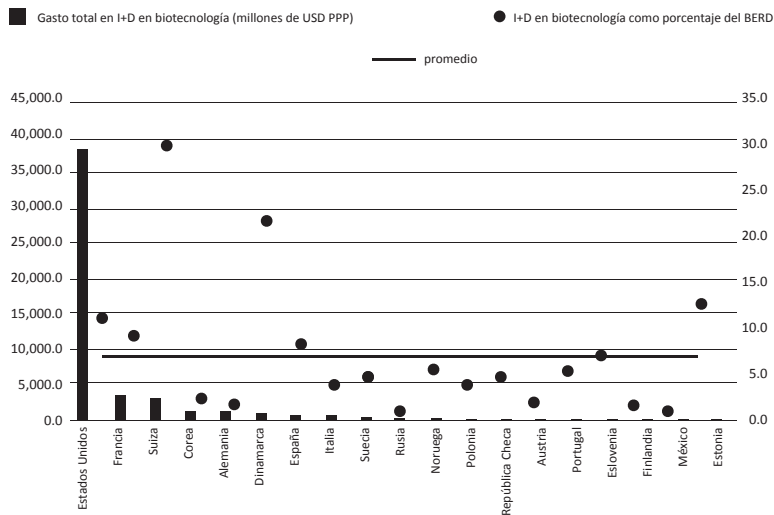


Fuente: elaboración propia con base en los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre 2016).

Una variable fundamental que ha sido comúnmente empleada como una medida del esfuerzo innovador es el gasto en investigación y desarrollo (I+D), y particularmente el gasto realizado por el sector empresarial (*Business Expenditure on R&D*, BERD por sus siglas en inglés). El gasto total se encuentra compuesto por el gasto público más el gasto privado y se asume que a mayor gasto mayor será la actividad innovativa en las empresas. Si bien no existe certeza

plena de que el gasto en I+D se traduzca en resultados innovadores, lo cierto es que los países que no invierten en I+D difícilmente podrán desarrollar procesos de innovación. Como puede observarse en la Figura 3, en el caso de la biotecnología, Estados Unidos es el país que cuenta con mayor volumen de gasto en I+D con más de 38 mil millones de dólares, un monto muy significativo si se considera que todos los demás países de la OCDE se encuentran por debajo de los 4 mil millones. Muy por debajo de esta última cifra, el gasto realizado en México fue 35.4 millones, situándose en el penúltimo lugar de la lista de países considerados. Con este nivel de gasto resulta evidente que México se encuentra muy lejos de lograr una posición competitiva en el sector.

**Figura 3**  
**Gasto total en biotecnología**  
**(2013 o último año disponible)**

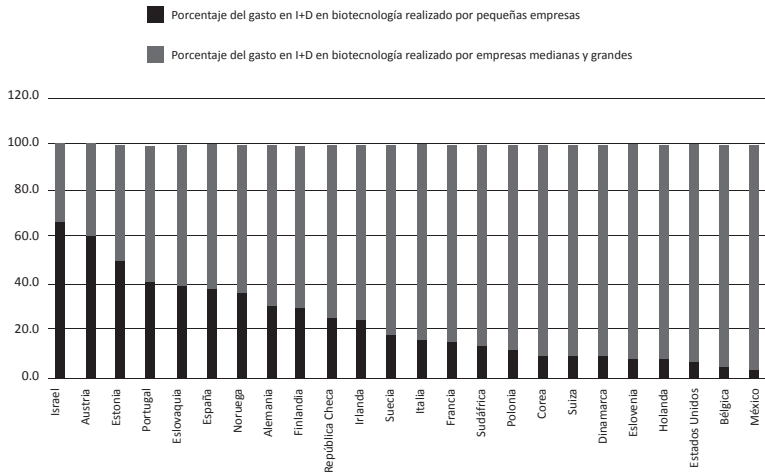


Fuente: elaboración propia con base en los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (mayo 2017).

Al mismo tiempo, en la escala de la derecha de la Figura 3 se observa el gasto en I+D en biotecnología como porcentaje del BRED total de cada país, es decir, del gasto total en I+D que realiza el sector privado, qué porcentaje corresponde con el sector biotecnológico. En promedio los países la OECD destinan 7.3 del total del BRED al gasto en biotecnología, aunque existen países como Suiza (30.2%) o Dinamarca (21.9%) cuyo sector privado muestra una elevada especialización en I+D en biotecnología. Nuevamente México presenta un gran rezago, del total de gasto en I+D del sector privado únicamente 1.1% corresponde con biotecnología, cifra que es claramente insuficiente para emprender proyectos innovadores.

Al separar el gasto en I+D entre empresas grandes y pequeñas, se observa la distribución presentada en la Figura 4. En países con un bajo gasto en I+D como Austria, Estonia y Portugal; las empresas pequeñas realizan la mayor proporción del gasto total, lo cual es reflejo de un sector poco concentrado en el que las empresas pequeñas mantienen mayor dinamismo y encuentran mejores oportunidades de prosperar. En cambio, en países consolidados en el sector como Estados Unidos, una gran proporción del gasto lo realizan grandes corporaciones con poder de mercado que marcan la pauta competitiva a nivel internacional. A pesar de ello, como se ha planteado, existe espacio para que las empresas pequeñas encuentren un lugar en el mercado y realicen aportaciones importantes en el cúmulo total de innovación y en la disponibilidad de nuevo conocimiento que circula en el sistema. En cambio, México parece estar en la peor de las situaciones, un mercado altamente concentrado, donde la escasa inversión se realiza por grandes corporativos que guían la pauta competitiva en los mercados locales y dejan poco espacio para que las pequeñas empresas tengan injerencia en el ámbito innovador. En el caso mexicano sólo 3.9% del total del gasto en el sector privado proviene de pequeñas empresas.

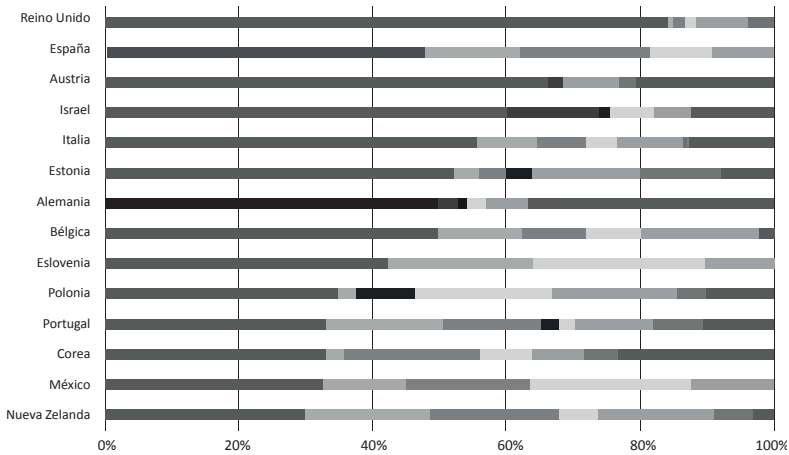
**Figura 4**  
**Porcentaje del gasto de I+D en biotecnología**  
**realizado por pequeñas, medianas y grandes empresas**  
**(2014 o último año disponible)**



Fuente: elaboración propia con base en los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre 2016).

En lo que respecta a las áreas de aplicación en la que se desenvuelven las empresas biotecnológicas, es muy claro que en todos los casos existe una concentración importante en la salud humana. Aunque en menor proporción esta tendencia también se refleja en el caso mexicano. Otra área de gran importancia en México es el medio ambiente. Estas tendencias puedan apreciarse en la Figura 5.

**Figura 5**  
**Porcentaje de empresas dedicada a la biotecnología**  
**por aplicación (último año disponible)**



Fuente: elaboración propia con base en los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre 2016).

Finalmente, en la gráfica 6 se observa la participación porcentual de los países de la OECD en cuanto a la generación de patentes en biotecnología. Existen algunas variables que permiten medir de manera indirecta los resultados generales del proceso de innovación, pero una de las más utilizadas en los últimos años son las patentes.<sup>6</sup> Las patentes son una variable que, aunque de manera imperfecta logra captar el esfuerzo innovador en países y regiones (ya que muchos procesos que se realizan a menor escala no son patentados), se ha utilizado para construir indicadores que per-

6 Una patente es un derecho de propiedad otorgado por el gobierno de un país. Las patentes garantizan que el conocimiento derivado de los inventos se encuentre accesible a todos, pero limita su uso comercial a quienes son dueños de las mismas. Las patentes garantizan además un derecho de monopolio temporal de la invención.

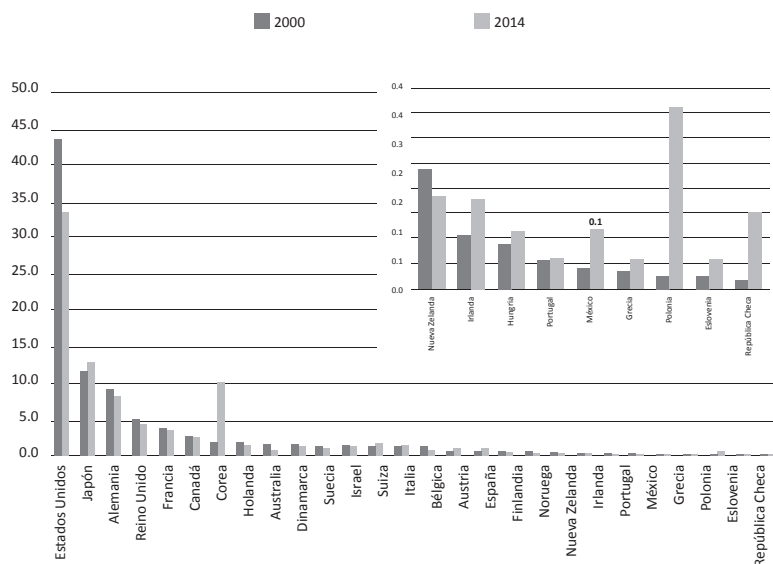
miten comparar resultados entre países (Morales, 2018). Aunque las patentes no reflejan todo el conocimiento tecnológico que se desarrolla en un país, es cierto que esta variable representa una de las mejores aproximaciones para identificar ciertas capacidades tecnológicas, sobre todo en sectores de vanguardia tecnológica, intensivos en conocimiento y relacionados directamente con las actividades científicas (Jaffe 1986).

Existe una correlación positiva entre el gasto en I+D y número de patentes registradas. En el caso de Estados Unidos esta correlación es evidente, ya que concentraba cerca de 44% de todas las patentes registradas en biotecnología en el año 2000; aunque este porcentaje ha tendido a decrecer, sigue siendo el país de la OCDE que más patenta en el sector. Otros países como Alemania, Francia y Canadá mantienen importantes volúmenes de gasto en I+D. El caso de Corea es particular ya que el crecimiento en el número de patentes en biotecnología ha sido sorprendente: de no figurar como país con una alta actividad en I+D, en pocos años ha conseguido una participación importante en el porcentaje mundial de patentes en biotecnología. En cambio, el caso de México es decepcionante en esta materia, aunque ha tenido un progreso marginal al pasar de 0.04% de participación de patentes globales en biotecnología en el año 2000, a 0.12% en 2014, sigue estando en los últimos lugares a nivel mundial y muy por debajo de otros países con un nivel de actividad económica similar e incluso inferior.

Al ser una variable de resultado, el bajo porcentaje de patentes en biotecnología es una consecuencia del bajo nivel de gasto en I+D y del pobre desempeño de las empresas en el sector. Al ser un sector intensivo en conocimiento, la escasa participación en la producción de conocimiento a nivel mundial reflejada en el porcentaje de patentes, implica un rezago considerable en la dinámica global

de competencia y un pobre aprovechamiento de las ventanas de oportunidad potenciales que abre el paradigma emergente de la biotecnología.

**Figura 6**  
Participación de los países de la OCDE en patentes relacionadas con la biotecnología (2000 y 2014)



Fuente: elaboración propia con base en los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre 2016).

## VI. Reflexiones finales

La innovación tecnológica es el principal impulso del crecimiento económico moderno. Actualmente, los países más innovadores son también aquellos que logran un crecimiento económico sostenido. Sin embargo, la innovación es un proceso complejo, que depende de las oportunidades e incentivos que las empresas, universidades



y sector público tengan para innovar; en suma, el diseño de la matriz institucional. Una de las actividades que de manera reciente se han destacado en el contexto de sectores intensivos en conocimiento es la de biotecnología, definido como *la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos*. Si bien, la biotecnología tiene el potencial de generar innovación y crecimiento económico por la multiplicidad de campos de aplicación que tiene, es un sector que en México se ha desarrollado poco, sobre todo si se compara con los países de la OCDE, organización en la que ocupa sistemáticamente los últimos lugares. Un primer paso para generar iniciativas y políticas públicas que coadyuven con el desarrollo del sector, consiste en establecer un diagnóstico adecuado del mismo; los esfuerzos de este libro constituyen un primer paso para avanzar en el diagnóstico, evaluación y desarrollo de propuestas de políticas, tanto públicas como privadas, para establecer criterios y guías que permitan avanzar en aquella dirección.

## Referencias

- Antonelli, C. (2008), *Localized Technological Change. Towards the economics of complexity*, Londres: Routledge.
- Arundel, A., Crespi, G. y Patel, P. (2006), *Biotechnology. Europe INNOVA Scoping Paper*, Bruselas: Comisión Europea.
- Cohen, M. D. y Levinthal, D. A. (1990), Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35, 128-152.
- Coriat, B., Orsi, F. y Weinstein, O. (2003), Does Biotech Reflect a New Science-based Innovation Regime? *Industry and Innovation*, 10, (3), 231-253.

- Dosi, G. (1988). The nature of the innovation process. En G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. Soete (Eds), *Technical change and economic theory*, Londres: Pinter Publishers (pp. 221-238).
- Dosi, G., Faillo, M. y Marengo, L. (2003), Organizational Capabilities, Patterns of Knowledge Accumulation and Governance Structures in Business Firms. An Introduction. *LEM, Working Paper Series*, 11, 1165-1185.
- Fagerberg, J. (1994), Technology and international differences in growth rates, *Journal of Economic Literature* (32), 1147-1175.
- Fagerberg, J. (1987), A technology gap approach to why growth rates differ, *Research Policy*, 16, 87-99.
- Fagerberg, J. y Verspagen, B. (2002), Technology-gaps, innovation-difusión and transformation: an evolutionary interpretation, *Research Policy*, 31, 1291-1304.
- Foray, D. (2004), *Economics of Knowledge*, London: The MIT Press.
- Freeman, C. (1995), The 'National System of Innovation' in historical perspective, *Cambridge Journal of Economics*, 19 (1), 5-24.
- Freeman, C. (1994), The economics of technical change. *Cambridge journal of economics*, 18, (5), 463-514.
- Freeman, C. (1987), *Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan*, Londres: Pinter.
- Freeman, C. y Pérez, C. (1988), Structural crisis of adjustment: business cycles and investment behavior. En G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. Soete (Eds), *Technical change and economic theory* (pp. 38-66), Londres: Pinter Publishers.
- Jaffe, A. B. (1986), Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms Patents, Profits, and Market Value, *The American Economic Review*, 76, (5), 984-1001.

- Lundvall, B. (Ed.). (1992), *National Systems of Innovations*, Londres: Pinter.
- Mazzucato, M. (2013), *The Entrepreneurial State. Debunking Public vs Private sector Myths*, Nueva York: Anthem Press.
- Morales Sánchez, M. A. (2018), Crecimiento económico e innovación tecnológica: un esbozo general sobre la situación en México en comparación con otros países miembros de la OCDE, en E. Vega López. (Coord.), *Cambio de rumbo: desafíos económicos y sociales de México hoy*, México: UNAM-Facultad de Economía (pp. 87-113).
- Nelson, R. y Nathan R. (1993), Technical Innovation and National Systems. En Richard Nelson. (Ed.), *National Innovation Systems. A comparative Analysis*, New York: Oxford University Press (pp. 3-21).
- Nelson, R. y Winter, S. (1982), *An evolutionary theory of economic change*, Harvard: University Press.
- OECD. (2009), *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda, Main Findings and Policy Conclusions*, París: OCDE.
- OECD. (2006), *A Framework for Biotechnology Statistics*, París: OCDE.
- Pavitt, Keith. (1984), Sectoral Patterns of technological Change: Toward a Taxonomy and a Theory. *Research Policy*, 13, 343-373.
- Pisano, G. P. (2010), The evolution of science based-business: innovating how we innovate, *Industrial and Corporate Change*, 19, (2), 465-482.
- Pisano, G. P. (2006), *Science Business. The Promise, the Reality, and the Future of Biotech*, Boston: Harvard Business School Press.
- Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box*, UK: Cambridge University Press.

- Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología [RYCIT]. (2014), *El estado de la ciencia. Principales indicadores de ciencia y tecnología Iberoamericanos / Interamericanos*, Buenos Aires: RYCIT.
- Schumpeter, J. A. (1912/1997), *Teoría del desenvolvimiento económico*. México: FCE.
- Shin, K., Sang J. K. y Park, G. (2016), How does the partner tipo in R&D alliances impact technological innovation performance? A study on the Korean biotechnology industry, *Asia Pacific Journal of Management*, 33, (1), 141-164.
- Stezano, F. y Quezada, F. (2017), Convergencia tecnológica y científica en torno al sector biotecnológico en México. En M. Casalet (Ed.), *El paradigma de la convergencia de conocimiento: alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario*. México: FLACSO (pp. 25-52).
- Tether, B. y Tajar, A. (2008), Beyond industry-university links: Sourcing knowledge for innovation from consultants, private research organizations and the public science-base, *Research Policy*, 37 (6-7), 1079-1095.



# LOS DESAFÍOS DE LAS POLÍTICAS DE INNOVACIÓN EN MÉXICO

DANIEL HUGO VILLAVICENCIO CARBAJAL

## I. Introducción

La innovación se ha convertido en un objetivo central de muchas empresas en la medida en que les permite mantener o acrecentar su posición competitiva en los mercados nacionales y globales. En su concepción más restringida, la innovación hace referencia a la fabricación de productos nuevos o mejorados vendibles en el mercado, así como al desarrollo de procesos productivos novedosos o mejorados más eficientes y menos dañinos al medioambiente, mediante el uso de alta tecnología. La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), ha ampliado la definición, al incluir las mejoras organizacionales y los métodos de comercialización que llevan a cabo las empresas (OCDE, 2005).

Así, la innovación debe entenderse como un proceso que abarca actividades de concepción y de diseño, elaboración de prototipos, mejoras y escalamiento de procesos, mejoras organizacionales para hacer más eficientes los procesos productivos, hasta la comercialización del producto novedoso para el mercado global, nacional o regional.

Aun cuando la innovación suele ocurrir principalmente en el seno de las empresas, requiere la existencia de condiciones institucionales y de dinámicas específicas que incentiven la inversión en tecnología y conocimiento por parte de las empresas, o que por lo menos atenúen los riesgos que conlleva dicho proceso. Desde finales de la década de 1990, la discusión teórica sobre la innovación atiende dos cuestiones centrales: las características del contexto institucional que favorece la innovación y las políticas públicas para su promoción. Respecto al primer tema, el enfoque de Sistemas de Innovación –nacionales, regionales, sectoriales– ha ofrecido interesantes estudios sobre la estructura y funciones relevantes que conforman un contexto sistémico en el que las empresas construyen y explotan sus capacidades de innovación. En relación al tema de las políticas públicas, la discusión aborda aquellas que estimulan la actividad innovadora de las empresas y las que coadyuvan a la construcción del contexto promotor de la innovación.

En este capítulo nos interesa reflexionar sobre la importancia de las políticas de innovación para el caso mexicano, partiendo de la hipótesis de que a la fecha estas han carecido de un enfoque sectorial que dé prioridad a determinados campos de la ciencia y la tecnología, como puede ser el caso de la biotecnología. Como otros capítulos de este volumen lo estudian con mayor profundidad, la biotecnología es un área de conocimiento científico y tecnológico que ofrece ventanas de oportunidad para la innovación con impactos positivos en ámbitos de la salud y la producción de alimentos, lo que a su vez puede repercutir en el desarrollo socioeconómico de los países.

En un primer apartado presentamos brevemente una definición de innovación, con énfasis en la dimensión multidimensional que la caracteriza hoy día. En seguida retomamos la discusión so-

bre el contexto cuyas características y dinámica pueden (o deberían) favorecer la innovación. Para ello revisaremos algunos aspectos del enfoque de los Sistemas de Innovación, sobre todo desde la perspectiva sectorial. Posteriormente planteamos los principales aspectos que pautan la definición de la política pública en materia de innovación, como preámbulo a la reflexión del caso mexicano. Finalmente, concluimos sobre los desafíos actuales que representa el diseño de política de innovación para el caso mexicano en el contexto de las oportunidades que ofrecen nuevos campos como la biotecnología.

## *II. El enfoque actual sobre la innovación*

La innovación es entendida hoy día como un proceso que va desde la concepción de una idea novedosa, pasando por el diseño, elaboración del prototipo, escalamiento del proceso, hasta la comercialización de un producto nuevo o mejorado para el mercado global o regional. Dicho proceso incluye diversos grados de uso del conocimiento disponible, de adaptaciones tecnológicas y organizacionales, de relaciones de la empresa con actores ubicados en distintos lugares de la cadena de valor, de vínculos institucionales en el nivel productivo, científico, financiero, entre los más destacados.

Debemos considerar dos dimensiones importantes que conlleva de proceso de innovación. La primera se refiere a los riesgos que implica para las empresas por varias razones. De entrada, los mercados son imperfectos, inciertos y no garantizan que un producto nuevo o mejorado se venda y permita obtener las rentas esperadas por la empresa que invirtió en insumos tecnológicos y en recursos humanos para su diseño, el desarrollo del prototipo y su



escalamiento hacia la comercialización. Existen competidores que pueden elaborar un producto similar con mejores atributos o menor precio; clientes con distintos gustos y necesidades, o grados de exigencia para la calidad. Existen asimismo determinadas normas que cumplir, sobre todo en lo que respecta a la protección de la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, aquella empresa cuya estrategia de competitividad se finca en la innovación, debe tener suficiente capacidad financiera y organizacional para asumir estos riesgos.

La segunda dimensión se refiere al aprendizaje que deben llevar a cabo las empresas para avanzar en la trayectoria del conocimiento científico y tecnológico del sector al que pertenecen, cuya evolución es cada vez más veloz. Buena parte del conocimiento y las tecnologías que las empresas deben adquirir para llevar a cabo actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) como etapa previa a la innovación, se encuentra disponible en el entorno. Una parte de ese conocimiento se puede obtener de publicaciones y patentes, mientras que otra parte está depositada en instituciones académicas dedicadas a la investigación científica y tecnológica, en sus laboratorios, en sus investigadores; y muchas veces no están dispuestos (ni habilitados) a difundirlo de acuerdo a las necesidades de las empresas que buscan innovar.

Por lo anterior, explorar y explotar el conocimiento que se requiere para innovar, implica el despliegue de capacidades de vigilancia y absorción tecnológica para aprovecharlo, y de capacidades para articularlo con el conocimiento que ya posee la propia empresa. Se trata de capacidades de aprendizaje tecnológico y organizacional y que es una condición *sine qua non* previa al desarrollo de innovaciones. El aprendizaje es un proceso colectivo que incluye aspectos como la capacidad para organizar los conocimientos al-

macenados en la empresa –incorporados en los equipos o depositados en los actores que la componen–, para memorizar las experiencias positivas, para explorar y adquirir conocimientos nuevos y combinados con los que han adquirido anteriormente, ya sea en la empresa misma, en otras empresas, o incluso en los procesos de formación escolar y técnica (Villavicencio y Arvanitis, 1994). Así, con fundamento en las capacidades de aprendizaje, la innovación es un proceso de creación de conocimiento nuevo donde se combina el conocimiento existente en la empresa y con el que obtiene de su entorno.

El aprendizaje y la capitalización del conocimiento, así como la capacidad de transformarlo en nuevos procesos productivos y productos, constituyen factores medulares de innovación de las empresas. En ese sentido, durante las últimas dos décadas hemos observado importantes cambios en los modelos de gestión tecnológica en las empresas y en la propia dinámica organizacional haciéndolas más “abiertas” hacia el exterior con la finalidad de absorber el mayor conocimiento posible y a menores costos. En efecto, la creación de unidades de vigilancia tecnológica o de vinculación con centros públicos de investigación en el seno de las empresas; la participación en clústeres de proveedores, los contratos con oficinas de transferencia tecnológica (OTTs) y más recientemente la aparición de redes de innovación colaborativa empresa-academia, son ejemplos que dan cuenta de las distintas formas con que las empresas procuran acceder a conocimientos científicos y tecnológicos que requieren para innovar (Smits y Khulmann, 2004).

Ahora bien, toda empresa pertenece a un sector industrial y por ello está inserta en determinadas trayectorias tecnológicas y patrones productivos. Lo anterior determina las formas organizativas de su proceso de producción, los insumos tecnológicos y

cognitivos que requiere, así como el tipo y naturaleza de relaciones que puede o debería establecer con agentes de su entorno. Estas especificidades definen el espectro de las posibles innovaciones para las empresas. No es lo mismo innovar en la industria automotriz que en la farmacéutica; como tampoco se requieren los mismos conocimientos para mejorar un producto en la industria del calzado que en la agroalimentaria. Así, de acuerdo con el sector de pertenencia los costos de producción, los insumos cognitivos, los vínculos con otros agentes, los riesgos que supone una innovación son diferentes.

### *i) El enfoque de los Sistemas de Innovación*

Las empresas aprenden a desenvolverse en un contexto caracterizado por productos y tecnologías específicas, así como por aspectos institucionales y cognitivos también específicos. El contexto delimita el conocimiento disponible, sus fuentes y las vías de acceso para las empresas, y define la dinámica socio-institucional y económica en que pueden prosperar, innovar o fenecer. La dimensión institucional a su vez puede evolucionar en función de factores económicos –i. e. aranceles, devaluaciones e inflación– sociales –patrones de consumo– y políticos –alternancia política, planes de gobierno– y en ese proceso evolutivo pueden surgir estructuras, reglas de juego y oportunidades que incentiven la innovación, o barreras que la impidan.<sup>1</sup>

Hace tres décadas apareció el concepto de Sistema Nacional de Innovación (SNI) como reflejo del éxito que tenía Japón en la

1 Las barreras a la innovación pueden tener un carácter interno, inherentes a la organización, las capacidades productivas de las empresas y el comportamiento del personal; pero como apunta Hadjimanolis (2003), también pueden ser imputables a dimensiones externas como las reglas institucionales del contexto y del mercado.

implementación de políticas industriales y tecnológicas que dieron empuje y dinamismo a su economía. El ejemplo dio origen a una interesante discusión sobre el contexto en el que las empresas pueden incrementar sus capacidades de innovación, en el marco de ciertas condiciones institucionales y determinadas dinámicas de mercado. En esa época surgieron diversos estudios comparativos sobre las características y el desempeño de los SNI de distintos países. La discusión de los SNI llevó a los estudiosos a reflexionar sobre el carácter sistémico y multidimensional del proceso de innovación, y a proponer recomendaciones de política pública que fueron tomando legitimidad al momento en que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) promulgó el uso de los instrumentos y del concepto mismo de SNI para definir las estrategias de innovación y competitividad en el marco del proceso de globalización de la economía primero, y posteriormente en el contexto de lo que se denominó la economía del conocimiento (OCDE, 1998).

Sin embargo, el concepto de SNI presenta problemas metodológicos al momento de utilizarlo en la investigación empírica. Desde la perspectiva de la dimensión nacional, los países no pueden incluir todas las industrias, empresas y sectores en la estrategia de la innovación. En efecto, la literatura que surgió durante la década de 1990 con motivo de la exploración empírica de los SNI (Nelson, 1993), dio cuenta de la imposibilidad de contar con las condiciones necesarias para que la innovación asuma un carácter “nacional” y por ello, el concepto debe tomarse como una herramienta analítica para guiar la reflexión sobre las capacidades de innovación en los países y la definición de políticas públicas (Edquist, 1997).

Por otro lado, hay elementos del contexto que han estado ausentes en la discusión de la estructura y las funciones que ocurren

en los SNIs para potenciar la innovación de las empresas, como es el sistema financiero, el sistema educativo, las regulaciones ambientales, sanitarias, laborales, o incluso la dinámica de las relaciones políticas. Estos son aspectos que tienen efectos en el comportamiento de la sociedad en general, con impactos positivos o negativos en el desempeño productivo y tecnológico de las empresas, por lo que deben incorporarse al estudio de los sistemas de innovación. En este sentido a través de la noción de Sistemas Sociales de Innovación Amable, Barré y Boyer (1997) propusieron incorporar varias dimensiones de la vida social y económica de los países, más allá de la actividad restringida de las empresas, centros de investigación, organismos de servicios tecnológicos y de formación de recursos humanos. Aunque su propuesta no tuvo mucha difusión, parece interesante porque retoma elementos de la vida social y política que contribuyen a la construcción de reglas de juego institucionales que inciden directamente en el comportamiento de los mercados, y pueden constituir barreras o incentivos a la innovación.

El ejemplo más claro se observa en países con regímenes políticos cambiantes como México, donde los proyectos y los instrumentos de planificación se reinventan cada determinado periodo, por lo que el alcance y metas de las estrategias de innovación de las empresas se ve limitado en gran medida por los ciclos de los regímenes gubernamentales. Tales regímenes definen implícita o explícitamente las reglas del comportamiento de la macroeconomía y con ello pueden coadyuvar o no a remediar las imperfecciones del mercado.

### *La dimensión regional*

Las empresas contratan servicios de diversa índole en el espacio geográfico en el que se desenvuelven, tales como asistencia técnica, capacitación de recursos humanos; servicios financieros, de metrología, pruebas de laboratorio; así como servicios de distintas agencias gubernamentales de fomento a las exportaciones o de propiedad intelectual, por ejemplo; estos servicios representan costos para las empresa por lo que su cercanía o lejanía es un factor decisivo para la competitividad. Desde esta perspectiva, las ciudades y regiones que ofrecen mayor densidad y oferta de tales servicios, así como mayor disponibilidad de recursos humanos especializados (*i. e.* ingenieros) y de centros de investigación científica y tecnológica, representan zonas de atracción para la localización de empresas que buscan mejorar su competitividad y eventualmente su capacidad de innovación. Además de la disponibilidad de insumos tangibles, la disponibilidad de un insumo intangible como el conocimiento, constituyen los atributos de un territorio favorable a la innovación.

Diversos ejemplos de regiones en países europeos con tales características dieron origen a la noción de Sistemas Regionales de Innovación (SRI). En dichos ejemplos se observó el proceso histórico de co-evolución entre las dinámicas del emprendimiento, la innovación tecnológica y organizacional, las políticas públicas, la infraestructura para la producción y la distribución, incluso formas de coordinación que implicaron cooperación público/privada, asociacionismo y participación de actores políticos y económicos en la construcción de proyectos colectivos.<sup>2</sup>

2 Los ejemplos de Sistemas Regionales de Innovación han sido documentados por autores como Braczyk, Cook y Heidenreich (1998), Héraudd (2003), Cook (2004), Doloreux y Parto (2005).

Un aspecto crucial que destaca de las regiones que ejemplifican los SRI, es el potencial para producir y difundir conocimiento con la finalidad de mejorar la capacidad productiva y tecnológica de los agentes del mercado. La disponibilidad y acceso al conocimiento científico y tecnológico reduce brechas cognitivas y aumenta las condiciones para la innovación colectiva, a medida que diversos agentes de la región –productivos y académicos, organismos de apoyo, agencias de gobierno– cooperan para generar un círculo virtuoso donde todos ganan.

### *La dimensión sectorial*

En una región o país hay presencia de distintos sectores productivos simultáneamente. Las empresas de estos sectores aprovechan los insumos tangibles e intangibles que ofrece el territorio, pero de distinta manera. En efecto, en cada sector la organización de los procesos productivos y de la cadena de valor está en función del tipo de producto, lo que conlleva distintas demandas de materia prima, de tecnología, de recursos humanos y de conocimiento que se requiere para fabricarlo.

Desde hace más de tres décadas K. Pavitt (1984) propuso una taxonomía de los sectores que componen las industrias con base en los patrones de uso del conocimiento y de sus trayectorias tecnológicas. De acuerdo con el autor, hay sectores más intensivos en conocimiento que otros –i. e. química, farmacéutica, biotecnología, nanotecnología–; hay sectores cuyos patrones de cambio tecnológico están determinados por la demanda de los clientes mientras que en otros, la trayectoria tecnológica se define por las empresas proveedoras de maquinaria y equipo. Sin duda alguna, el sector al que pertenecen las empresas determina el tipo de conocimiento

que forma parte del núcleo de los productos y procesos productivos, el que pueden obtener de las universidades y los centros de investigación o de otras fuentes (Salais y Storper 1993); así como el conocimiento que necesitan desarrollar para permanecer en la cadena de valor, o para innovar y escalar a eslabones superiores de dicha cadena.

Las ideas anteriores están en el origen del concepto de Sistemas Sectoriales de Innovación (SSI) que, a diferencia de los SNI y los SRI, enfoca el análisis a la trayectoria de innovación que ocurre en un sector, atendiendo a las características de la producción, el conocimiento y la tecnología dominantes, así como a los actores, sus interacciones y las instituciones que regulan en diferentes niveles el comportamiento de las empresas y del mercado (Malerba, 2004).

El enfoque de SSI nos parece conceptual y metodológicamente más pertinente que los SNI y SRI para analizar las dinámicas de innovación, en la medida en que permite discernir los patrones de aprendizaje y apropiación del conocimiento de un conjunto de empresas que comparten algunas características. El sector define la forma en que se encadenan las unidades productivas, los grados de especialización y proveeduría, el volumen y los estándares de producción. Define asimismo, las normas de propiedad intelectual, de sanidad y ética que rigen la difusión y uso de las innovaciones.

Así, las características de los productos, la base particular de conocimiento y el tipo de tecnología que reclama el proceso productivo, pautan las particularidades de los sectores. Hay sectores que utilizan tecnologías maduras, donde la competitividad se define más en los costos, la calidad del producto y el volumen de producción y menos en la oferta de innovaciones incrementales o radicales. Mientras que otros sectores aprovechan en mayor medida las oportu-



tunidades que brindan las tecnologías emergentes (*i. e.* la biotecnología) para desarrollar una trayectoria de aprendizaje e innovación.

La forma en que se expresa la demanda de los productos también es un factor específico de cada sector. Aquí podemos distinguir entre mercados de productos estandarizados de consumo masivo o especializados de consumo restringido; mercados de productos intermedios simples o complejos; productos perecederos y no perecederos, etcétera. Para cada tipo de producto, los esquemas de fijación de precios, modos de comercialización, y relación con el cliente son diferentes, por lo que el ritmo con el que los mercados acogen las innovaciones es también diferente.

Si consideramos la biotecnología (agrícola, farmacéutica, ambiental) como un sector intensivo en conocimiento, la relación entre empresas e instituciones académicas es fundamental para el desarrollo del conocimiento susceptible de ser utilizado para innovar. Se requieren pruebas de laboratorio y cumplimiento de estándares sanitarios que además alargan el ciclo que va de la concepción del invento a su comercialización. En otros sectores como como el cuero y el calzado, la innovación se presenta en el uso de nuevos materiales, el diseño y una mayor eficiencia en el proceso productivo (ahorro energético, acortamiento o supresión de etapas de fabricación). Las empresas de este sector cuentan generalmente con unidades o departamentos encargados de llevar a cabo los cambios en diseño de producto y de proceso, y las relaciones que establecen con las universidades son por lo general para asistencia técnica, desarrollo de software, capacitación profesional entre otros temas, y no para obtener insumos cognitivos fundamentales para a la innovación.<sup>3</sup>

.....  
3 Cf. Martínez A. (2009).

Así pues, de acuerdo con el tipo de producto, tecnologías y conocimiento incorporado, para desarrollar innovaciones serán más o menos necesarias las interacciones con instituciones académicas, se requerirán más o menos recursos humanos altamente calificados, existirán distintas normas de calidad, habrá distinta densidad de redes de proveeduría y entidades de servicios tecnológicos. Cada sector también se distingue en cuanto al tipo y concentración de agentes que lo componen, y las interacciones que establecen entre sí. Por lo anterior, el mercado no constituye un espacio homogéneo de concurrencia de actores heterogéneos, es más bien una composición heterogénea de esferas de aglomeración y competencia de actores con capacidades desiguales pero que desde el punto de vista sectorial, comparten pautas comunes de comportamiento organizacional, productivo y tecnológico, así como trayectorias de aprendizaje y explotación de conocimiento. Dicho de otra manera, los mercados también tienen un referente sectorial y por ende, presentan distintas dinámicas de competitividad, y brindan oportunidades diferentes para la innovación.

Además de las reglas de juego macroeconómico y sectorial –certificaciones, sanidad, metrología, etc.– que forman parte de las instituciones “intangibles”, existen instituciones u organismos que coadyuvan al devenir del sector, tales como empresas de servicios tecnológicos, de pruebas de laboratorio, de capacitación profesional, de metrología, cámaras de industria, sindicatos de industria, agencias gubernamentales especializadas. Las universidades por su parte crean programas de posgrado en campos específicos del conocimiento y con ello proveen de recursos humanos con una formación con enfoque sectorial, mientras que los centros de investigación científica básica y aplicada también llevan a cabo proyectos con enfoque disciplinario y sectorial. Todas estas institu-

ciones pueden participar con distintos grados en la dinámica de los mercados y en la construcción de la trayectoria productiva y tecnológica de los sectores.

En ese sentido, el desarrollo de tecnologías incorporadas en los procesos productivos, la evolución de la demanda, las innovaciones introducidas en los mercados, el juego de la competencia entre empresas y el devenir de la macroeconomía en general, pautan la evolución de los sectores y con ello la evolución de las instituciones. Es bajo esta lógica de co-evolución de tecnologías y productos, reglas de comportamiento y formas de interacción entre los actores en los distintos sectores que el enfoque de los SSI ofrece una mejor comprensión de la forma en que se construye el régimen de creación y explotación del conocimiento científico y tecnológico, y de las trayectorias de innovación de las empresas.

#### *ii) Convergencia cognitiva y cambios en el sistema de innovación*

Antes de pasar a la discusión sobre las políticas de innovación, hemos de retomar una cuestión relativa a la coexistencia y vínculos de sectores en la economía. Se trata de la convergencia tecnológica que puede existir entre sectores y entre las empresas mismas en función del tipo de productos que fabrican. En efecto, en el mundo de la producción –industrial, agrícola, extractiva, de servicios...–, los sectores productivos están en estrecha relación entre sí, en tanto que en unos se elaboran productos que son insumos para otros. Por ejemplo, la industria automotriz no puede existir sin la proveeduría de la industria electrónica, metalmecánica, plásticos, textil e incluso la industria del curtido y procesado de la piel vacuna. Otro ejemplo es el sector de las denominadas tecnologías de la salud, que combinan

farmacéutica, química, biotecnología, nanotecnología, tecnologías de la información para el desarrollo de instrumentos terapéuticos, protocolos y medicamentos menos invasivos, dispositivos de simulación para diagnósticos y tratamientos, por sólo señalar algunos.

En la producción y procesamiento de alimentos convergen igualmente distintos sectores. Los fertilizantes químicos o los biofertilizantes a base de biotecnología; la industria de la madera, el cartón, el plástico, el aluminio y el vidrio para el envasado y el empaquetado; algunas empresas procesadoras de alimentos utilizan colorantes, saborizantes y conservantes químicos o de origen vegetal. Para el cumplimiento de estándares de calidad, de inocuidad y sanidad las empresas están obligadas a instalar dispositivos informáticos de medición y control en los procesos productivos, por lo que la electrónica y el software forman parte de los insumos tecnológicos que requieren estas empresas para garantizar la eficiencia de sus procesos productivos y competitividad de sus productos.

Así, en la producción de bienes y servicios muchos sectores convergen de manera significativa y van generando interacciones que conllevan distintas formas de proximidad cognitiva entre los actores de los sectores convergentes: empresas, universidades, centros de investigación, agencias gubernamentales, oficinas de transferencia tecnológica. La proximidad cognitiva hace más plausible la transferencia de conocimiento entre actores de un mismo sector y de sectores convergentes. Con el paso del tiempo, puede generarse una base de conocimiento que resulta ser transversal a todos ellos, lo que los conduce a participar en la construcción de una trayectoria tecnológica común y a co-evolucionar en la misma dirección.

Las denominadas tecnologías emergentes y de carácter transversal como la nanotecnología o la biotecnología, representan áreas

de conocimiento científico y tecnológico que coadyuvan a la convergencia cognitiva entre distintos sectores. Su incorporación en la producción de bienes –i. e. la biotecnología para la producción de alimentos o de fármacos– ha ido provocando que algunas empresas desarrollen capacidades de aprendizaje, asimilación de conocimientos nuevos, interacción con actores de la academia y adopción de pautas organizacionales en vías de la certificación. Durante casi dos décadas, hemos asistido en distintas partes del plantea, a la transformación paulatina de lo que Geels (2002, 2005) ha llamado los sistemas socio-técnicos gracias a la difusión de las tecnologías emergentes y transversales. Los sistemas socio-técnicos (al igual que el concepto de Sistemas de Innovación) involucran actores de la esfera productiva, académica, gubernamental; y de acuerdo con el citado autor, una innovación de producto o proceso productivo puede provocar cambios en otros procesos y productos de manera encadenada hasta tener un impacto importante en distintos ámbitos del sistema socio-técnico. Con el paso del tiempo, el sistema socio-técnico va mutando en la medida en que se encuentran nuevas oportunidades de aplicación del conocimiento (innovaciones subsecuentes), que abren nuevas oportunidades de mercado, y que implican nuevas reglas institucionales, etcétera... El actual uso generalizado de la microelectrónica hoy día, es una clara muestra de cómo innovaciones introducidas hace más de cuatro décadas fueron provocando cambios en todas las esferas de la producción industrial y los servicios a nivel planetario.

Sin embargo, las mutaciones del sistema a partir de las innovaciones como la microelectrónica en el siglo pasado, o la nano y biotecnología en este siglo, son posibles en la medida en que van acompañadas de dispositivos institucionales de adopción, difusión y fomento; a través de nuevas reglas de juego y de incentivos

específicos derivados de las políticas públicas. Es en esta dirección que la OCDE (2009b) hace un llamado para que los sectores productivo, académico y gubernamental reconozcan el potencial de la biotecnología y definan los criterios del diálogo político que permita diseñar una agenda a futuro para su aprovechamiento en los ámbitos de la agricultura, la salud y la producción industrial.

### *III. Políticas públicas e innovación*

Durante la década de 1990, el procesos de globalización de la economía y la necesidad de mejorar la competitividad de las empresas (y los países) pusieron en evidencia la obsolescencia de los modelos de política de fomento a la industria, la ciencia y la tecnología, enfocados en la oferta de instrumentos que no discriminaban entre el tipo de empresas, los sectores, la organización industrial, ni los productos; modelos con criterios de asignación de recursos que tampoco tomaban en cuenta las trayectorias tecnológicas de cada sector, ni la demanda de conocimiento por parte de los agentes del mercado. Las políticas fueron cambiando conforme la competencia por mercados globales hizo necesaria una diversificación del tipo de instrumentos y sobre todo, de los conceptos y criterios que daban sustento al enfoque de las políticas.

Antes de analizar los modelos actuales de políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) es necesario responder a las siguientes interrogantes ¿Por qué es necesaria la intervención del gobierno en la regulación de los mercados? ¿Cuál es el interés del gobierno en fomentar la innovación en las empresas de un sector, o de un país a través de la política pública? Durante muchos años la ciencia económica postuló que los mercados eran capaces de garantizar por sí mismos la dinámica de producción,

los precios, la competencia... y llegar a situaciones óptimas de autorregulación.

Hoy sabemos que no ocurre así; que existen “fallas” de distinta naturaleza que resultan de las interacciones entre los distintos agentes, así como fallas inherentes a las condiciones sociales y políticas que constituyen el marco referencial en el que se desenvuelven e interactúan los agentes (Granovetter 1985 y 2000; Swedberg, 1993; François, 2008). La competencia genera espacios de tensión y de conflicto por lo que la intervención del gobierno a través de instituciones y normas contribuye a reducir los efectos negativos del mercado sobre el comportamiento de las empresas.

Desde la perspectiva de la economía evolutiva, Edquist (2002) plantea que la política pública ayuda a resolver los “problemas” del contexto y a crear oportunidades de cambio. En este sentido, la finalidad de una política pública de CTI debe comprenderse desde la perspectiva de la solución a cuestiones como la difusión y el acceso al conocimiento, la transferencia tecnológica, la protección de la propiedad intelectual; así como a garantizar los mecanismos de financiamiento y apropiación de la renta tecnológica.

La heterogeneidad de intereses y comportamientos que expresan los distintos actores en los contextos científicos, tecnológicos y productivos, provoca contingencias que se traducen en espacios de incertidumbre y conflicto. Es por ello que los gobiernos intervienen a través de diversos mecanismos para asignar roles y reglas de coordinación y para resolver los problemas que el mercado no puede resolver. De manera paralela, la intervención del gobierno sirve para crear incentivos, es decir, inductores de cambio en el comportamiento de los agentes.

En un sentido más amplio, existen factores necesarios a la producción que las empresas por sí mismas no pueden crear, como

por ejemplo la infraestructura adecuada para la comercialización de los productos –vías de comunicación, redes de energía–, servicios de salud y capacitación para el personal, logística para el comercio exterior, entre otras. El aprovisionamiento de dichos factores recae en gran medida en la intervención del Estado a través de programas de fomento y de inversión estatal en obra pública.

En un apartado anterior señalamos que la innovación es un proceso de asimilación, combinación y creación de conocimiento nuevo, por lo que la disponibilidad de conocimiento científico y tecnológico es condición necesaria para que las empresas puedan innovar. Sin embargo, ninguna empresa tiene la capacidad de almacenar todo el conocimiento que necesita para crear nuevos productos y procesos productivos. Parte de ese conocimiento está disponible por ejemplo en las patentes; otra parte, se encuentra en instituciones académicas dedicadas a la investigación. En ese sentido, una de las problemáticas que intentan resolver los instrumentos de la política pública hace referencia los incentivos para la cooperación y la transferencia de conocimiento entre universidades y empresas.

Algunos estudios recientes revelan cambios en la concepción y la instrumentación de las políticas de CTI, ya que toman en cuenta los diferenciales sobre las capacidades productivas y competencias tecnológicas de las empresas, y que buscan crear condiciones para acelerar sus procesos de aprendizaje tecnológico y organizacional para con ello incrementar el potencial de innovación. El objetivo es contribuir a la construcción de un marco institucional que dé sustento a la innovación desde una perspectiva sistémica (Larédo y Mustar, 2001; Archibugi y Iammarino, 2003); al atacar a la vez aspectos relacionados con la infraestructura del sistema de innovación, las interacciones entre los actores y las funciones atribuibles



a las instituciones del propio sistema; ya sea con carácter sectorial, regional o nacional (Wieczorek y Hekkert, 2012).

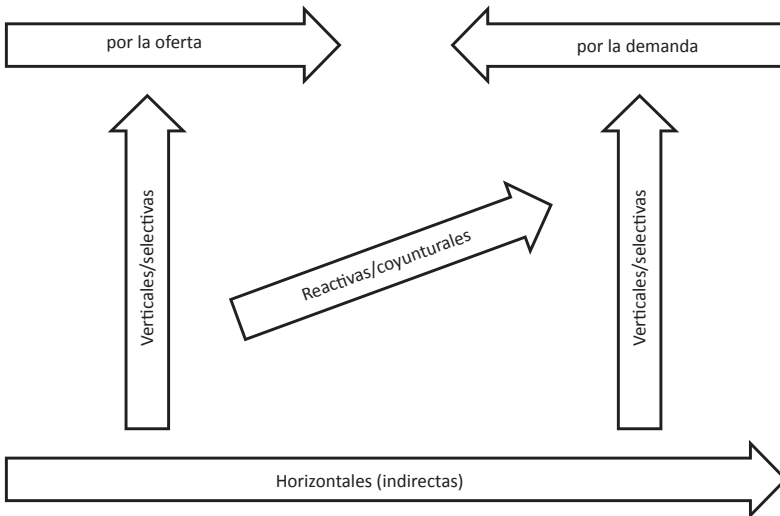
Un importante cambio en los criterios de definición de instrumentos es el abandono de asignación directa de recursos financieros a las empresas, que es sustituido por mecanismos fiscales incitativos a la inversión en I+D y mecanismos de co-inversión con instituciones académicas para investigación científica y tecnológica, con agencias de gobierno y otras entidades no productivas (*clústeres*, asociaciones empresariales, consorcios de investigación). Los apoyos bajo la forma de co-inversión permiten ahorrar una parte de los costos de I+D para aquellas empresas que no tienen la capacidad financiera, ni suficiente infraestructura para I+D, como las pequeñas y medianas empresas. Por el lado de las instituciones académicas y de investigación, su asociación con empresas permite obtener recursos para la investigación y la aplicación productiva del conocimiento, incluso la obtención de co-patentes que derivan de los proyectos.

Así, poco a poco se ha ido abandonando la concepción de oferta directa de recursos como en enfoque de la política de CTI, dando paso a una combinación de políticas horizontales y verticales, genéricas y selectivas –o con enfoque sectorial–, de descuentos fiscales, créditos preferenciales, de regulaciones y normas específicas (Flanagan, Uyarra y Laranja, 2011). Se trata de una composición organizada de instrumentos que pretende resolver problemas y carencias en distintos niveles y ofrecer condiciones favorables a la innovación de acuerdo a las heterogéneas necesidades de las empresas.

El diagrama 1 pretende ilustrar la combinación de estrategias que hoy están presentes en el diseño de la política de CTI en diversos países, y que responden distintas necesidades tanto de carácter

general como la infraestructura para la investigación, la formación de recursos humanos, los servicios de metrología, propiedad intelectual y certificación, que denominamos estrategias –e instrumentos– horizontales o genéricos. Los de carácter específico que se enfocan a procurar condiciones para la innovación en sectores o regiones, y que en el diagrama se muestran como verticales o específicas. Incluso aquellas que surgen para coadyuvar a la solución de problemáticas y situaciones imprevistas, que pueden tener un carácter general, sectorial o regional y que denominamos reactivas o coyunturales. Todas presentan un doble carácter en el sentido que orientan tanto a las características de la demanda y como las de la oferta de conocimiento científico y tecnológico.

**Diagrama 1**  
**Combinación de las estrategias de la política de CTI**



Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, la combinación de instrumentos y objetivos, criterios e instrumentos presenta dos aspectos en cierta medida paradójicos. En primer lugar, está una cuestión de selección de los actores en el marco de la disponibilidad de recursos y las prioridades del país. En efecto, los beneficios otorgados a un conjunto de actores a través de un programa derivado de la política o de sus formas de aplicación en el marco de las reglas institucionales vigentes pueden contravenir el comportamiento y las estrategias de innovación de otros. Tal es el caso de los estándares y regulaciones relacionados con protección del medio ambiente o la salud humana.

En segundo lugar, tenemos el factor tiempo y los ciclos de la política en relación a la concepción e implementación de los instrumentos, incluso en sus objetivos. La inmutabilidad de la política puede provocar círculos viciosos en el comportamiento de los agentes, zonas de confort en las que no es necesario mejorar las capacidades de aprendizaje con el consecuente estancamiento de los procesos de innovación. El diseño conceptual de las políticas y sus formas de implementación deberían estar por tanto sujetos a un continuo proceso de aprendizaje por parte de los tomadores de decisión (Nylhom *et al.*, 2001). Pero para ello se requiere de procesos rigurosos y permanentes de evaluación del impacto que van alcanzando.

Asimismo, las políticas de CTI deben evolucionar en la medida en que los sectores, los mercados y las capacidades tecnológicas de las empresas van mutando, y en la medida en que las condiciones económicas y político-sociales de un país cambian de manera coyuntural o planificada. En este sentido no existen modelos únicos de política pública, sino que cada país despliega diversos instrumentos con la finalidad de potenciar las capacidades de innovación al tomar en cuenta la base científica y tecnológica pre-existen-

te, los aspectos sectoriales, institucionales, regulatorios, sociales, y macroeconómicos que les caracteriza.

Ahora bien, Borrás y Edquist, (2013) apuntan que la innovación no es una meta en sí misma, sino que forma parte de metas más generales como sustentabilidad, generación de mayor riqueza, salud, desarrollo socioeconómico. Los objetivos, criterios e instrumentos que subyacen a las políticas de CTI derivan –en principio–, de las prioridades de desarrollo socioeconómico de los países, por lo que necesariamente ponen el foco en algunos sectores estratégicos. De igual forma y desde una perspectiva sistémica, la concepción e implementación de dichas políticas no escapa a las condiciones institucionales que predominan en distintos niveles de la esfera económica, política y social de los países. A fin de cuentas, el impacto positivo de las políticas de CTI será mayor en la medida en que éstas tengan estrecha relación con el conjunto de políticas sectoriales –industrial, educativa, agroalimentaria, ambiental, salud, etc.– de un país; y coadyuven a la solución de los problemas y a la consecución de las metas prioritarias.

#### *IV. La política de innovación a la mexicana*

¿Cuáles son los principales rasgos de la política de innovación en México? En este apartado pretendemos responder a la pregunta a partir de una reflexión general sobre las características de los programas existentes de fomento a la innovación en nuestro país, en el marco de las ideas planteadas en los párrafos anteriores.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) ha sido el organismo encargado de fomentar el desarrollo científico y tecnológico del país desde la década de 1970 a través de distintos instrumentos. Sin embargo, podemos decir que una política de in-

novación como tal en México data de principios de este siglo (Villavicencio 2009).

La principal misión del Conacyt durante las décadas de 1970 y 1980 fue el apoyo a la formación de recursos humanos y el desarrollo de infraestructura para la investigación científica. Durante esa etapa que se caracterizó por la prevalencia del denominado modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), se observó poca demanda de insumos tecnológicos como resultado del proteccionismo de industrias nacionales poco contribuyó a la inversión en I+D por parte de las empresas mexicana.

Durante el proceso de apertura comercial que se consolidó con la firma de tratados de libre comercio con varios países durante la primera mitad de la década de 1990, el Conacyt implementó programas para el desarrollo tecnológico, que en nuestra opinión promovieron la modernización tecnológica y la eficiencia de los procesos productivos, principalmente de las pequeñas y medianas empresas, como una acción concomitante al fomento a las redes de proveeduría de los encadenamientos productivos resultantes del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). No obstante la modernización tecnológica ocurrida en muchas empresas mexicanas en sectores como la automotriz, la electrónica y la de bienes de capital durante esa década, los proyectos de I+D e innovación de procesos y productos no reflejaron una estrategia manifiesta por parte de las empresas nacionales ni del Conacyt.

Es a partir del año 2000 que se definieron líneas estratégicas de acción y prioridades en materia de fomento al desarrollo científico, tecnológico y la innovación a través del Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 (PECYT), dando como resultado la implementación de instrumentos con la meta de apoyar el desarrollo de capacidades tecnológicas en las empresas, y de favorecer

el incremento de la inversión privada en actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) e innovación. Desde entonces los programas han ido evolucionando en su diseño y forma de operar, y un balance general permite decir que han contribuido a incrementar las capacidades de desarrollo tecnológico en empresas de algunos sectores de la industria nacional (Villavicencio, 2012).<sup>4</sup> Sin embargo, cabe preguntarse en qué medida se ha cumplido la meta de incrementar las capacidades de innovación de un importante grupo de empresas con derramas e impacto en la competitividad de sectores estratégicos de la economía nacional.

Hasta finales de 2018 había tres los programas de Conacyt directamente relacionados con el tema de la inversión en I+D e innovación por parte de las empresas. Estos son:

- i) El programa de Estímulos Fiscales a la Inversión en Investigación y Desarrollo Tecnológico (EFIDIT) que estuvo vigente durante la primera década del presente siglo, hasta 2008, que cambió de nombre un par de veces y que fue reactivado con nuevas modalidades a fines de 2017;
- ii) El Fondo de Innovación Tecnológica (FIT) co-administrado entre Conacyt y la Secretaría de Economía y que inició a principios de la década pasada con otro nombre pero que ha tenido continuidad hasta nuestros días;
- iii) El Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) con tres modalidades, creado en 2009.<sup>5</sup>

4 Diversos ejemplos se ofrecen en Villavicencio y López (2009); Bracamontes y Contreras (2011); Martínez *et al.* (2011); Carrillo, *et al.* (2012); Villavicencio *et al.*, (2014), Micheli, *et al.* (2012).

5 Tanto el FIT como el PEI son programas que otorgan un subsidio de directo a las empresas, equivalente a menos de 50% del costo del proyecto, mientras que el otro programa corresponde a un reembolso fiscal tras demostrar la inversión ejercida y comprobada en proyectos de I+D.

Durante la década pasada y principios de la presente, existieron otros programas que mediante subsidios directos apoyaron las estrategias de desarrollo tecnológico de las empresas durante algunos años como AVANCE y Última Milla. También existieron programas de apoyo a la colaboración inter empresa y academia-empresa para el desarrollo tecnológico como alianzas estratégicas para innovación (AERIS) y fondos bilaterales con (España, Francia, Israel) para el apoyo a proyectos entre empresas mexicanas con las de otros países para el desarrollo conjunto de tecnología en distintas áreas.<sup>6</sup>

Por su parte la Secretaría de Economía impulsó dos programas en la década pasada con la finalidad de apoyar el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector productivo. Uno de nombre Technological Business Accelerator (TechBA), hace referencia a un esquema de capacitación y aceleración para la internacionalización de negocios de las pymes mexicanas. Y el otro de nombre PROSOFT, con la finalidad de impulsar el desarrollo de la industria nacional del software y las tecnologías de la información.

No es objetivo de este capítulo hacer un análisis detallado del funcionamiento de estos programas y mucho menos dar cuenta de su impacto en la economía nacional. Para ello se requiere de estudios acuciosos con modelos metodológicos que puedan interrelacionar variables de la macroeconomía con variables de las capacidades tecnológicas y productivas de las empresas tomando en cuenta la dimensión sectorial y las cadenas de valor.<sup>7</sup> Estudios que a la fecha no se han realizado y que permitirían comprender

6 Por el lado mexicano las empresas recibieron subsidios mientras que sus contrapartes de otros países recibieron créditos blandos y flexibles.

7 Al respecto conocemos solamente dos publicaciones que presentan estadísticas descriptivas y monografías de empresas consideradas como exitosas que fueron apoyadas por el PEI. Cf. REDNACECYT-Conacyt (2015) y Conacyt (2018).

las ventajas, alcances y limitantes de una política pública de oferta genérica de subsidios a las empresas como catalizador de actividades de innovación de las empresas. En este apartado nos interesa más bien reflexionar sobre el carácter novedoso de las políticas de fomento a la innovación en México, sus alcances y limitaciones retomando los aspectos planteados en los apartados previos. Nos interesa asimismo saber en qué medida apuntan al desarrollo de áreas de conocimiento y tecnologías emergentes y transversales como la biotecnología.

En primera instancia los instrumentos actuales tienen un enfoque que distingue el tamaño de las empresas y, por ende, sus capacidades tecnológicas, financieras, organizativas y productivas. Por ejemplo, dos modalidades del PEI dirigen los apoyos a las pequeñas y medianas empresas, y lo mismo ocurre con el FIT. El programa TechBA se enfocaba a las Pymes de base tecnológica igualmente.

En el caso mexicano los apoyos tienen un carácter de subsidio directo a los proyectos de las empresas, contrariamente a lo que sucede en otros países donde se otorgan créditos flexibles o exenciones fiscales. 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. Aquí podemos plantear dos cuestiones 1) ¿En qué medida la gratuidad de los apoyos incentiva a la ejecución de proyectos cuyas metas deberían apuntar hacia el éxito tecnológico y la viabilidad comercial? 2) ¿Qué relación existe entre la inversión de las empresas en I+D, el gasto público –los subsidios a las empresas– y los beneficios a la sociedad, por ejemplo, a través



de creación de empleos, mejores productos y servicios, derramas a la economía, etc.?

En el texto de Mantilla *et al.* (2018) se cuestiona el PEI y el EFIDIT desde la perspectiva contable, normativa y de sus resultados. Por su parte, K. Unger (2011) hace una crítica al programa el EFIDIT en tanto que tuvo pocos resultados en materia de innovación. Para el autor, el programa no cumplió con sus objetivos puesto que principalmente fomentó mejoras graduales en productos y procesos, en sectores maduros de la economía en pocas empresas y hubo pocos proyectos de base tecnológica. Más allá de las críticas que compartimos con estos autores, 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, lo que impide responder a las interrogantes planteadas arriba.

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. Sin la evaluación del impacto de un programa de política pública, es difícil saber en qué medida se cumplen las metas y en qué momento es necesario modificar, reorientar o interrumpir su ejecución. Como mencionamos en el apartado anterior, la evaluación y evolución son dos dimensiones primordiales para garantizar la eficacia de la política de CTI. La omisión de la primera imposibilita la segunda.<sup>8</sup>

Otra de las dimensiones que destacamos líneas arriba, hace referencia a la necesaria combinación de instrumentos con la finalidad de abarcar una amplia gama de dimensiones y niveles que representan los procesos de desarrollo científico y tecnológico y

8 .....  
Al respecto Mantilla *et al.* (2018) recogen distintas opiniones argumentadas sobre la ineficacia del EFIDIT y del PEI.

la innovación. Sin embargo, no debemos confundir variedad con combinación. Lo sustancial es que los programas tengan una relación jerarquizada entre sí, de manera que los agentes –las empresas– puedan construir una trayectoria ascendente de aprendizaje hacia actividades de I+D cada vez más complejas. A finales de la década pasada, un análisis realizado por la OCDE (2009a) destacaba la repetitividad y traslape de las funciones y metas de los programas de apoyo al desarrollo tecnológico y la innovación administrados por el Conacyt y la Secretaría de Economía. Aunque han ocurrido cambios en la normatividad y reglas de operación de los programas durante la presente década, todavía observamos falta de articulación y relativa independencia entre los instrumentos vigentes; nada impide a las empresas solicitar el subsidio de recursos públicos para ejecutar proyectos de la misma índole año tras año en las distintas ventanillas de los programas y de manera simultánea. En contraste, no existen instrumentos que apoyen el escalamiento industrial y la comercialización de los prototipos tecnológicos o los productos novedosos, de manera que aquellas empresas que no cuentan con capital suficiente para esta última fase de la innovación –las pequeñas empresas por ejemplo– no logran colocar en el mercado los resultados de sus proyectos de I+D.

Todo lo anterior se suma a dos aspectos que nos interesa destacar: la falta de un enfoque sectorial y concomitante con una política de fomento industrial. Más arriba apuntamos la relevancia del carácter sistémico de una política de innovación, en conjunto con instrumentos de política pública en otras esferas de la economía como la industrial, el comercio o las finanzas. La escasez de créditos blandos para la inversión productiva o en I+D, la falta de instrumentos para acompañar el desarrollo o consolidación de cadenas de valor –agroalimentos, química por mencionar dos

ejemplos-, aunado a la apertura del mercado y los numerosos tratados de libre comercio que favorecen la importación de infinidad de productos básicos, intermedios y finales en prácticamente todos los sectores de la economía, han contribuido a la creación de un contexto de incertidumbre para las empresas nacionales donde la tasa de retorno de las innovaciones no está garantizada.<sup>9</sup> Quizá eso explica que la inversión privada en actividades de I+D por parte de las empresas mexicanas no se haya incrementado en relación a los recursos públicos otorgados por el PEI.<sup>10</sup>

Desde la perspectiva sectorial, tanto TechBA como el PROSOFT tuvieron en su origen una vocación hacia sectores específicos. El programa de aceleración de negocios de base tecnológica TechBA, apoyó empresas de biotecnología y alimentos, salud, nuevos materiales, electrónica y autopartes; dependiendo de los mercados extranjeros de destino de las innovaciones. Por su parte el PROSOFT estuvo enfocado a la promoción y desarrollo de empresas en distintos segmentos del software y las tecnologías de información. Ambos programas tuvieron claramente la vocación de fomentar empresas de base tecnológica en sectores que podemos considerar intensivos en conocimiento. Por su parte, el FIT pasó de convocar a proyectos desde la perspectiva de ramas industriales a la de áreas prioritarias y tecnologías transversales como los nuevos materiales, nanotecnología, electrónica o biotecnología, con un enfoque de apoyo a las pymes principalmente (Villavicencio, 2009). En contraste, el EFIDIT y el PEI no toman en cuenta la variable sectorial como criterio para convocatoria y la selección de los proyectos a apoyar.

9 Como resultado de tres décadas de tal situación, la producción de empresas nacionales se caracteriza por los bienes de bajo valor agregado y nivel tecnológico intermedio, con excepción de algunos nichos como el sector de autopartes y algunos segmentos de la industria eléctrico/electrónica articulados a cadenas globales de valor.

10 Cf. Capítulo 6 sobre los resultados del PEI en Conacyt (2018).

En una reciente investigación donde analizamos la relación entre demanda de conocimientos científicos y tecnológicos por parte de las empresas que fueron apoyadas por el PEI, y la oferta de conocimientos por las instituciones universitarias y de investigación, pudimos agrupar los proyectos en un gran número de áreas de conocimiento (más de 25).<sup>11</sup> De los 5874 proyectos apoyados de 2009 a 2018 que analizamos, encontramos 223 cuyo tema principal es biotecnología (menos de 5%), ya sea para aspectos de la agricultura, los alimentos, los fármacos u otras temáticas de salud. Quizá hubo otros proyectos que de manera complementaria tuvieron relación con la biotecnología pero no hay información pública que permita saberlo. Lo que nos interesa destacar con este dato, es que al no haber un enfoque sectorial o una definición de prioridades temáticas, los proyectos de biotecnología compiten con proyectos de muchas otras áreas del conocimiento como software (877 proyectos apoyados), mecánica (856), eléctrica y electrónica (337), o química (285).

Líneas arriba explicamos que los sectores se distinguen por los productos y las trayectorias tecnológicas que conllevan, mismas que cuentan con ciclos, etapas y condiciones de desarrollo distintas en función de la complejidad del conocimiento científico y tecnológico que conllevan. La diferencia de productos (y mercados) juega un rol decisivo para la conformación de las reglas institucionales que pautan el comportamiento de las empresas como los estándares de calidad, la metrología, la sanidad, las certificaciones ambientales, entre muchas otras.

La ausencia de un enfoque sectorial o de áreas de conocimiento impide llevar a cabo una distribución estratégica de los subsi-

.....  
 11 La investigación fue auspiciada por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Véase Villavicencio, 2018.

dios en función de prioridades nacionales de desarrollo industrial y económico. En este marco la competencia por los fondos puede traducirse en una tendencia a la concentración de apoyos en pocas empresas en el corto plazo. Así, en la reciente publicación de Conacyt (2018: 33) se observa que la mayor parte de los recursos del PEI se han destinado al sector automotriz, alimentos y agroindustria, química y tecnologías de la información; para empresas ubicadas principalmente Nuevo León, Jalisco, Estado de México, Puebla y la Ciudad de México.<sup>12</sup> Esta situación suscita interrogantes que atañen a la finalidad del PEI como programa de política pública que pretende incentivar la innovación: ¿con el esquema de subsidios será posible incrementar la masa crítica de empresas mexicanas con capacidad para invertir en actividades de innovación de manera sostenida en el tiempo? ¿cómo impulsar la innovación en áreas emergentes (biotecnología, nanotecnología, nuevos materiales, etc.) ante la ausencia de prioridades sectoriales explícitas en las convocatorias del PEI?

## V. Desafíos a futuro

Lo expuesto en los párrafos anteriores deja en claro que la política de innovación *a la mexicana* ha carecido de un enfoque de prioridades temáticas y sectoriales, con excepción del PROSOFT, el FIT que apunta a áreas tecnológicas como la biotecnología, y TechBA que favoreció empresas de base tecnológica de software, biotecnología y autopartes principalmente. Sin embargo, el instrumento que más recursos ha destinado para fomentar proyectos de innovación ca-

12 La publicación no muestra el número de proyectos apoyados por cada sector ni en todos los sectores de la economía, por lo que no podemos hacer un balance general de la distribución sectorial de los subsidios a las empresas para proyectos de I+D.

reció de una estrategia específica y selectiva para favorecer la innovación en los sectores intensivos en conocimiento y cuyo carácter transversal tiene efectos multiplicadores en otros sectores, como es el caso de la biotecnología.

De acuerdo con varios estudios, el desempeño de la Política de CTI en México se ha caracterizado por una insuficiencia de recursos, falta de coordinación entre programas y ausencia de evaluación del impacto de los instrumentos sobre el crecimiento económico y el bienestar social (FCCYT, 2006; ADIAT, 2006; OCDE, 2009a; Villavicencio, 2009).

Durante la presente década, la política pública de fomento a la innovación implementada por Conacyt logró avances en varios sentidos. Se diseñaron instrumentos para promover la vinculación universidad-empresa, la innovación de las pequeñas y medianas empresas en todos los sectores de la economía, y con ello se favoreció relativamente la participación del financiamiento privado en actividades de I+D, así como la colaboración con instituciones académicas. La reciente implementación de un instrumento para descuento fiscal por actividades de innovación representa un complemento a los subsidios directos a las empresas.

Sin embargo, la inexistencia de un análisis del impacto de los resultados obtenidos tras nueve años de subsidio a las empresas por parte del PEI impide determinar en qué medida la política ha sido exitosa o no. No basta con conocer el número de patentes registradas o en vías de registro, como tampoco es suficiente saber la proporción de la inversión privada en relación al gasto público ejercido. Adicionalmente sería importante conocer el número de empresas que obtuvieron subsidios para dos, tres, cinco o más proyectos, si cada vez fueron tecnológicamente más complejos, cuál fue el efecto de arrastre o encadenamiento productivo que tuvie-

ron, cuántos productos nuevos o mejorados se comercializaron en el mercado nacional o extranjero, etcétera.<sup>13</sup>

Un análisis del impacto de la política pública no sólo hace referencia a los aspectos del uso reglamentario y transparente de los recursos públicos o un ejercicio de estadística descriptiva del comportamiento de los agentes de acuerdo a los lineamientos de los programas. El impacto debe evaluarse en función de varias dimensiones:

- a) De variables contextuales relacionadas con la dinámica de la economía –inversión, empleo, comercio, finanzas–;
- b) De la dinámica tecnológica y económica de los sectores –cadenas de valor, producción y acceso al conocimiento científico y tecnológico, brechas cognitivas–, ya sean maduros o emergentes como la biotecnología;
- c) Del comportamiento de las empresas apoyadas en el marco de las trayectorias tecnológicas involucradas en los proyectos, y en contraste con las empresas que no recibieron apoyo pero que quizá en el estado actual de las cosas son más innovadoras o más competitivas.

Sólo un análisis de esta naturaleza permitiría establecer los alcances de instrumentos que otorgan subsidios directos y definir el esquema de incentivos a la innovación donde se combinen apoyos directos e indirectos, genéricos y selectivos en atención a las áreas prioritarias definidas por la política económica y social, y a las oportunidades del futuro. He aquí el desafío que enfrentan los hacedores de política pública en materia de innovación al cierre de la presente década.

.....  
13 Según los términos de referencia del PEL, las empresas pueden solicitar varios proyectos en el mismo año y cada año sucesivamente.

## Bibliografía

- Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico [ADIAT]. (2006), *Estudio comparativo de los Sistemas de Innovación de México y España*, México: ADIAT.
- Archibugi, D. y Iammarino, S. (2001), The Globalization of Technology and National Policies. En D. Archibugi, y B. A. Lundvall (Eds.), *The Globalizing Learning Economy*, Estados Unidos: Oxford University Press (pp. 111-126).
- Bracamontes A. y Contreras, O. (Eds.). (2011), *Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Económico*, México: COLSON-COECYT.
- Braczyk, H. Cooke, P y Heidenreich, M. (Eds.). (1998), *Regional Innovation Systems*, Pennsylvania: UCL Press.
- Carrillo J., Hualde, A. y Villavicencio, D. (Eds). (2012), *Dilemas de la innovación en México*, COLEF-Red CCS, México.
- Casalet, M. y Stezano, F. (2009), Cambios institucionales para la innovación: nuevos instrumentos de política científica y tecnológica. El caso del consorcio Xignux-Conacyt. En D. Villavicencio y P. López (Coords.), *Sistemas de Innovación en México: regiones, redes y sectores*, México: Plaza y Valdés, pp. 187-216.
- Casper S. y Van Waarden, F. (Eds.). (2005), *Innovation and Institutions*, UK: Edward Elgar.
- Chaminade, C. y Edquist, C. (2010), Rationales for public policy intervention in the innovation process: system of innovation approach. En R. E. Smits, S. Kuhlmann y P. Shapira (Eds.), *The Theory and Practice of Innovation Policy*, UK: Edward Elgar (pp. 95-114).



- Conacyt (2015), <http://www.conacyt.mx/>
- (2018), *Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación, Resultados y casos de México*, México: Conacyt.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico [FCCyT]. (2014), *Diagnósticos estatales de ciencia, tecnología e innovación. Distrito Federal*, México: FCCyT.
- Edquist, Ch. (1997), *Systems of innovation, Technologies, Institutions and Organizations*. Londres: Pinter Pub.
- Edquist, Ch. (2002), Innovation Policy, a systemic approach. En D. Archibugi y B. Lundvall (Eds.), *The Globalizing learning Economy* (pp. 219-228), Estados Unidos: Oxford University Press.
- Flanagan K, Uyarra, E. y Laranja, M. (2011), Reconceptualising the 'policy mix' for innovation. *Research Policy*, 40, (5), 702-713.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico [FCCyT]. (2006), *Diagnóstico de la política científica, tecnológica y de fomento a la innovación en México*, México: FCCyT.
- François, P. (2008), *Sociologie des Marchés*, Paris: Armand Colin.
- Granovetter, M. (1985). Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91 (3), 481-510.
- Granovetter, M. (2000), *Le marché autrement*, Paris: Descée de Brouwer.
- Geuna, A., Slater, A., y Steinmueller, E. (Eds.). (2003). *Science and Innovation, rethinking the Rationales for Funding and Governance*, UK: Edward Elgar.
- Hadjimanolis, A. (2003), The Barriers Approach to Innovation. En L. Shavinina (Ed.), *The International Handbook on Innovation*, Holanda: Elsevier Science (pp. 559-573).

- Larédo, Ph. y Mustar, Ph. (2001), *Research and innovation policies in the new global economy*, Massachusetts: Edward Elgar.
- Malerba, F. (Ed.). (2004), *Sectoral Systems of Innovation*, UK: Cambridge University Press.
- Mantilla L., Hernández, M.L. y Cárdenas C. (2018). *La ciencia al servicio de la mercancía en México*, Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Martínez, A. (2009), El Sistema Sectorial de Innovación del Calzado: El caso Guanajuato. En D. Villavicencio y P. López (Coords.), *Sistemas de Innovación en México: regiones, redes y sectores*, México: Plaza y Valdés (pp. 59-88)..
- Martínez, A., García A., y López, P. (Eds.). (2011), *Innovación, transferencia tecnológica y políticas*, México: Plaza y Valdez-CONCYTEG-Conacyt.
- Micheli, J., Medellín E., Jasso J. e Hidalgo A. (Coords.). (2012), *Innovación y Crisis, Trayectorias y respuestas de empresas y sectores*, México: UAM-M.A. Porrúa.
- Nylhom, J., Lars, N., Frelle-Pettersen C., Riis M. y Torstensen, P. (2001), Innovation Policy in the knowledge based economy, Can theory guide policy making? En D. Archibugi y B. Lundvall (Eds.), *The Globalizing learning Economy*, Estados Unidos: Oxford University Press (pp. 253-272).
- OCDE. (1998), Policies for Promoting Enterprise Restructuring in National Systems of Innovation: Triggering Cumulative Learning and Generating System Effects. En *Science, Technology and innovation*, 22, París: OCDE, 137-170.
- OCDE (2009a), *OECD Reviews of Innovation Policy: Mexico*. París: OCDE.
- OCDE (2009b), *The Bioeconomy to 2030, Designing a Policy Agenda*. París: OCDE.

- Pavitt, K. (1984), Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory. *Research Policy*, 6 (13), 343-373.
- REDNACECYT. (2015), *Impacto del Programa Estímulos a la Innovación 2009-2014*, México: CONACYT-REDNACECYT.
- Salais, R. y Storper, M. (1993), *Les Mondes de Production*, Paris: Editions de l' Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales.
- Smits R., Kuhlmann S., y Shapira P. (2010). (Eds.), *The Theory and Practice of Innovation Policy*, Cheltenham: Edward Elgar.
- Smits, R. y Kuhlmann, S. (2004), The rise of systemic instruments in innovation policy. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 1 (81/2), 4-23.
- Swedberg, R. (Ed.). (1993), *Explorations in Economic Sociology*, Nueva York: Russell Sage Foundation.
- Unger, K. (2011), La política de estímulos fiscales a ID en México. Alcances limitados en el contexto de innovación de las empresas. *El Trimestre Económico*, 78, (309), 49-85.
- Uyarra, E. (2008), Key dilemmas of regional innovation policies. *Innovation: the European Journal of Social Science Research*, 20 (3), 243-261.
- Valenti, G. (Ed.). (2008), *Ciencia, tecnología e innovación, hacia una agenda de política pública*, FLACSO, México.
- Villavicencio, D. (2012), Incentivos a la innovación en México: entre políticas y dinámicas sectoriales. En J. Carrillo, A. Hualde y D. Villavicencio (Eds.), *Dilemas de la innovación en México* México: COLEF-Red CCS (pp. 27-72).
- Villavicencio, D. (2009), Recent changes in science and technology policy in Mexico: innovation incentives. En J.M. Martínez (Ed.), *Generation and Protection of Knowledge: intellectual property, innovation and economic development*, Chile: ECLAC, United Nations (pp. 263-290).

- Villavicencio, D. y Arvanitis, R. (1994), Transferencia de Tecnología y Aprendizaje Tecnológico: reflexiones basadas en trabajos empíricos. *El Trimestre Económico*, 61, (242), 257-279.
- Villavicencio, D. y López P. (Eds.). (2009), *Sistemas de Innovación en México: redes, regiones y sectores*, México: CONCYTEG-CCS-Plaza y Valdez.
- Villavicencio, D., Amaro, M., Bañuelos, E., Chiapa, A., Morales A. y Souza, L. (2014), *Yo innovo, él innova, todos innovamos: quince proyectos apoyados por el FIT*, México: Secretaría de Economía-Conacyt, Cenage-learning.
- Villavicencio, D. (2018), *Oferta-demanda de conocimiento en los proyectos de innovación apoyados por Conacyt, Informe para el FCCYT*, México.
- Wieczorek, A. y Hekkert, M.P. (2012), Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars, *Science and Public Policy*, 39, 74-87.



# INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA, CONCENTRACIÓN Y OPORTUNIDADES PARA LAS EMPRESAS MEXICANAS EN EL PANORAMA MUNDIAL DE ENCADENAMIENTOS PRODUCTIVOS

MARCELA AMARO ROSALES  
SEYKA VERÓNICA SANDOVAL CABRERA

## I. Introducción

Este capítulo presenta un análisis de lo que hemos denominado como Industria de la Biotecnología (IB),<sup>1</sup> de acuerdo a la caracterización de la metodología de cadenas globales de valor (CGV), a partir de la cual se explica la dinámica de mercado de la industria, los principales agentes económicos, denominadas empresas líderes, y las posibilidades de escalamiento para las empresas seguidoras, concretamente las mexicanas.

Como punto de partida, consideramos que las transacciones realizadas entre agentes económicos con distintos grados de desarrollo producen procesos de aprendizaje convergentes, en este sentido, la metodología de CGV supone que los vínculos estratégicos

1 Si bien en varios capítulos de este libro se refieren al sector de la biotecnología (capítulos 1 y 7), por cuestiones metodológicas, aquí usaremos el concepto de industria para lograr coherencia con la metodología de las cadenas globales de valor.

gicos entre las empresas seguidoras y las líderes, son condición necesaria en la estrategia de crecimiento (Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005) (Gereffi G., 2001). No obstante, la integración *per se* no presupone el escalamiento o *upgrading*, especialmente en industrias con alta concentración de mercados, en las que el conocimiento transferido es complejo, y la demanda de competencias de los proveedores es alta, lo que conduce a estructuras de gobernanza verticales. En este contexto, suponemos como línea de análisis, que las oportunidades para las empresas mexicanas en la cadena de valor de la Industria Biotecnológica (IB), se encuentran limitadas a nichos de mercado locales o únicos, y en particular, a la biotecnología farmacéutica en el mercado de biosimilares.

En orden de exponer lo anterior, presentaremos para su discusión una caracterización de la cadena de valor, en la que se clasifican los tipos de agentes participantes, seguido de una radiografía general de las principales empresas líderes de la cadena con el fin de explorar las posibilidades de escalamiento y definir líneas en la estrategia de crecimiento de las empresas mexicanas.

Observamos a la industria de la biotecnología como parte de la nueva economía del conocimiento que, en trayectorias de convergencia con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC'S) se han constituido como un motor de crecimiento económico para empresas y países. La definimos como una industria, no obstante que se reconoce que es una tecnociencia de aplicación transversal a muy diversos sectores como la salud, el medio ambiente, la agricultura y la alimentación entre otras; como se explica en el capítulo 1 de este libro. Se identifica como una industria emergente y estratégica con una fuerte tendencia a la concentración de mercado, debido a los altos requerimientos de capital demandados a lo largo de la cadena de valor. La estructura de

mercado con tendencias oligopólicas permite pocas oportunidades para las pequeñas y medianas empresas, sobre todo para aquellas que tienen desventajas financieras y tecnológicas. En ese sentido consideraremos la organización de la cadena de valor con una estructura de gobernanza vertical, dirigida por las grandes empresas biomanufactureras y laboratorios de patente.

## II. Antecedentes y marco conceptual

La naturaleza de la interdependencia entre empresas a partir de la década de 1970, se ha explicado en primera instancia por las posibilidades tecnológicas en la informática y las telecomunicaciones. Estas tecnologías permitieron que las empresas fragmentaran sus procesos de producción y distribución de bienes y servicios, con alcance regional y global al mismo tiempo que el manejo de la información, la aplicación del conocimiento y la coordinación a distancia crecía en eficiencia. El proceso de fragmentación-coordinación también se observó como una tendencia de desindustrialización de los países desarrollados, quienes incrementaron el producto a partir del crecimiento del sector de servicios intensivos en conocimiento, al mismo tiempo que migraban sus actividades industriales a países en desarrollo, concretamente del este asiático.

En este contexto, la industrialización de las economías emergentes consolidó una nueva división internacional del trabajo, que generalmente se observa como el *catching up* de éstas y la terciarización de las economías desarrolladas y se protagonizó por la evolución de la empresa multinacional (Basave y Carrillo, 2017). El cambio de paradigma tecnológico –informático y telecomunicaciones– se acompañó de una ola de políticas de apertura –Consenso de Washington– que facilitaron la movilidad de la empresa y con-



solidaron su proceso de fragmentación en encadenamientos productivos que expresan el crecimiento del comercio intra e inter-firma, así como el crecimiento del comercio de bienes intermedios.<sup>2</sup>

En una división del trabajo organizada en encadenamientos o cadenas de valor, la estrategia de crecimiento sugiere considerar la estructura de gobernanza<sup>3</sup> de la cadena de valor, como base del proceso de integración-vinculación con los actores clave de la red, asumiendo que tal vinculación propiciará procesos de aprendizaje (Gereffi, Humphrey, y Sturgeon, 2005; Sandoval, 2013 y 2015).

En la industria de la biotecnología la gobernanza expresa un carácter vertical dirigido por las grandes compañías biomanufactureras con capacidad para realizar grandes inversiones de capital para producir en gran escala, y grandes laboratorios de patente que controlan el acceso a los mercados a partir de los canales de comercialización y financiamiento. Al considerar esto, se asumen altas barreras a las entradas relativas a la propiedad del conoci-

- 2 El encadenamiento productivo en este contexto es la organización de la producción y distribución de factores, bienes y servicios, considerando todo el rango de actividades que caracterizan un producto o una industria, desde la concepción de la idea, hasta el consumo final y más allá. Esta organización puede realizarse al interior de una sola firma, o bien, entre un conjunto de firmas, dispersas geográficamente (Gereffi G., 2001) (Gereffi, Humphrey, y Sturgeon, 2005). Existen diversos enfoques en el análisis de encadenamientos, no obstante, en este trabajo consideraremos la propuesta de *Global Value Chain Initiative*, debido a su influencia en el diseño de la política de inserción y desarrollo de diversos organismos internacionales (Dussel Peters, 2018) (Gereffi G., 2018).
- 3 El término gobernabilidad o gobernanza se refiere a las diferentes formas de control/coordinación que ejercen las empresas líderes en una cadena específica. La base de la tipificación considera tres corrientes teóricas: los costos de transacción (Williamson, 1975 citado en Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005: 80) especificidad de los activos, capacidades, la producción en red (Arndt y Kierzkowski, 2001 y Fenestra, 1998 citados en Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005: 79-80) –integración al comercio, coordinación de la dispersión de actividades, y la capacidad tecnológica y el nivel de aprendizaje de la empresa (Jarillo, 1988; Lorenz, 1988; Powell, 1990 y Thorelli, 1986 citados en Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005: 80). “Así, nuestra tipología, identifica cinco tipos básicos de gobernabilidad en la cadena de valor. Estos son analíticos, no empíricos, aunque ellos han sido en parte derivados de observaciones empíricas” (Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005: 83-84).

miento, el acceso al financiamiento y al mercado, al sugerir que la estrategia de *upgrading*<sup>4</sup> de las empresas mexicanas está acotada a los segmentos tradicionales de baja rentabilidad, lo cual coincide con los hallazgos presentados en los capítulos 5 y 6 de este libro.

Si bien la biotecnología ha estado presente en la vida de la humanidad desde hace varios siglos, es hasta la década de 1970 que se puede considerar como una industria revolucionaria, dadas las expectativas creadas a partir del *secuenciamiento* del ácido desoxirribonucleico (ADN) y del ADN recombinante (ADNr). De acuerdo con Gutman y Lavarello (2014) las biotecnologías<sup>5</sup> aparecen como una posible respuesta a la crisis del paradigma tecno-económico basado en la energía barata del petróleo. Suponen que la biotecnología representaba una alternativa para la generación de materias primas a bajo costo basadas en los organismos vivos. La característica de ser una tecnociencia aplicable a muy diversos sectores le permitiría permear en áreas tan diversas como la agricultura, la salud, el medio ambiente y la alimentación, entre otras. Pero fue en la salud humana donde se registró la mayor difusión de la biotecnología moderna (Pisano, 2006), sobre todo en la producción de nuevos fármacos, vacunas recombinantes, nuevas moléculas y métodos de producción basados en grandes moléculas, nuevos tratamientos de diagnóstico y otros servicios especializados (Gutman y Lavarello, 2014).

- 4 El *upgrading* es el proceso mediante el cual las firmas mejoran su posición en la cadena de valor. Este mejoramiento puede adoptar diversas vías (acceso a mercados, financiamiento, proceso de aprendizaje, etc.) que asumimos como un incremento en la captura de los beneficios producidos por la red. El *upgrading* implica diversas estrategias que llevarán a la firma a especializarse, cambiar de actividad o ampliar sus actividades, migrando de actividades de bajo valor a actividades de alto valor (Gereffi, 2001, pp. 27-28 y 2005, p. 171). La posibilidad de salto introducirá en el análisis al supuesto de incertidumbre de manera significativa en el funcionamiento de la cadena.
- 5 Para los autores existen diversos tipos de biotecnología.

Otra área importante de desarrollo biotecnológico ha sido lo relacionado con la industria química, sobre todo, la producción de biomasa para generar diversos tipos de energía tratando de sustituir a los derivados del petróleo y gas y el uso de sistemas biológicos, células y enzimas para sustituir algunos métodos convencionales (Gutman y Lavarello, 2014). Un sector de aplicación muy relevantes ha sido el agrícola, gracias al desarrollo de semillas e insumos agrícolas; y finalmente, la producción de insumos especiales (enzimas y microorganismos) para la industria alimentos y bebidas.

En las industrias mencionadas es donde se localiza el mayor impacto de la IB moderna, expresado en un incremento de la productividad. Pero este impacto se ha concentrado sólo en algunos países y en algunas empresas. Estados Unidos ha sido el país líder del desarrollo biotecnológico, ya que realizan 70% de la investigación y desarrollo (I+D) y financian 86% de la I+D del mundo (ICEX, 2016). Además de que cuentan con cerca de 3000 empresas, algunas muy importantes en el desarrollo de fármacos e insumos agrícolas y alimentarios. De acuerdo con diversas investigaciones, Estados Unidos se ha establecido como el jugador más importante a nivel mundial debido a distintas modificaciones institucionales que permitieron crear un marco que incluye los temas de generación de conocimiento, apropiabilidad, derechos de propiedad, regulación e incentivos.

Identificar la forma económica en que se organiza la industria biotecnológica permite analizar agentes clave, patrones y tendencias que pueden ser útiles para los países y las empresas que desean entrar en la industria o aprovechar las oportunidades tecnológicas que pueden transformarse en innovaciones; por tanto, en mayor rentabilidad y competitividad. Si se parte del hecho de que la biotecnología puede ser no solamente la gran promesa, sino la

revolución tecnológica que permitirá transformar el sistema productivo, económico y social es importante identificar las posibilidades de entrada de nuevos jugadores (Pérez y Soete, 1988).

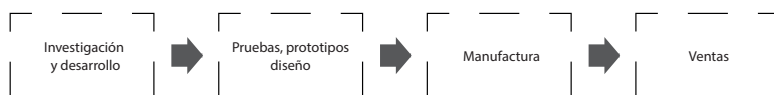
Desde el planteamiento de Freeman y Pérez (1988), acerca de las revoluciones tecnológicas, existe una tecnología que permite ser el factor clave como fuente de energía y, en ocasiones, una materia prima que permite disminuir considerablemente los costos. En el caso de la biotecnología, el uso de métodos microbiológicos más sencillos y baratos en los procesos químicos industriales ha permitido disminuir los costos en la industria farmacéutica, pero su impacto va más allá. La IB es un conjunto de ciencias y técnicas complejas y avanzadas que requieren no solamente contar con el conocimiento; se necesita infraestructura, equipamiento e inversiones considerables para poder desarrollar procesos y productos. Métodos como el ADN<sub>r</sub> han servido para responder de mejor manera a las demandas de la industria de alimentos y bebidas; la ingeniería genética permite diversos tipos de síntesis que impactan en la industria química y farmacéutica; además del uso de los anticuerpos monoclonales que contribuyen con el incremento de las enzimas o bien las recientes técnicas basadas en el CRISPR cas9. El conocimiento especializado es un recurso fundamental, pero no es el único requisito para poder insertarse en la cadena global de valor o bien para escalar posiciones en la misma.

### **III. Panorama de la organización industrial y tipos de empresas biotecnológicas**

La cadena de valor de la biotecnología en su forma más básica se caracteriza por cuatro segmentos: investigación y desarrollo (I+D), pruebas, manufactura y ventas. En cada segmento, los actores y

las competencias difieren dadas las especificidades de las tareas a realizar, no obstante, algunas firmas y trabajadores tienen la capacidad de moverse de manera transversal (Jolla y O’Shaughnessy, 2018). Los insumos de la cadena de valor dependen en gran medida de la producción, circulación y apropiación del conocimiento, el cual, se constituye como la base de los derechos de propiedad que explican las rentas extraordinarias. No obstante, no es el segmento en I+D donde se ubican las firmas líderes de la cadena de valor.

**Figura 1**  
**Segmentos básicos de la cadena de valor en la IB**



Fuente: elaboración propia.

Las actividades de investigación se conducen por dos actores principales, las universidades y centros de investigación, de carácter generalmente público, y las realizadas por diversas empresas en distintas escalas (véase el capítulo 3 de este libro para mayor precisión). En este segmento, el margen de riesgo es muy alto, el objetivo consiste en producir conocimiento que alcance el éxito comercial, no obstante, desde el descubrimiento hasta la generación de un prototipo factible, puede mediar una década, el tiempo en este sentido representa un alto costo de oportunidad que ha estimulado a las empresas biomanufactureras y laboratorios de patente, a buscar estrategias de riesgo compartido con instituciones de educación que cuentan con financiamiento gubernamental que les per-

mite asumir una mayor margen de riesgo<sup>6</sup> (Jolla y O’Shaughnessy, 2018). La asociación público-privada y su regulación en relación a los derechos de propiedad, se constituyen en este segmento, como estratégicos para impulsar la derrama de capacidades tecnológicas que puedan –una vez alcanzada la etapa de comercialización–, constituirse como plataforma de aprendizaje al conjunto de empresas y trabajadores que forman parte de la industria en general y al mismo tiempo, gestionar la distribución de riesgos y beneficios a partir de la capacidad de los actores públicos y privados de capturar significativamente, los rendimientos de los descubrimientos que pudieran alcanzar el éxito comercial.

Las pruebas necesarias para consolidar un hallazgo son un proceso complejo y mediado por una serie de regulaciones que difieren de país a país, al mismo tiempo que se someten a la normativa de carácter internacional. Superar una fase de prueba, no garantiza seguir con éxito en las subsiguientes y la posibilidad de fracaso es alta y costosa en esta etapa. El número de actores que participan en este segmento, se encuentran asociados a las pruebas clínicas, las regulaciones privadas y públicas, así como las validaciones de las autoridades en la materia.

Una vez que el complejo conjunto de pruebas se ha superado, técnica y regulatoriamente, el prototipo factible está listo para producirse en masa; así pues, la biomanufactura es el segmento de la cadena de valor, intensivo en capital, y conocimiento técnico, así

6 Esta situación nos recuerda el papel del gobierno en la generación de conocimiento estratégico en los términos de Mariana Mazzucato (2015). Y sugiere que el presupuesto público se constituye en la IB como un elemento central en el proceso de innovación y desarrollo, lo que obliga a discutir la distribución de las rentas extraordinarias, apropiadas en mayor medida por las empresas líderes a partir de diversos derechos de propiedad y la justificación en términos de bienestar, de la naturaleza del financiamiento que empresas y trabajadores otorgan a esta industria a través de los mecanismos impositivos en cada país.

como rigurosamente vigilado por las agencias gubernamentales y privadas que dan cuenta de los protocolos de calidad y seguridad.

Gran parte de la fabricación de bioprocesos se lleva a cabo por empresas líderes que cuentan con el equipo y los fondos existentes, aunque más recientemente han aparecido fabricantes contratados (Jolla y O'Shaughnessy, 2018: 4, traducción propia).

Cuando el producto está aprobado, técnica y en términos de normativa y certificaciones privadas, encuentra un mercado, provisto por una red de empresas distribuidoras que se conecta con el consumidor final.

#### **IV. Los agentes económicos**

En materia de la naturaleza de los agentes económicos, cada segmento tiene diversas particularidades y actores. En 2005 en el *12th* Congreso Europeo de Biotecnología, se clasificaron las empresas de la industria en cuatro rubros, distinguidos por colores: la roja incluye todo lo relacionado con la medicina; verde con el sector agrícola; blanca con procesos medioambientales y gris procesos industriales.<sup>7</sup>

Además del sector de aplicación, las empresas de biotecnología pueden categorizarse en términos de su tamaño y la importancia de la biotecnología para su negocio principal. De acuerdo con la clasificación presentada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), existen cinco categorías.

7 Existen diversas clasificaciones, la más completa considera 10 colores: roja para salud, medicina y diagnósticos; amarilla alimentos y nutrición; azul para acuicultura y todo lo relacionado al mar; verde agricultura y medio ambiente; café para las zonas áridas y desérticas; negro bioterrorismo; morado para derechos de propiedad intelectual, blanca para industrias basadas en genes, dorada para bioinformática y nanobiotecnología y gris para fermentaciones y bioprocesos.

1. *Start ups* dedicadas a la investigación y desarrollo (I+D) fundamentalmente. Estas empresas se ubican en los primeros segmentos de la cadena de valor como proveedores de conocimiento.
2. *Pequeñas y medianas empresas dedicadas a la I+D*, además de producción y comercialización de procesos y servicios biotecnológicos. Tienen la posibilidad de operar transversalmente como proveedores en los distintos segmentos de la red, o bien, pueden organizarse intra-firma, o inter firma con asociaciones verticales que podría ser *cautivas* o *relacionales*, debido a la naturaleza del producto/proceso en términos de complejidad de las transacciones y competencia de los proveedores.
3. *Pequeñas y medianas empresas diversificadas* que se encuentran en sectores industriales ya establecidos como la química o los alimentos y dotan a los mercados ya desarrollados con productos y procesos especializados en biotecnología; y funcionan como proveedores en distintos segmentos y sectores.
4. *Empresas multinacionales dedicadas a la biotecnología*, las cuales cuentan con una larga historia en mercados de insumos alimenticios y se enfocan en el desarrollo de procesos y productos altamente tecnológicos, asociadas a los segmentos más rentables de la red, por su capacidad financiera y de comercialización.
5. *Empresas multinacionales diversificadas*, empresas establecidas a partir de sustancias químicas industriales (BASF, DSM), agroindustria (Cargill) o la industria de la comida (Danisco). Sus puntos fuertes incluyen una amplia e integrada cartera de tecnología que complementa los procesos de biotecnología industrial, tales como las tecnologías de purificación, recursos técnicos adicionales y recursos financieros significativos.



En términos de ventas, redes de clientes y recursos dedicados a la I+D, las empresas multinacionales, tanto diversificadas como dedicadas son las más importantes. Tecnológicamente, son las empresas dedicadas las que más contribuyen con la generación de innovaciones, pero las diversificadas desempeñan un papel relevante en la comercialización de insumos y productos biotecnológicos. Cada grupo tiene características distintas, por tanto, sus estrategias también varían, dependiendo del mercado al que se enfrenten.

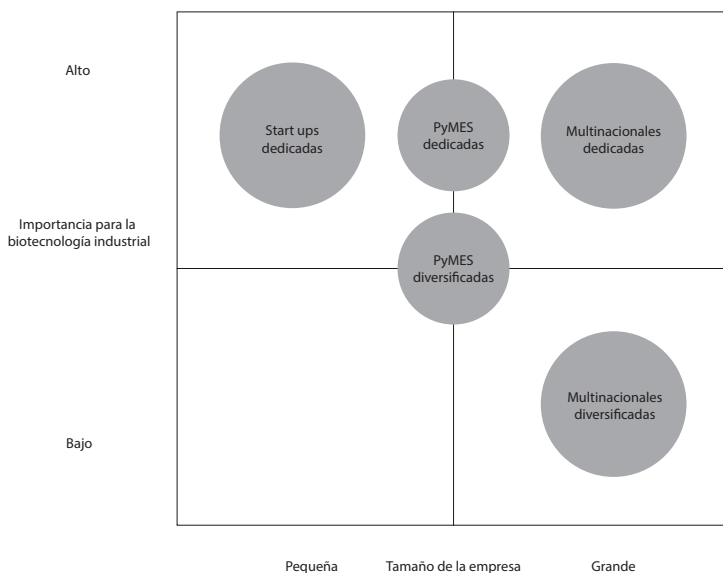
Las empresas multinacionales dedicadas y diversificadas, son agentes económicos que cuentan con una gran capacidad de capturar una mayor cantidad de valor en la cadena gracias a su poder de mercado, capacidad de financiamiento, control de canales de comercialización o propiedad sobre conocimientos estratégicos; se caracterizan como biomanufactureras y laboratorios de patente, y tradicionalmente son las que realizan las actividades de *testing* más costosas, asociadas con las últimas fases clínicas.

Las empresas líderes en biotecnología son importantes por los recursos financieros, capacidad de manufactura y fuerza de venta. Estas empresas comúnmente actúan como socios que pueden traer más fácilmente un nuevo producto a un mercado, porque cuentan con recursos existentes para completar la costosa fase III que consiste en probar el producto, y con fuerza de venta para comercializar el producto (Jolla y O'Shaughnessy, 2018, p. 5, traducción propia).

En la primera fase de la cadena, de investigación y desarrollo, encontraremos a la empresa multinacional en asociación público-privada con centros de investigación y universidades, coexistiendo con pequeños actores intensivos en conocimientos, como *start ups*. Las actividades de *testing*, manufactura y ventas, estarán coordinadas en gran medida por las firmas líderes de la cadena de valor en relación con *Contract Research Organizations (CROs)*, otras compañías especializadas.

lizadas en subsegmentos, actividades o tareas, así como empresas manufactureras a contrato, las cuales pueden ser pequeñas y medianas o bien multinacionales diversificadas o dedicadas. Sin embargo, la tendencia reciente es a consolidar grandes proveedores con una capacidad técnica y financiera que suprime o absorbe empresas pequeñas que se especializan en actividades de generación de conocimiento y diseño de prototipos listos para *testing* y manufactura, dadas las restricciones técnicas y financieras para el escalamiento.

**Figura 2**  
**Tipos de empresas biotecnológicas**



Fuente: OCDE, 2009 y 2011 y Festel 2018.

Dada la heterogeneidad de las empresas y la especialización de la industria, la biotecnología no puede ser analizada como cualquier otra industria tradicional ya que tiene dinámicas muy particulares que difieren de los modelos y las estrategias empresariales comu-

nes; esto se debe a las características tecnológicas que determinan en gran medida el ciclo del producto. Recuérdese que los productos y procesos biotecnológicos dependen de la investigación y desarrollo tecnológico que se llevan a cabo en laboratorios públicos y privados; los cuales se han acelerado gracias a las avanzadas técnicas biotecnológicas, pero esto no significa que se generen innovaciones susceptibles de llegar al mercado rápidamente y mucho menos comercializarse, esto debido a la logística de los derechos de propiedad intelectual, en caso de que se haya llevado a cabo un proceso de vinculación o transferencia tecnológica, los diversos permisos sanitarios y la regulación asociada a cada producto, como se ha explicado en el capítulo 1 y 3 de este libro. Lo anterior sumado a la alta incertidumbre que implican las inversiones en I+D, vuelven a la biotecnología uno de los negocios más riesgosos para las empresas, pero también uno de los más lucrativos. Esto explica porque las *start ups* y las pequeñas y medianas empresas no completan el ciclo de negocios hasta la comercialización, ya que, si bien cuentan con uno de los recursos más importantes que es el conocimiento, no tienen la capacidad financiera para soportar etapas cruciales.

Dado lo anterior, existen diversas estrategias de negocio para lograr la competitividad y el escalamiento (OCDE, 2011). El primero de ellos ha sido identificado como *productores*, los cuales desarrollan sus propias tecnologías, las licencian y en ocasiones se encargan de toda la cadena de suministro desde las materias primas hasta la distribución, organizados verticalmente con *gobernanza jerárquica* en una sola firma, o bien, un pequeño conjunto de formas en organizaciones cautivas.<sup>8</sup> Este esquema implica altas

8 “Cadenas de valor cautivas. En estas redes, los pequeños proveedores dependen transaccionalmente de compradores mucho más grandes. Los proveedores enfrentan costos de cambio significativos y, por lo tanto, son “cautivos”. Estas redes se caracterizan frecuentemente por un alto grado de monitoreo y control por parte de las empresas líderes. Jerarquía. Esta forma de gobierno

inversiones en equipo e infraestructura; cabe destacar que aquí se ubican tanto las pequeñas y medianas empresas, como las multinacionales diversificadas expuestas previamente, sin embargo, a pesar de compartir el modelo de negocios, existen diferencias en el tipo de productos que venden y la capacidad de llegar a mercados locales, regionales o globales. Una estrategia como esta considera una alta complejidad de las transacciones (característica de la cadena de valor en la IB) y una baja codificación y competencia de proveedores, por lo cual, la empresa líder enfrenta altos costos de coordinación. En estos casos, la oportunidad de inserción-escalamiento está en reforzar los procesos de aprendizaje u ofrecer servicios especializados, que conduzcan a flexibilizar la organización y reducir costos.

La segunda estrategia se denomina *proveedoras de servicios*, donde se pueden ubicar *start ups* y PyMES que basan su modelo en el desarrollo de soluciones a la medida de tipo *modular*, sobre todo procesos, los cuales casi siempre son transferidos a las empresas a las que se les brinda soporte, constituyéndose como proveedores especializados. Son empresas que proveen plataformas tecnológicas a otras empresas. Este conjunto de firmas podría propiciar el escalamiento, sumándose a la tendencia de los grandes proveedores de conocimiento y procesos en las industrias globales que crece en importancia, por lo que, este segmento de proveeduría de conocimiento debiera observarse con expectativas positivas.

Además de las estrategias mencionadas, existen algunos modelos emergentes como empresas dedicadas a la *creación de propiedad intelectual* que sólo transfieren y licencian los desarrollos

.....  
se caracteriza por la integración vertical. La forma dominante de gobierno es el control de gestión, que pasa de los gerentes a los subordinados o de la sede a las subsidiarias y afiliadas" (Gereffi, Humphrey, y Sturgeon, 2005, p. 84, traducción propia).

tecnológicos, o las empresas que desarrollan *procesos integrados* que implica la producción de una cartera de tecnologías que pueden incluir prototipos potenciales de ser comercializados. Ambos modelos cuentan con la ventaja de que no requieren altas inversiones en equipamiento de laboratorio y plantas piloto para el escalamiento, lo cual disminuye los costos ya que las empresas no tienen la expectativa de realizar productos y comercializarlos. La estrategia de la especialización en este caso permite concentrar esfuerzos de inversión y capacitación, y operar en distintas cadenas ofreciendo el servicio.<sup>9</sup>

Dada la heterogeneidad de las empresas en la IB, las estrategias de negocios presentadas no pretenden más que ser una ilustración general. Existen importantes diferencias en la naturaleza de la empresa, el sector y segmento en que se desempeña, no obstante, suponemos que, a pesar de las diferencias, los agentes comparten características esenciales relativas a la generación de conocimiento y su apropiación, el acceso a financiamiento y el riesgo.

## V. La empresa líder

Dos de las áreas más importantes de aplicación de la biotecnología a nivel mundial es la salud humana y el sector agroalimentario, pero sin duda, es en la salud humana donde hay una amplia difusión y explotación de la biotecnología, como se expone en el capítulo 1 y 5 de este libro. Sólo basta mencionar que los líderes a

.....  
9 Como se ha mencionado previamente, la industria biotecnológica no es homogénea, si bien aquí se han presentado una serie de características que se pueden identificar *grosso modo*, existen algunas diferencias de comportamiento dependiendo del sector de aplicación. Dado el planteamiento hecho aquí, no se analizarán las particularidades por cada sector de aplicación, ya que se parte de la hipótesis de que, a pesar de las diferencias, comparten las características esenciales.

nivel mundial son las empresas *Giled Sciences*, *Amgen*, *Abbvie*, *Genentech* y *Monsanto*, quienes concentran alrededor de 78.3% de la cuota de mercado. Mientras que empresas como *Alexion Pharmaceuticals Inc.*, *Baxalta*, *Biogen*, *BioMarin Pharmaceutical Inc.*, *Celgene* e *Incyte Corp.* cuentan con los más altos ingresos de la industria (ICEX, 2018).

El dominio de las empresas de Estados Unidos es indiscutible ya que además de tener una fuerte presencia de empresas dedicadas y diversificadas en biotecnología, han seguido una estrategia más amplia que ha involucrado reformular los términos de las relaciones de vinculación entre las universidades y las empresas, la legislación en torno a los derechos de propiedad y las regulaciones sanitarias, de manera que en conjunto se ha establecido un plan que promociona el desarrollo biotecnológico, dando incentivos a las instituciones de educación superior y a las empresas para que continúen siendo líderes en el campo. Además, cuentan con esquemas de financiamiento que permiten cerrar el círculo virtuoso de la biotecnología, a partir de diversos esquemas de inversión que les permite apostar a nuevas empresas y desarrollos.

En la Figura 2 se muestran los ingresos para las empresas de Estados Unidos (US) y de la Unión Europea (UE) que cotizan en la bolsa. Se puede observar que el crecimiento hasta 2015 es de alrededor de dos dígitos, lo que coincide con el periodo de auge de las inversiones en la industria. En 2016 hay una caída de alrededor de 7%, pero esto no significó que se dejara de invertir en I+D.

Se consideran líderes comerciales a aquellas que cuentan con ingresos de US\$500 millones o más. Estados Unidos cuenta con el ambiente y los recursos apropiados para mantener el liderazgo mundial a través del sistema de financiamiento; no es casual que además de contar con las empresas más importantes del mundo,

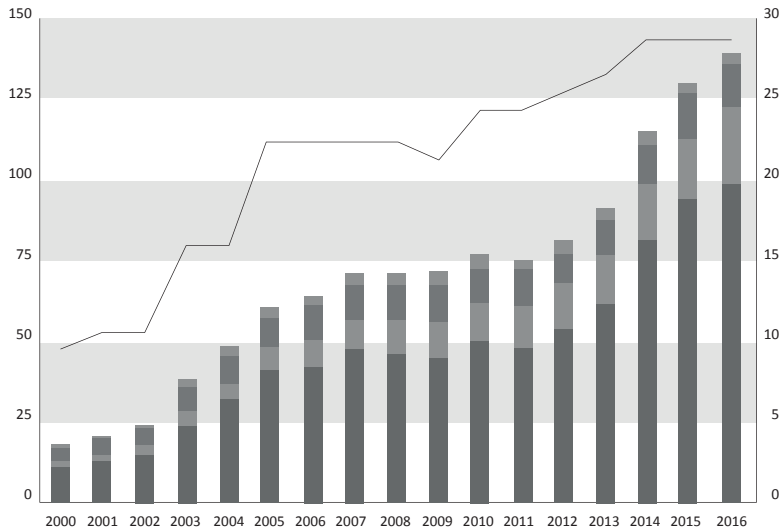
tengan también esquemas de capital de riesgo (*venture capital*), lo que les ha permitido crear empresas en distintos sectores desde el año 2000. Por ejemplo, sólo para el 2006 se registraron alrededor de 844 millones de dólares (US) de fondos disponibles para la industria biotecnológica, de 2007 a 2013 la tasa anual compuesta de crecimiento de las inversiones fue de alrededor de 25%, lo que se tradujo en valor de acciones de 3,600 millones de dólares, en 88 empresas (Festel, 2018). La tendencia de crecimiento de las inversiones se mantuvo así en 2007, año en el que se registraron inversiones por 1,500 millones de dólares en un total de 107 empresas, mientras que para el 2013 en promedio, de las empresas objetivo más relevantes de la industria, se invirtieron 19.3 millones de dólares (Festel, 2018). Como tendencia, se puede observar que el financiamiento llegó a su punto más alto en 2015 y 2016 con aproximadamente 5,000 millones de dólares invertidos sólo en Estados Unidos, mientras que en 2017 se registró una ligera caída (ICEX, 2018) la cual se ha tratado de compensar con las subvenciones hechas por el gobierno estadounidense en programas de investigación y el financiamiento a través de fundaciones como Gates, CF, Ellison, X Prize o Laura & John Arnold (ICEX, 2018).

El capital de riesgo no es el único mecanismo a través del cual las empresas biotecnológicas pueden acceder a financiamiento; las empresas multinacionales consolidadas de segmentos como la química, los alimentos y la agroindustria; han realizado importantes aportaciones a pequeñas y medianas empresas que se convierten en proveedoras especializadas de insumos o productos para la línea principal de sus negocios.

Como se ha mencionado previamente, la biotecnología está inmersa en constante incertidumbre, la cual va más allá de los procesos de I+D, ya que el financiamiento también es un aspecto

**Figura 3**  
**Ingresos de empresas públicas de Estados Unidos**  
**y la Unión Europea**  
 (2000-2016 en US\$b)

US líderes comerciales EU líderes comerciales US  
 Otras compañías públicas EU Otras compañías públicas  
 ---- Líderes comerciales



Se consideran líderes comerciales a aquellas que cuentan con ingresos de US\$500 millones o más.

Fuente: tomado de EY. Beyond borders Biotechnology report 2017.

volátil y cambiante. Después de 2008, donde se registró la primera gran caída del financiamiento a nivel internacional la industria se ha ido recuperando, a pesar de la incertidumbre que provocaron fenómenos como el Brexit, la reforma sanitaria del gobierno de Donald Trump en Estados Unidos, los cambios regulatorios y el descenso del flujo de capitales asiáticos (EY, 2017), y aunque en 2017 disminuyó ligeramente la cantidad invertida, se han abierto nuevas áreas de oportunidad donde converge la biotecnología con la inteligencia artificial y los sistemas de analítica.



Este nuevo panorama plantea retos para las pequeñas y medianas empresas porque se demandan capacidades tecnológicas complejas de muy alta especialización, que las grandes empresas han logrado sortear gracias a las alianzas con compañías de las tecnologías de la información, pero que no es claro si las pequeñas y medianas podrán también establecer. Además, aunado a lo anterior, es necesario mencionar que el financiamiento se ha concentrado en dos segmentos. El primero es destinado al capital semilla y las empresas serie A, lo cual representó 36% de financiamiento del capital de riesgo en 2016, aproximadamente 10,000 millones de dólares entre Estados Unidos y la Unión Europea, fundamentalmente para I+D en detección y tratamiento de cáncer. El otro segmento donde se concentra mayor financiamiento (48%), es en las empresas con valores superiores a los 5,000 millones de dólares (EY, 2016) lo que significa que la inversión se está destinando a I+D en etapas tempranas, las cuales probablemente serán adquiridas en el corto y mediano plazos, y en empresas ya consolidadas. Lo que pone en clara desventaja a las empresas pequeñas y medianas diversificadas ya que no tienen capacidad de acceder a recursos.

En el siguiente cuadro se muestran las principales empresas de biotecnología en Estados Unidos y Europa y puede observarse que hay una fuerte estabilidad en las empresas que obtienen ingresos por US\$ 500 millones o más gracias a la comercialización.

Hay un segmento muy importante a nivel mundial que son las empresas dedicadas a I+D que no comercializan, pero que tienen un valor capitalizado en el mercado gracias a la tecnología que están desarrollando. Estas empresas suelen ser adquiridas por las empresas líderes o bien venden la tecnología que están desarrollando. A continuación, se muestra en la Tabla 1 el listado de las

**Tabla 1**  
**Principales líderes comerciales de Estados Unidos y Europa (2012-2016)**

2012		2013		2014		2015		2016	
USA	EU	USA	EU	USA	EU	USA	EU	USA	EU
Alexion	Actelion	Alexion	Actelion	Alexion	Actelion	Alexion	Actelion	Alexion	Actelion
Amgen	Elan Corp.*	Amgen	Alkermes	Amgen	Alkermes	Amgen	Alkermes	Amgen	Alkermes
Biogen	Ipsen	Biogen	Ipsen	Biogen	Ipsen	Biogen	BTG	Biogen	BTG
BioMarin Pharma	Jazz Pharma.	BioMarin Pharma	Jazz Pharma	BioMarin Pharma	Jazz Pharma	BioMarin Pharma	Horizon Pharma	BioMarin Pharma	Horizon Pharma.
Bio-Rad Lab.	Meda	Bio-Rad Lab	Meda	Bio-Rad Lab	Meda	Bio-Rad Lab	Ipsen	Bio-Rad Lab	Ipsen
Celgene	Novozymes	Celgene	Novozymes	Celgene	Novozymes	Celgene	Jazz Pharma	Celgene	Jazz Pharma.
Cubist	QIAGEN	Cubist	QIAGEN	Cubist	QIAGEN	Cepheid**	Meda****	Giled Sciences	Novozymes
Giled Sciences	Shire	Giled Sciences	Shire	Giled Sciences	Shire	Cubist***	Novozymes	IDEXX Lab	QIAGEN
IDEXX Lab.		IDEXX Lab.		IDEXX Lab.		Giled Sciences	QIAGEN	illumina	Shire
illumina		illumina		illumina		IDEXX Lab	Shire	Incyte Corp	Swedish Orphan Biovitrum

\* Adquirido por Perrigo  
 \*\* Adquirido por Danaher Corporation  
 \*\*\* Adquirido por Merck & Co. Inc.  
 \*\*\*\* Adquirido por Mylan Inc.

Fuente: EY, 2017.

**Tabla 2**  
**Principales empresas de Estados Unidos, Europa y Asia,**  
**capitalizadas y con desarrollos tecnológicos, 2016**

Empresa	Fase	Área	Empresa	Fase	Área	Empresa	Fase	Área
Alnylam Pharma.	III	Genética	AC Immune	III	Neurología	BelGene	III	Oncología
Kite Pharma	II/III	Oncología	Celon Pharma	Servicios	Oncología	Asymchem Laboratories	Servicios	ND
Neurocrine Biosciences	Registro	Neurología	Merus	II	Oncología	Sillajen	III	Oncología
bluebird bio	III	Hematología	CRISPR Therapeutics	Preclínica	Hematología	Betta Pharmaceuticals	Mercado	Oncología
Ultragenyx Pharma.	III	Metabólica	Wilson Therapeutics	II	Hepático	Autobio Diagnostics	Mercado	Múltiple
Sage Therapeutics	III	Neurología	GenSight Biologics	III	Oftálmico	Qurant	II	Dermatología
Aglos Pharma.	III	Oncología	Alligator Bioscience	I	Oncología	PanGen Biotech	III	Hematología
Intrexon	II	Oncología	Shield Therapeutics	Comercial	Gastrointestinal	Anterogen	Mercado	Múltiple
Juno Therapeutics	II	Oncología	GeNeuro	II	Neurología	AnyGen	I	Oncología
Portola Pharma.	III/IV	Hematología	B.R.A.I.N.	ND	Otro			

Fuente: EY (2017).

empresas top en Estados Unidos, Europa y Asia, donde se pueden observar varias cosas: la primera es que dominan las empresas dedicadas a desarrollos oncológicos, seguidas por las de hematología. Esto sólo confirma la tendencia de los últimos años acerca del interés por desarrollos en el área de la salud para tratamientos de cáncer, dado que es una enfermedad crónica presente a nivel mundial y con altas tasas de crecimiento, lo que representa uno de los mercados más atractivos.

**Tabla 3**  
**Principales empresas capitalizadas en los mercados**  
**de Estados Unidos y Europa (2012-2016 US\$m)**

Empresa US	2012	2016	Empresa UE	2012	2016
Gilead Sciences	30,744	94,343	Shire	19,022	51,898
Celgene	30,010	89,730	Actelion	4,074	22,502
Amgen	50,932	108,769	Alkermes	2,250	8,447
Biogen	26,733	61,700	Jazz Pharma	1,629	6,530
Regeneron Pharmaceuticals	5,085	39,394	Ipsen	2,618	6,099
Incyte	1,896	18,889	QIAGEN	3,234	6,564
Illumina	3,701	27,437	Galapagos	357	2,976
Alexion Pharmaceuticals	13,238	18,273	Swedish Orphan Biovitrum	583	3,159
Vertex Pharmaceuticals	6,926	27,437	Costo Pharma	267	1,553
BioMarin Pharmaceuticals	3,927	14,247	BTG	1,592	2,805

Fuente: EY, 2017.

También es importante mencionar a las empresas capitalizadas en los mercados de Estados Unidos y Europa, ya que esto muestra que el financiamiento ha sido constante desde 2012 y hasta 2016. Esto significa que las empresas biotecnológicas han ido madurando y logrando estabilizarse después del período de auge en el 2000 y de su posterior caída en 2008-2009. La Tabla 2 muestra cómo algunas de las empresas mayor capitalizadas han triplicado su nivel, situándose como importantes jugadores a nivel mundial. En síntesis, el financiamiento es especialmente importante en una industria en la que las barreras de capital son altas, así como los riesgos. En los primeros segmentos, el financiamiento gubernamental, a través de fondos para estudiantes e investigadores, es muy importante debido a la naturaleza de dicho flujo, es posible asumir mayores riesgos y perseguir líneas de investigación más agresivas, lo que incentiva una mayor probabilidad de descubrimientos revolucionarios.

El financiamiento privado tiene diversas vías, los *start ups* buscan generalmente inversiones ángel, debido al riesgo, o bien, grandes empresas que puedan llevar el prototipo a la fase III del segmento de *testing*, la cual suele ser la más costosa. Otras fuentes son la deuda y las ofertas públicas (IPO's) y las fusiones y adquisiciones, que detallaremos más adelante. En general, las asociaciones con las grandes empresas o empresas líderes de la industria están presentes a lo largo de toda la cadena como estrategia de financiamiento; en particular, el primer segmento está dominado por becas y fondos gubernamentales, el segundo, *testing*, por inversiones de tipo ángel, externa o local. La biomanufactura, dadas las grandes inversiones de capital que necesita, recurre a la oferta pública y la deuda, lo mismo que el segmento de la distribución (Jolla y O'Shaughnessy, 2018).

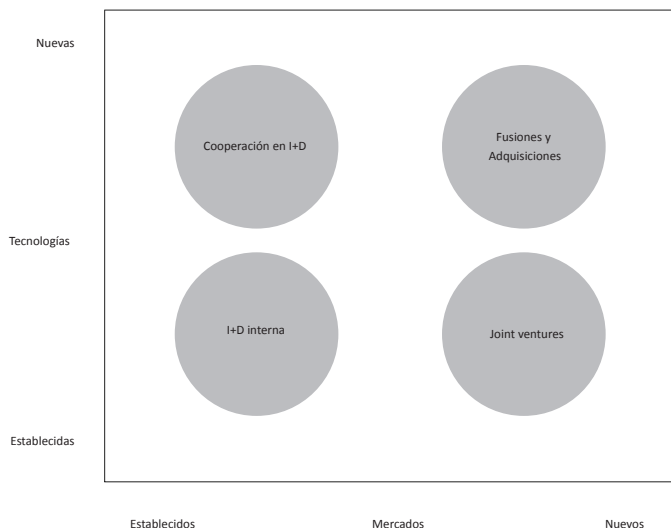
*i) Fusiones y adquisiciones, mapa a nivel mundial*

Otro elemento muy relevante relacionado con la producción de conocimiento y tecnología es la propiedad intelectual. Como se ha observado, es fundamental poder generar conocimiento que pueda convertirse en innovaciones, pero esto sólo es una parte relevante del proceso ya que no es conocimiento en sí mismo el recurso fundamental, sino conocimiento tecnológico. Lo anterior plantea diversos mecanismos a través de los cuales las empresas biotecnológicas se hacen de dicho recurso, la OCDE (2011), identifica cuatro estrategias de crecimiento para las empresas biotecnológicas capacidades.

1. **I+D propia** financiada con recursos internos
2. **Cooperación o alianzas de I+D** con otras empresas e instituciones de educación superior
3. **Creación de una nueva empresa conjunta**, alianza estratégica o alianza comercial o consorcio (*joint venture*) para utilizar activos complementarios, tecnologías, personas u otras capacidades.
4. **Fusiones y adquisiciones** con otra empresa para crear una nueva entidad individual.

Si bien en la industria biotecnológica están presentes todos los esquemas anteriores, ha dominado como estrategia las fusiones y adquisiciones, ya que esto le ha permitido a las multinacionales apropiarse de *start ups* y PyMES que cuentan con capacidades tecnológicas elevadas, pero también se da la fusión entre empresas multinacionales de diversos sectores, de manera que se establece una estrategia que abarca a diversos mercados con una misma plataforma tecnológica.

**Figura 4**  
**Estrategias de crecimiento de empresas biotecnológicas**



Fuente: OCDE, 2009 y 2011 y Festel 2018.

Cada estrategia de crecimiento tiene ventajas y desventajas, las más representativas tienen que ver con la propiedad del conocimiento y las tecnologías, ya que al ser más independiente la empresa puede tener mayor control sobre activos específicos, pero también cuenta con menos recursos financieros y físicos. En la Tabla 4 se muestran algunas de las ventajas y desventajas asociadas a cada estrategia de crecimiento; en él se puede observar que los activos estratégicos siempre están relacionados con la propiedad de conocimiento y desarrollos tecnológicos, dado que esto permite a las empresas hacer uso y explotar los procesos y productos. Sin embargo, dependiendo del área de aplicación del desarrollo, será necesario contar con más o menos financiamiento, ya que los requerimientos de inversión en áreas como la salud pueden ser considerablemente mayores que los de la agricultura o los alimentos.

**Tabla 4**  
**Ventajas y desventajas de las estrategias de crecimiento**

Estrategia	Ventajas	Desventajas
I+D propia	Permite el desarrollo propio de propiedad intelectual Deciden sus proyectos de I + D Mayor flexibilidad en la elección de proyectos y objetivos de investigación	Altos costos y capital intensivo Alto riesgo de proyecto Las capacidades de investigación limitadas evitan una reacción rápida sobre nuevos proyectos Falta de redes que brinden nuevas ideas con respecto a la investigación
Cooperación o alianzas de I+D	Aumenta el número de posibles tecnologías disponibles para proyectos de I + D Recursos adicionales y sinergias División del riesgo del proyecto	Necesidad de una gestión sólida del proyecto Posibilidad limitada de desarrollo propio de propiedad intelectual
<i>Joint Venture</i>	Permite el crecimiento en una nueva área de negocios Recursos adicionales (por ejemplo, activos, tecnologías) Sinergias de tecnologías y conocimiento complementarios	El tiempo involucrado para las negociaciones y el desarrollo del contrato es alto Modelo de cooperación inflexible, dónde papel del socio principal es crítico
Fusiones y Adquisiciones	Permite el uso de sinergias Permite la expansión a nuevos mercados internacionales Permite la adquisición de propiedad intelectual y tecnologías	Pérdida de control en la empresa Pérdida de flexibilidad en el proceso de toma de decisiones

Fuente: OECD, 2009.

La diversidad de empresas biotecnológicas plantea distintos escenarios para cada una de ellas, ya que, si bien por mucho tiempo ha dominado la idea de que una de las características de estas empresas es su alto nivel de desarrollo científico y tecnológico, gran parte



de ellas se encuentran en proceso de desarrollo de sus productos, por lo que aún no son capaces de generar ingresos. Esta ha sido una de las características principales de las empresas de los países en vías de desarrollo como México, lo que en muchas ocasiones las obliga a depender de convenios con otras grandes empresas o bien de los fondos públicos para poder mantener su actividad de I+D. Pero también, es cada vez más frecuente que se presenten las fusiones y adquisiciones (MyA por sus siglas en inglés). A nivel mundial, esto ha sido un signo distintivo de la biotecnología, aunque en los últimos dos años se ha presentado con más fuerza al ser una industria más madura. Por ejemplo, sólo en 2018 la empresa *Juno Therapeutics* del área de la biofarmacología fue comprada por *Celgene*.

La estrategia seguida por las grandes empresas en biotecnología consiste básicamente en dos aspectos; por un lado, adquieren empresas basadas en I+D para que sean una subdivisión especializada o bien, compran empresas que pueden reforzar sus líneas de productos a través del uso de tecnologías patentadas que están a punto de vencer. Esto indica dos tendencias, por un lado, un crecimiento acelerado de pequeñas empresas basadas en I+D, en promedio 2% anual, pero que en pocos años son adquiridas por las grandes empresas, lo que a su vez lleva a una concentración de mercado cada vez más alta.

Es importante poner atención a lo que está sucediendo en las fusiones y adquisiciones porque allí se pueden observar varias de las tendencias más importantes en la industria biotecnológica y por tanto, puede haber mensajes para las empresas mexicanas, en cuanto a la estrategia que deben y pueden seguir. En primer lugar, se identifica que a nivel mundial existe un crecimiento importante de pequeñas empresas dedicadas sobre todo a la I+D que

no buscan completar el ciclo de vida del producto, sólo tratan de desarrollar un nivel alto de capacidades científicas y tecnológicas, generar una cartera tecnológica atractiva basada en innovaciones y así ser adquiridas por una de las grandes empresas. Mientras que las grandes empresas líderes, se encuentran a la caza de las pequeñas empresas dedicadas a la biotecnología y también se muestran interesadas en fusionarse con otras grandes empresas. Allí quedan dos espacios vacíos, el primero es para las empresas pequeñas y medianas diversificadas que no están dentro de esta dinámica y que son las que tienen oportunidad de mantenerse en el mercado de manera independiente, desarrollar sus propios productos, completar el ciclo de vida, pero también enfrentan riesgos ya que no son sujetos de financiamiento del capital de riesgo. Esto implica que deben fijar sus objetivos en nichos de mercado que están abandonados por las grandes empresas, además de establecer alianzas entre ellas o bien con las instituciones de educación superior para identificar áreas de oportunidad locales y regionales.

A nivel nacional, lo anterior también tiene fuertes implicaciones, porque países como México puede determinar que no es oportuno incentivar el desarrollo de la industria en los mismos términos que lo hace Estados Unidos o la Unión Europea, y más bien, apostar por una estrategia de desarrollo de biosimilares aprovechando las capacidades científicas y tecnológicas instaladas y además, utilizar el vencimiento de patentes relevantes a nivel mundial para producir biogénicos en el mercado de la salud y en el mercado agroindustrial, probablemente lo mejor sea concentrarse en el desarrollo de insumos biotecnológicos para el mejoramiento productivo y pensar en un segundo momento donde se puedan generar semillas e insumos clave, junto con una estrategia más amplia que incluya modificaciones al marco legal.

Como se ha mencionado previamente, las fusiones y adquisiciones son una estrategia importante dentro de la industria de la biotecnología, a pesar de que en 2015 el ritmo descendió dados los problemas de acceso al capital y la caída de los valores; sin embargo, en 2016 se dieron cinco grandes operaciones con valor de más de 5,000 millones de dólares (EY, 2017). En la Tabla 5 se muestran las principales operaciones realizadas durante 2016, 2017 y 2018 (hasta agosto) y se puede observar que la más importante fue la compra de Baxalta por la empresa irlandesa Shire, por un valor de 32,000 millones de dólares, seguida de Medivation comprada por Pfizer por un total de 14,000 millones de dólares. Cabe mencionar que Pfizer realizó cuatro operaciones, siendo la más activa, seguida de Gilead Sciences que realizó dos operaciones. La compra más costosa fue la de Bayer al adquirir a Monsanto por un estimado de 63,000 millones de dólares. Pero también destacan importantes fusiones en el área de la producción de semillas e insumos agrícolas como la que sucedió entre BASF y Bayer, Dupont y Dow Chemical y Syngenta con Chem China. Esto significa que, como tendencia, el sector agroindustrial ha comenzado un proceso de concentración de capitales, de la misma manera que lo ha estado haciendo el sector farmacéutico a nivel mundial.

## **VI. Las estrategias de las empresas mexicanas**

Si consideramos la complejidad de las transacciones en la cadena de la IB, lo cual implica la transferencia de conocimiento especializado por canales altamente regulados, la organización de la red, asumiendo una industria que no alcanza la madurez en su ciclo de vida, puede explicarse en general por cadenas modulares, relacionales, cautivas o jerárquicas.

**Tabla 5**  
**Principales fusiones y adquisiciones en 2016, 2017 y 2018\***

Empresa adquiriente	País	Empresas adquirida o fusionada	País
Shire	Irlanda	Baxalta	US
Pfizer	US	Medivation	US
Mylan	UK	Meda	Suecia
AbbVie	US	Stemcentrx	US
Pfizer	US	Anacor Pharmaceuticals	US
Danaher	US	Cepheid	US
Celgene	US	EngMab	Suiza
Celgene	US	Acetylon Pharmaceuticals	US
Allergan	Irlanda	Tobira Therapeutics	US
Galenica	Suiza	Relypsa	US
Jazz Pharmaceutical	Irlanda	Celator Pharmaceuticals	US
Astellas Pharma	Japón	Ganymed Pharmaceuticals	Alemania
ThermoFisher Scientifics	US	Affymetrix	US
Merck & Co.	US	Afferent Pharmaceuticals	US
Gilead Sciences	US	Nimbus Apollo	US
Allergan	Irlanda	Chase Pharmaceuticals	US
Gilead Sciences	US	Kite Pharma	US
J&J	US	Actelion Pharma	Suiza
Bayer Crop Science	Alemania	Monsanto	US
BASF	Alemania	Bayer Crop Sciences	Alemania
Dupont	US	Dow Chemical	US
Syngenta	US	Chem China	China
Takeda	Japón	ARIAD Pharma	US

\*Fecha de corte a agosto de 2018. Sombreado se ubican las fusiones más importantes, las demás son adquisiciones.

Fuente: EY, 2017 y 2018.

Si el proveedor se encuentra en una cadena modular, entenderá que el proceso de integración de la red tiende a ser vertical en los segmentos en los que la especificidad de los activos es más alta. No obstante, esta alta especificidad, los proveedores tienen la habilidad para comprender y satisfacer los requerimientos del cliente –alta capacidad de los proveedores–. La clave en estas cadenas se encuentra en la especificidad de los activos, el proveedor deberá concentrarse en incrementar su capacidad tecnológica y de aprendizaje para revalorar el nodo en el que se encuentra, no necesita en este caso cambiar de actividad, sino proveer una creciente especialización en los componentes que ofrece, es decir, pasar de la producción de biomanufacturas básicas a la producción de alto valor susceptible de generar rentas tecnológicas, esto se conoce como *ascenso intrasectorial* (Sandoval, 2013).

Si el proveedor se encuentra en una cadena relacional, la integración de la red requiere una alta coordinación de la empresa líder debido a la alta especificidad de los activos y la baja codificación de la información. El hecho de que tanto la transferencia de información como el entendimiento de esta sean complejos, estimula un mayor control del proceso por parte del cliente. Los grandes laboratorios, en estos casos, podrían asistir de cerca la manufactura de conocimiento, desde básico hasta especializado, o bien, la integración de los procesos biomanufactureros estarían altamente supervisados por agentes líderes especializados. En esta cadena en particular, los lazos de confianza y la dependencia mutua entre proveedores y clientes tienen una relevancia especial, dada la información estratégica que se transmite. Por tanto, el proveedor debe comprender que su ventaja estriba en su capacidad para satisfacer eficientemente la demanda del cliente, no obstante que dicha capacidad sea alta en este tipo de cadenas, lo que impone

una mayor competencia que es contrarrestada por las barreras a la entrada relacionadas con la confianza, el proveedor puede avanzar en la cadena diferenciándose del resto de sus competidores, a esto se le llama *ascenso por nivel de producto* (Sandoval, 2013).

Si el proveedor se encuentra en una cadena cautiva, entenderá que la coordinación de la red es casi vertical y que está sujeto a un gran control de la empresa líder, dada la alta especificidad de los activos y la baja capacidad de los proveedores para satisfacer los pedidos del cliente, la tutela de la firma no sólo garantiza la satisfacción eficiente de la demanda, sino que genera un proceso de aprendizaje en el que los productores deberán involucrarse para ascender en su posición, es decir, transitar de capacidades bajas del proveedor a altas. Lo que lo llevaría a reconfigurar la cadena de cautiva a relacional, accediendo a ascensos por nivel de producto, progresión intrasectorial, o bien a superar las actividades trabajo intensivas por actividades intensivas en capital, que se definiría como *ascenso intersectorial*. En este tipo de cadenas, observamos que la propiedad sobre el conocimiento bajo diversos mecanismos, coordina el proceso de aprendizaje de las firmas seguidoras, provocando en muchos casos, procesos de aprendizajes pero no de apropiación del conocimiento, reiterando relaciones cautivas.

Si el proveedor está integrado a una cadena jerárquica entonces es una filial de una corporación global verticalmente integrada. Las barreras para ascender en este tipo de red son muy altas dada la especificidad de los activos, la complejidad por transmitir los requerimientos del cliente y la baja capacidad de los proveedores para realizar dicho pedido sin un control estrecho por parte de la firma líder. En este tipo de cadenas, la especialización de cada uno de los nodos deberá ser muy diferenciada para poder mejorar su posición, por otro lado, el hecho de que la capacidad tecnoló-

gica que utiliza la firma para cumplir con la demanda de activos específicos pueda generalizarse, llevaría a la cadena a disminuir su grado de verticalidad, permitiendo a los proveedores nuevas oportunidades de ascenso. En cadenas como éstas, y en función de la capacidad financiera de las firmas, la compra y fusión de otras empresas en países desarrollados, puede llevar a la adquisición de capacidades tecnológicas y el crecimiento de capital humano, de la filial a la matriz, operando derramas en reversa que conduzcan a la firma a fortalecer sus procesos de expansión en los mercados internacionales (Basave, 2017).

Para el caso mexicano, de acuerdo con el trabajo de Morales, Amaro y Stezano (2019), existen diversas estrategias tecnológicas de las empresas biotecnológicas en México (véase Tabla 6). Destaca que las empresas dedicadas a la salud humana han optado por una estrategia de desarrollo de productos innovadores de patente para mercados de nicho, lo que significa que se encargan de enfermedades de poca o nula importancia para los grandes laboratorios, dado el tamaño del mercado. En algunos casos, estas empresas han optado por aprovechar la oportunidad que brindan las patentes vencidas para así poder entrar al mercado de biosimilares. Esto tiene sus ventajas y desventajas porque en el caso de México la regulación y registros sanitarios para los biosimilares son tan estrictos como para los medicamentos de patente, lo que ha implicado grandes costos para estas empresas, además de que en algunos casos han enfrentado demandas por violación a los derechos de propiedad de algún gran laboratorio. En el caso de Probiomed, la empresa suiza Roche los demandó durante 2016 por producir y vender el biosimilar del medicamento Rituximab, lo que terminó en el retiro de toda la producción y la pérdida del registro (Coronel, 2016). El impacto de la rigurosa legislación a través de las llamadas “Buenas

Prácticas de Manufactura” y los requerimientos para los permisos sanitarios condujeron a que tan sólo en 2016 cerraran 18 plantas productoras de medicamentos (Coronel, 2016).

En lo que respecta al área de salud animal la estrategia ha sido desarrollar capacidades tecnológicas que permitan responder a las demandas y necesidades locales o regionales. Esto les ha permitido consolidarse como proveedores de salud animal en diversas áreas atacando enfermedades y padecimientos localizados. En estos casos, salud humana y animal, observamos a las empresas mexicanas integrando sus cadenas en entornos nacionales con limitada vinculación, dados los productos nichos; mientras que para el caso de biosimilares, participan en biomanufactura “básica” debido a que, con el vencimiento de la patente, las rentas tecnológicas extraordinarias se extinguen. En este sentido, el ascenso obedecería a la ampliación de sus capacidades productivas y penetración en mercados extranjeros, así como en la posibilidad de ascenso por producto, incorporando nuevo conocimiento a patentes vencidas.

En el sector agrícola la concentración del desarrollo de semillas está captado por las empresas transnacionales, lo que se conjunta en México con los límites regulatorios y la percepción social adversa al desarrollo y uso de las semillas transgénicas, lo que ha orillado, de alguna manera, a que se apueste por el mercado de los biofertilizantes, mejoradores de suelo, entre otros y sólo una empresa desarrolla semillas innovadoras para la exportación.

En términos generales las estrategias de las empresas mexicanas más exitosas se han centrado en buscar nichos olvidados por las grandes empresas multinacionales y responder así a necesidades locales o regionales. En términos de las cadenas globales de valor, las empresas mexicanas no están eslabonadas a las empresas líderes en la IB. Esto es así debido a las barreras a la entrada,



Tabla 6  
Estrategias de mercado y tecnológicas de empresas seleccionadas en  
biotecnología en México

Em- presa	Tecno- logía	Estrategia de mercado	Estrategia tecnológica	Tipo de empresa
Laboratorios Bioclon	Farmacéutica- humana	-Desarrollo de productos innovadores de patente en mercados nicho de salud y aprovechamiento de paten- tes vencidas	I+D interna Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Probiomed	Farmacéutica- humana	-Desarrollo de productos innovadores de patente y biocomparables y apro- vechamiento de patentes vencidas	I+D interna Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Ingenio La Gloria	Biocombus- tibles	-Desarrollo de productos innovadores sustitutos	I+D interna Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Investigación Aplicada	Farmacéuti- ca- animal	-Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y locales	I+D interna Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Nektli	Alimentos	-Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y locales	Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Enmex	Alimentos	-Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y locales	Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Stela Genomics	Agrícola	- Desarrollo de semillas innovadoras (reducen el uso de fosfato y fosfito) sustitutos nacionales e inter- nacionales	I+D interna	PyME diversificada
Fungi- free Ab	Agrícola	-Desarrollo de productos in- novadores sustitutos locales y regionales	Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	<i>Start up</i>
Bio Solutions	Medio ambiente	-Desarrollo de productos innovadores sustitutos	Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada
Nutravia	Plataforma de servicios	-Desarrollo de soluciones, mejoras tecnológicas, plataforma de análisis y estrategias en el área de Bio- tecnología de Alimentos	I+D interna Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	<i>Start up</i>
Melco	Alimentos	-Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y locales	I+D interna Cooperación en I+D con Instituciones de educación superior	PyME diversificada

Fuente: adaptado de Morales, Amaro y Stezano (2019).

capacidades locales y el marco institucional. En la Tabla anterior se puede observar que domina la I+D interna y la cooperación con instituciones de educación superior para el desarrollo conjunto de proyectos de investigación, transferencia tecnológica o prestación de servicios (Morales y Amaro, 2017 y Villavicencio, *et al.*, 2017).

Como se mencionó previamente, una de las estrategias dominantes de la IB son las fusiones y adquisiciones tanto de empresas especializadas en biotecnología como de startups, sin embargo, en México estas estrategias no se presentan dado que no se cuenta con el perfil de estas empresas, la mayoría son pequeñas y medianas empresas diversificadas donde el centro de sus capacidades no es la biotecnología, sino que desarrollan biotecnología de proceso y productos para poder ofrecer insumos o productos de su área de especialización.

En el caso de la empresa Nutravia se identifica que se han establecido como una plataforma de servicios biotecnológicos, lo cual podría ser más cercano a una posible estrategia de integración a las cadenas globales valor, sin embargo, no se vislumbra que ese sea el camino que van a tomar, ya que, al contrario, consideran que a futuro la generación de *joint ventures* podría ser una opción más viable para ellos.

En términos sectoriales se identifican dos grandes estrategias, en el sector agrícola como proveedores de biofertilizantes y diversos tipos de mejoradores del suelo, con empresas que no compiten con las empresas líderes de la IB mundial. En lo que respecta al sector farmacéutico se ha enfocado a enfermedades de poco interés para las empresas o laboratorios líderes, además de enfrentar una serie de disputas legales que más que indicar posibles estrategias de cooperación, son barreras que los líderes han impuesto para evitar el desarrollo de las empresas de este sector sobre todo bus-

cando frenar la posibilidad de que las empresas mexicanas apuesten a la entrada mediante los bio可比ables de primera o segunda generación. En ambos sectores destaca que se han concentrado en la estrategia de nicho y mercados olvidados o de poco interés para los líderes de la IB. La segunda estrategia se concentra en la proveeduría de insumos para el sector de alimentos, y de procesos, productos y servicios para el sector agrícola donde las empresas se han enfocado en demandas locales y regionales primordialmente.

## Conclusiones

De acuerdo con Gutman y Lavarello (2014), la biotecnología ha sido la gran promesa para recomponer la productividad reemplazando tecnologías basadas en petróleo por tecnologías biológicas. Sin embargo, este hecho está aún lejos de cumplirse, ya que existen una serie de condiciones que se han conjuntado de tal manera que se han impuesto barreras infranqueables para las empresas de los países en desarrollo como los altos requerimientos financieros, los ajustes a los sistemas de propiedad intelectual o las fuertes regulaciones y permisos sanitarios.

La biotecnología no puede ser analizada como un sector industrial o como una tecnología homogénea. Existen particularidades muy marcadas que obligan a repensarla como diversos tipos de biotecnología, cada una con requerimientos y características que demandan distintas estrategias empresariales, tecnológicas, de propiedad intelectual, etcétera.

Bajo la anterior consideración, han existido mecanismos locales, regionales y nacionales. En el caso de la India, por ejemplo, destacan diversas estrategias con impacto nacional que buscaron impulsar la ciencia y tecnología, básicamente promoviendo

*startups* que se integrarán a los grandes líderes nacionales en la producción de vacunas, biosimilares de primera generación y ciertos nichos, a partir de las compras gubernamentales (Lavarello, 2018). En el caso de Corea del Sur se puso en marcha una estrategia más agresiva que buscó impulsar y acelerar la manufactura biotecnológica, liderada por el Estado, a través de los grandes grupos diversificados (*chaebols*). Lavarello (2018), ha denominado a la primera estrategia nacional, como “secuencial” y a la segunda como “salto de etapa”. Destacamos esto ya que consideramos que no puede existir una estrategia empresarial desvinculada de una estrategia nacional. Pero, ¿qué sucede cuando no existe una estrategia nacional como en el caso de México?

La respuesta no es muy compleja, ya que sucede justamente lo que se observa en el caso de México: esfuerzos aislados para encontrar oportunidades de mercado en espacios que nos son ocupados por las empresas líderes, nulo desarrollo de *startups* o pequeñas y medianas empresas exclusivamente dedicadas a la biotecnología e inexistentes eslabonamientos con las cadenas globales de valor. Hasta ahora, lo que se identifica son una serie de casos de éxito que permiten ubicar ciertas estrategias empresariales y tecnológicas, las cuales demuestran que hay una fuerte dependencia de la cooperación con las IES, lo cual es comprensible dados los altos costos que implica para las empresas realizar su propia I+D y enfrentar el riesgo e incertidumbre asociada, ya que en la mayoría de las ocasiones los proyectos que realizan conjuntamente son co-financiados por el Estado a través de diversos fondos públicos. Esto no quiere decir que haya algún tipo de política explícita hacia las empresas biotecnológicas, ya que éstas no tienen ningún tipo de preferencia al momento de concursarlos.

Dada la estructura compuesta por PyMES diversificadas, existen diversas estrategias que consideramos pueden ser viables. La primera de ellas se basa en lo que Lavarello, Gutman y Sztulwark (2018) han denominado imitación creativa,<sup>10</sup> la cual está dirigida sobre todo al sector farmacéutico y tiene dos vertientes; por un lado la generación de biosimilares de primera generación lo que implica cuatro etapas: desarrollo, desarrollo analítico, manufactura y comercialización, con requerimientos financieros promedio de 10 a 20 millones de dólares y de 2 a 5 años para la obtención de resultados. Este tipo de mercados tiene ventajas y desventajas ya que a pesar de que la inversión requerida es la más baja, para los estándares de las pequeñas y medianas empresas nacionales son montos financieros altos. Además de que sería una estrategia prácticamente dirigida al mercado nacional ya que internacionalmente este tipo de medicamentos está ya comoditizado y la competencia es muy demandante. Sin embargo, podría convertirse en una estrategia de mediano y largo plazos que ayude a la creación de capacidades tecnológicas competitivas que les permita secuencialmente avanzar hacia los biosimilares de segunda generación, los cuales requieren mayores inversiones, entre 40 a 100 millones de dólares y de 7 a 8 años desde el desarrollo hasta la comercialización (Lavarello, 2018). En el caso particular de México esto debería alinearse con una estrategia nacional que revise los términos de la protección intelectual de las patentes, la no contradicción con los términos de intercambio planteados en el *United States-Mexico-Canada Agreement*, y toda la regulación de biocomparables mexicana. Lo que implica no solamente un esfuerzo individual de las empresas, en términos tecnológicos y financieros, sino institucional.

.....  
10 En este mismo libro Federico Stezano presenta un análisis detallado sobre el tema en el capítulo 5.

Otra opción es concentrarse en los nichos y mercados olvidados, como ha sido hasta ahora y apostar por llegar a mercados locales y regionales. Esto es viable y puede ser también parte de una estrategia mejor organizada donde se exploren nuevos mercados o bien, se opte por cierta diversificación, a partir de la base de conocimiento y tecnología desarrollada. En el caso de empresas como Bioclon en salud humana e IASA en salud animal, ha sido una buena estrategia, ya que han logrado ampliar su cuota de mercado y especializarse en nichos de mercado interés regional de los países en desarrollo, aunque cabe mencionar que esta última empresa ha sido adquirida por la farmacéutica mexicana Laboratorios Sanfer, lo cual es congruente con la dinámica de la industria.

Una estrategia más comprende la búsqueda de sustitución de importaciones tecnológicas, lo que significa especializarse en insumos de alto valor tecnológico para otros tipos de industrias. Este es el caso de las empresas productoras de enzimas como Enmex o edulcorantes como Metco para la industria alimenticia.

Finalmente, si las empresas quisieran integrarse en las cadenas globales de valor, consideramos que tendrían dos opciones. La primera es convertirse en proveedores especializados en cadenas cautivas para ofrecer servicios o productos que se distingan por la alta especificidad del activo o bien desarrollar productos y servicios especializados en cadenas modulares para integrarse como proveedores. La opción primera se podría dirigir, sobre todo, a las plataformas de servicios biotecnológicos como Nutravia y la segunda a empresas del sector agroindustrial.

Sin duda, no son las únicas estrategias empresariales y tecnológicas que pueden desarrollarse y en ocasiones algunas son complementarias. Por ejemplo, aquí no se habló de la típica estrategia de impulsar el desarrollo de *startups* basadas en biotecnología, con

miras a cotizar en la bolsa de valores y posteriormente ser absorbidas o fusionadas por las líderes de la IB, ya que, si bien puede ser una estrategia exitosa en ciertos contextos, consideramos que no sería favorable en México.

Dada la experiencia de otros países en el mismo tema, destaca que no pueden implementarse exitosamente estrategias empresariales tecnológicas –sin que sólo sean casos de éxito contados–, sino se cuenta con una estrategia nacional que de coherencia y articule esfuerzos hacia una sola dirección. Además, destaca que no hay una única estrategia, ya que los sectores industrial y económico son determinantes en el tipo de acciones que pueden emprender las empresas, además de las condiciones institucionales y requerimientos de mercado.

## Referencias

- Basave, J., y Carrillo, J. (2017), *Innovación y Desarrollo. Una mirada global para entender a las multinacionales en América Latina*. Ciudad de México: UNAM, IIEc, Colef.
- Coronel, M. (2016, diciembre 6), Sobre la situación de Probiomed. *Periódico El Economista*. 6 de diciembre. Recuperado de <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Sobre-la-situacion-de-Probiomed-20161207-0009.html>
- Dussel Peters, E. (2018), *Cadenas Globales de Valor. Metodología, Teoría y Debates*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Economía.
- EY (2017), *Biotechnology Report: Beyond Borders-Staying the Course*. Recuperado de: <https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-biotechnology-report-2017-beyond-borders-sta>

- ying-the-course/\$FILE/ey-biotechnology-report-2017-beyond-borders-staying-the-course.pdf
- EY (2018), *M&A Firepower Report: Life Sciences and Data. With disruptors at the gates, how will you secure your company's future?* Recuperado de: <https://www.eycom.ch/en/Publications/20180101-2018-M-And-A-Firepower-Report-Life-sciences-Deals-and-Data/download>
- Festel, G. (2018), Economic Aspects of Industrial Biotechnology. En A. Fiechter, *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* Berlín: Springer (pp. 1-22).
- Gereffi, G. (2001). Las cadenas productivas como marco analítico para la globalización. *Problemas del Desarrollo*, 32, (125), 9-37.
- (2018), Políticas de desarrollo productivo y escalamiento: la necesidad de vincular empresas, agrupamientos y cadenas de valor. En E. Peters, *Cadenas Globales de Valor. Metodología, Teoría y Debates*, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Economía (pp. 13-44).
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005), The governance of global value chains, *Review of International Political Economy*, 12(1), 78-104.
- ICEX (2016), *El mercado de la biotecnología en Estados Unidos. Estudios de mercado*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Chicago.
- (2017), *El mercado de la biotecnología en Estados Unidos. Estudios de mercado*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Chicago.
- (2018), *El mercado de la biotecnología en Estados Unidos. Resumen Ejecutivo, estudios de mercado*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Chicago.



- Jolla, A., & O'Shaughnessy, P. (2 de 10 de 2018), *North Carolina's Biotech Industry: A Value Chain Analysis*, Obtenido de North Carolina Global Learning Lab: [http://ncglobal.unc.edu/Biotech\\_Final\\_Paper1.pdf](http://ncglobal.unc.edu/Biotech_Final_Paper1.pdf)
- Mazzucato, M. (2015), *The Entrepreneurial State. Debunking public vs. private sector myths*, London: Anthem Press.
- Morales M.A., y Amaro M. (2017), Panorama general de la biotecnología en México y el mundo. Villavicencio D. (coord), *Las vicisitudes de la innovación en Biotecnología y Nanotecnología en México*, UAMX-IDRC-ITACA.
- Morales, M.A., Marcela Amaro y Federico Stezano (2019 en prensa), Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos, *Revista Economía Teoría y Práctica*, UAM-Iztapalapa, México.
- OECD (2009), Working Party on Biotechnology OECD WORKSHOP ON "OUTLOOK ON INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY" Discussion Paper - Session II "Industry Structure and Business Models for Industrial Biotechnology. Vienna, 13-15 January 2010.
- Sandoval, S. (2013), *La cadena global de hortalizas. La estrategia de ascenso de los productores sinaloenses*, México: Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM.
- (2015), La cadena global de valor: consideraciones desde el ciclo del capital, *Problemas del Desarrollo*, 165-190.
- Tsai, W., & Erickson, S. (2006), Early-stage biotech companies: Strategies for survival and growth, *Biotechnology healthcare*, 3(3), 49.
- Villavicencio, D. (2017), *Las vicisitudes de la innovación en Biotecnología y Nanotecnología en México*, UAMX-IDRC-ITACA.

# Breve panorama de la innovación biotecnológica en México

CARLOS FABIAN FLORES-JASSO

SELMA ERÉNDIRA AVENDAÑO-VÁZQUEZ

## I. Introducción

El pensamiento innovador es inherente al pensamiento humano. La palabra innovación proviene del latín *innovare*: cambiar o alterar cosas introduciendo novedades. En la biotecnología, como en todas las ramas de la ciencia, el proceso de innovación está íntimamente ligado al desempeño y quehacer diario de dicha disciplina (Wunker, 2006). Es por ello que, al hablar de biotecnología, de cierto modo también se habla, o se entiende, de innovación. Como se trató en capítulos anteriores, la biotecnología ha estado desde muy temprano en la sociedad humana, y puede remontarse hasta la creación del pan, o del vino –procesos en los que el conocimiento sobre fermentación juega un papel central en la transformación de las sustancias primarias que dan lugar a ellos. Desde luego, el conocimiento para transformar las materias primas que dan lugar al pan y vino inicialmente no llegaba a explicar el mecanismo molecular por el cual ocurre la fermentación, el simple hecho de experimentar con los tiempos, las concentraciones y las mezclas

de las materias primas, era suficiente para poder disfrutar de su sabor (Friedman, 2007). Actualmente, la producción de pan y vino a nivel industrial tiene una forma muy distinta a la que conocieron los primeros seres humanos que experimentaron con la fermentación, y es sólo una pequeña parte de lo que conocemos como biotecnología. El pensamiento innovador ha generado y dirigido que actualmente haya un sinnúmero de tipos y sabores de pan y vino, y sin lugar a dudas, ese mismo pensamiento seguirá sembrando nuevas y más diversas formas de los mismos en el futuro.

A través de las generaciones, el proceso de innovación ha sufrido varios cambios evolutivos que se han ajustado a las necesidades de la sociedad, pero también ha sido moldeado por cambios políticos, económicos y culturales, a tal grado que actualmente el proceso de innovación tiene mecanismos y normas bien delineadas para generar, explotar, e inclusive acceder en algunos casos a las tecnologías que se generan día con día en el mundo. En este sentido, para que una idea se convierta en tecnología, primero se debe de transitar a lo largo de una serie de pasos explícitos, en muchas ocasiones muy sinuosos, que transforman una idea en un producto, pero más importante, en un negocio (Friedman, 2004). A lo largo de la historia tecnológica de la humanidad, las herramientas y procesos tecnológicos que han salido a la luz, forzosamente debieron tener una base sólida que les permitió explotar monetariamente su fundamento en el momento preciso. Las que no lo hicieron así, seguramente desaparecieron sin que conociéramos de ellas.

La biotecnología es una disciplina cuyo origen reside en el poder aprovechar el conocimiento que se genera en biología para transformarlo en beneficios y ventajas tecnológicas que puedan tener un impacto monetario y social. Países que adoptaron este concepto desde muy temprano –como Israel, Japón, Estados Unidos, y

algunos países de la Unión Europea- gozan actualmente de estos beneficios como fruto de una inversión a largo plazo con buenos dividendos. Países en vía de desarrollo que retrasaron su incorporación en el mundo industrializado de la biotecnología, sufren actualmente un tamizaje similar al de otras industrias de base tecnológica, como la aeronáutica o automotriz, en el que para poder disfrutar socialmente de los beneficios de tal industria es necesario el importar la tecnología o adoptar la tecnología con mano de obra más barata- y asumir el gasto que esto conlleva.

El panorama de la biotecnología en el mundo es muy prometedor. Básicamente, desde que se entendió por vez primera que la vida está regida por las instrucciones del material genético, y que la secuencia genética dicta lo que hace o deja de hacer un organismo, o parte de este, la biotecnología dio un salto cuántico. Muy recientemente, en el año 2013, la biotecnología ha comenzado a experimentar un nuevo cambio, originado por el descubrimiento de la edición genómica por medio del sistema CRISPR-CAS9 -que es una forma de editar el material genético de un organismo de una manera muy precisa y rápida. Este descubrimiento es tan importante que ha trastocado muchas otras disciplinas, desde la medicina hasta la bioética. Tanto que en muchos países se han empezado a cambiar las leyes locales con respecto a lo que es o no permitido editar, inclusive para uso exclusivo de investigación (Condliffe, 2017). Las instituciones educativas donde se descubrió el sistema CRISPR-CAS9, así como los científicos quienes llevaron a cabo la investigación, rápidamente comenzaron a recibir cuantiosas sumas de dinero por el licenciamiento de la patente asociada al descubrimiento (Mullin, 2018). Hasta el momento se conocen más de 1200 patentes internacionales asociadas al uso del sistema CRISPR-CAS9; ello implica un promedio de una patente cada dos días desde el

año 2013 –fenómeno que solamente se había observado, aunque en una menor proporción, desde el descubrimiento de la primera enzima de restricción en 1964.

Por lo anterior, es evidente que tiene sentido invertir en ciencia, particularmente en biotecnología, sin embargo, no es claro para sociedades que buscan una transición el organizar cómo hacer para que el gasto público destinado a la generación de conocimiento en las ciencias de la vida tenga una aplicación biotecnológica con la que se propicie una industria saludable y sustentable. Este capítulo aborda algunos de los cambios adoptados recientemente a nivel nacional para tratar de impulsar el campo de innovación en México.

## **II. Estrategias nacionales para incentivar e incursionar en una sociedad con desarrollo tecnológico sustentable**

En México, el gasto federal destinado a las ciencias de la vida asciende a más de mil millones de pesos anualmente, siendo programas como el Fondo de Innovación Tecnológica y el Programa de Estímulos a la Innovación (ambos pertenecientes a los programas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt) los que más porcentaje abarcan de este monto. Tales programas fueron creados para poder activar la industria tecnológica en México como parte de un Plan de Desarrollo Nacional durante la administración del 2012-2018. Dentro de este plan, se buscó incentivar la inversión en ciencia y tecnología, para poder generar más productos con alto valor agregado y desarrollar más el capital humano, con el fin de poder convertir al desarrollo tecnológico y a la innovación en pilares para el progreso económico y social (Guadarrama y Manzano, 2016).

Uno de los cambios alrededor de temas científicos y tecnológicos hechos durante la administración anterior, fue la reforma a

la Ley de Ciencia y Tecnología y la Ley Federal de los Servidores Públicos, en materia de vinculación y excepción al conflicto de interés. Básicamente, esta reforma busca fomentar el que los científicos puedan tener beneficios económicos derivado del conocimiento que generan, cosa que antes estaba penalizada por la ley nacional. Es decir que un científico que genera un conocimiento que puede explotarse comercialmente, ahora puede recibir ganancias al formar, o asociarse con una empresa que explote dicho conocimiento; tal como lo hacen, y lo han hecho desde hace décadas, científicos en países altamente industrializados (Roque Díaz, 2017).

Las razones que dieron lugar a la reforma son múltiples. Tal vez la más importante es que el desarrollo tecnológico de una sociedad está dado en gran medida por profesionales expertos en la materia –en muchos casos con posgrado– y que son precisamente ellos quienes pueden resolver necesidades o participar en el proceso innovador en todas las ramas tecnológicas. Si los expertos científicos no pueden participar en la creación o desarrollo de empresas –tal y como era antes de la reforma– entonces se limita el grado de *expertise* y desarrollo de una compañía de base tecnológica a depender casi exclusivamente del área de negocios para su sobrevivencia. Como es fácilmente imaginable, el tipo de negocios y empresas que habían logrado proliferar en el país bajo el esquema del conflicto de interés a lo largo de casi cuatro décadas fueron aquellas poco, o nada, relacionadas con creación de tecnología. Con la nueva reforma, los científicos tienen un incentivo para ser partícipes en transferir el conocimiento que generan a la sociedad y que este, a su vez, pueda generar riqueza.

Otro cambio muy importante es el establecer un Programa Nacional de *Cátedras Conacyt* que primordialmente ofrece a jóvenes

con formación a nivel doctorado el poderse incorporar a instituciones de investigación, teniendo como empleador al mismo Conacyt. Esto tuvo como meta que instituciones donde se realiza investigación y que requieren de consolidar, fortalecer, o inclusive renovar, su planta académica, no requieran de la generación o liberación de “plazas” –proceso que típicamente toma al menos un año fiscal en México. Siendo Conacyt el empleador, se liberaría de la presión para la creación de plazas a las instituciones y se podría agilizar la contratación de investigadores jóvenes con el requisito de no tener una adscripción laboral con otra institución simultáneamente. De tal modo que, al no ser empleados directos de la institución donde realizan su investigación, los *Catedráticos* rinden cuentas sobre su desempeño académico y científico a Conacyt exclusivamente con la acreditación de la institución receptora. Este programa ha tenido éxito desde su creación ya que universidades del interior de la república con poco presupuesto han logrado captar el interés de investigadores jóvenes en incorporarse a sus plantas académicas. Una de las áreas donde más ha tenido un impacto el programa de Cátedras es el de las ciencias de la vida, donde más de 40% de los *Catedráticos* a nivel nacional están incorporados en alguna de sus ramas –cuya inversión capital influencia potencialmente en el desarrollo de la biotecnología en el país.

La pregunta clave aquí es si estos cambios han tenido una repercusión positiva en el desarrollo tecnológico de México para una transición hacia una sociedad del conocimiento, o no. Una manera de tener un panorama general de las tendencias que se originan dentro del ecosistema de innovación tecnológica es observar si el número de patentes en biotecnología ha cambiado con respecto a lo que se había venido observando en los últimos años (véase Morales y Díaz en este libro).

### III. La participación conjunta de los tres motores de la innovación y el modelo de la *triple hélice*

Para poder entender cuáles son los pilares en los que está fundada la innovación de una sociedad, Etzkowitz propuso un modelo que pone como base un marco teórico en el estudio de las relaciones necesarias para tener una sociedad del conocimiento fructífera. A este modelo se le conoce como *La triple hélice*, en el que tres entidades: la academia, la industria y el gobierno; establecen interacciones fuertes y constantes para poder transitar en el intrincado camino de la innovación (Etzkowitz, 2008). El modelo de la triple hélice de la innovación es una plataforma guía en que son fácilmente visualizables los tipos de interacciones necesarias para que la innovación ocurra, y al mismo tiempo, coadyuva a poder entender cuáles son los puntos clave donde cada una de las entidades tiene oportunidades de desarrollo, así como sus retos. El entendimiento de las intersecciones donde el modelo de triple hélice funciona promueven que las entidades, que típicamente se dedican a una sola actividad, ahora puedan convertirse en híbridas y es dentro de esa transformación que las interacciones comienzan a girar y dirigirse una sobre la otra. En las sociedades modernas del conocimiento, es difícil imaginar cómo las tres entidades partícipes de la triple hélice no interactúen entre sí. El esquema donde una universidad genera graduados sin bagaje en la industria, o el gobierno que espera pasivamente a que la industria capte y entrene a profesionales para sus tareas específicas dentro de las empresas, o inclusive la industria que está enfocada en atender su negocio en espera que las regulaciones gubernamentales no sean un estorbo, es un esquema anticuado, y



en muchas ocasiones obsoleto, para poder competir en el mundo globalizado. Los países que no estimulan el que ocurran las interacciones características de la *triple hélice* generalmente tienen rezagos tecnológicos importantes (Freeman y Soete, 1997). En México, por ejemplo, el poco o nulo entendimiento de este concepto ha sido una parte fundamental del rezago tecnológico actual. Por años el esquema nacional de gasto público dedicado a ciencia y tecnología en realidad estaba más enfocado al apoyo financiero a la ciencia básica en todas sus áreas; se esperaba que la tecnología –dentro del concepto de *ciencia y tecnología*– fuera generada por los científicos, para eso se les financiaba. Sin embargo, como veremos más adelante, un científico no necesariamente es un innovador tecnológico, y viceversa.

La innovación tecnológica, por lo tanto, debía existir como resultado de la conjunción de la ciencia con la industria; el gobierno esperaba pasivamente lo que las otras dos entidades generaran para regular, recaudar impuestos, o ambos. La academia, por su parte, al no tener un estímulo extra al de generar conocimiento científico y ser evaluada por el número de publicaciones, no propiciaba una interacción con la industria; la única necesidad que tenía era la de pedir (o exigir) más presupuesto al gobierno. La industria, concentrada en el negocio, no sabía o no le interesaba entablar ninguna interacción con las otras dos entidades, por el contrario, mientras más alejados y menos estorbaran, mejor. El resultado de esta cultura es un desentendimiento por cada uno de los tres entes de la *triple hélice* de lo que hace o les interesa a los otros dos; concomitantemente, el hablar sólo uno de los lenguajes y desconocer los otros dos trae consigo muy poca innovación.

*Grosso modo*, las participaciones de cada una de las entidades de *triple hélice* propician que las otras dos interactúen, de tal modo

que el gobierno debe incentivar la interacción de la academia con la industria –por ejemplo, a través de estímulos fiscales, financiamiento para proyectos conjuntos en los que haya protección industrial, incorporación de estudiantes graduados en empresas que colaboren con la academia, posgrados en la industria que atienden problemáticas específicas en ciertas áreas industriales, etc–; la academia, por su lado, debería de ser participe en solucionar necesidades de la industria, así como buscar que más del conocimiento que genera sea transferido a empresas interesadas en la explotación del mismo o inclusive de generar *Spin-off* derivadas de las tecnologías originadas por proyectos en los que hubo un financiamiento con dinero público; la industria, por último, debería de buscar expandir sus capacidades tecnológicas con ayuda de científicos e ingenieros de tal manera que se pudieran obtener productos de mayor valor agregado en la cadena de valor en la que incursionen. Como resultado, la interacción de las tres entidades de la *triple hélice* traería como resultado más y mejores empleos para graduados con alta especialidad de la academia, más recaudación por parte del gobierno, y más producción en la industria ya que sería de esperarse que desarrollos tecnológicos logrados por esta interacción pudieran directamente beneficiar a cada industria o empresa sin tener que importar tecnología de otros países (Anthony, 2008).

El panorama nacional, que hasta antes del año 2010 imperaba, incluía la interacción academia-gobierno como parte de un presupuesto que se debía asignar a la academia para generar conocimiento; presupuesto a fondo perdido. La relación gobierno-industria se caracterizaba por regulaciones que se ponían sobre cierta industria derivado de la explotación de alguna tecnología y su correspondiente recaudación de impuestos por las ventas logradas. La relación industria-academia se caracterizaba principalmente por la venta de

productos de la industria a la academia; productos que generalmente son importados ya que no existe una industria tecnológica sólida en el país. Como resultado de esto último, un recién graduado con licenciatura, maestría o doctorado, tiene dos opciones si desea obtener un empleo donde pueda aplicar el conocimiento adquirido después de cursar una carrera tecnológica: incorporarse al departamento de ventas de una empresa importadora de tecnología, o emigrar a un país más industrializado donde pueda continuar con sus intereses y la oferta de trabajo sea más amplia. Bajo este enfoque, las aspas de la *triple hélice* no se mueven coordinadamente y no puede haber progreso tecnológico (Etzkowitz, 2008).

Dentro del modelo de la *triple hélice* se puede identificar un factor muy importante: las universidades no son sólo centros de enseñanza, sino además incursionan en el emprendedurismo. Los alumnos tienen un acercamiento con la generación de tecnología, y el concepto de *Spin-off* o *Start-up* tecnológicas son comunes para ellos. Dentro del esquema de la triple hélice una estrategia que han seguido los países desarrollados es el construir lo que se conoce como “Parques tecnológicos”, que son lugares donde se puede rentar un espacio para poder incubar una empresa. Algo muy importante de los parques tecnológicos es que deben tener cercanía física a los centros educativos, especialmente a las áreas donde se lleva a cabo la investigación y hay estudiantes de posgrado; el objetivo de esto es que estudiantes y profesores puedan trasladarse fácilmente entre clases o labores de investigación del día a día. Los parques tecnológicos son esenciales en la biotecnología ya que, para poder desarrollar una idea o producto, se requiere de equipo que en su gran mayoría es muy costoso. Si algún estudiante de pregrado o posgrado llega a tener una idea emprendedora relacionada con la biotecnología, puede acceder a espacio y equipo necesario para

llevarla a cabo si es que en el grupo de investigación donde lleva a cabo su trabajo no está interesado o contemplado en dicho proyecto. Es en el estado de Massachusetts, en Estados Unidos, donde la biotecnología e innovación en general han llegado a un grado de sofisticación muy elevado, existen varias modalidades de parques tecnológicos: públicos o estatales, que son financieramente los más accesibles pero tienen equipamiento menor; los privados, cuyos costos son más elevados pero generalmente están asociados a una red de inversionistas con alto conocimiento en tecnología e innovación; y los mixtos, donde el interés de los inversionistas y el tipo de equipamiento generalmente albergan los proyectos más ambiciosos, y donde además el Estado tiene interés de financiar con donativos a fondo perdido. Un proyecto tecnológico donde hay interés de los desarrolladores científicos, los inversionistas, y los programas estatales o federales, tiene altas posibilidades de lograr el éxito (Etkowitz, 2008). En un ecosistema como este es de esperarse que muchas de las ideas innovadoras que surgen de la academia, por estudiantes o profesores puedan tener un desenlace positivo. En las sociedades del conocimiento, los parques tecnológicos son una pieza fundamental para que las entidades que conforman la triple hélice se entrelacen coordinadamente.

#### **IV. El peso que tiene la protección industrial en la biotecnología**

Las industrias tecnológicas dependen en gran medida de la protección intelectual. Es común que, para poder explotar un desarrollo tecnológico, una empresa con capacidades de producción, escalamiento y ventas a nivel industrial, utilice la exclusividad del uso comercial del mismo por medio del uso de la(s) patente(s) asocia-

da(s) al mismo. De tal forma que, los montos invertidos en poder fabricar o escalar el producto derivado del desarrollo tecnológico patentado tengan un retorno monetario antes de la expiración de la patente. Si una invención es del dominio público, y su manufactura o explotación es relativamente sencilla para individuos medianamente entrenados, es poco probable que una empresa tecnológica se interese en la explotación de la tecnología (Freedman 2007, 2008). Esto confiere una estructura muy definida a las diferentes industrias tecnológicas actuales, entre ellas la biotecnología. Tomemos como ejemplo el caso de la primera patente sobre CRISPR-CAS9 y su uso comercial.

Después del descubrimiento de que el sistema CRISPR-CAS9 podía usarse para editar el material genético de prácticamente cualquier especie del planeta, se solicitó una patente asociada al uso comercial del mismo (Begley, 2018). El otorgamiento de la patente procedió, ya que no se patentó el sistema CRISPR-CAS9 como tal, o alguno de sus componentes, sino el uso del sistema para editar genomas. Ello significa que quien quiera usar el sistema CRISPR-CAS9 con fines de lucro, tiene que pagar una proporción a los descubridores del mismo. Hasta el momento, la disputa más famosa en términos de patentes de la era moderna corresponde a quién sería el dueño de la patente del uso comercial del CRISPR-CAS9 en el material genético de los seres humanos (Condliffe, 2017). Dicha disputa fue ganada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y su descubridor; los perdedores de la disputa fueron investigadores de la Universidad de California, Berkeley, y (en su momento) Max Planck. Brevemente, los grupos de investigación de Berkeley y Max Planck habían descubierto que el sistema CRISPR-CAS9 podía usarse para editar ADN (ácido desoxirribonucleico, el material portador de la herencia genética) por lo que al mismo tiempo de pu-

blicar sus resultados científicos solicitaron una patente relacionada al uso comercial del sistema. Mientras la patente estaba en revisión en la costa oeste de Estados Unidos, un investigador del MIT se le ocurrió usar el sistema para editar específicamente algunos genes del genoma humano, por lo que al confirmar que era posible hacerlo con CRISPR-CAS9, solicitó también una patente correspondiente. Ambas solicitudes coexistieron en el tiempo. Sin embargo, hubo un cambio también casi simultáneo en la ley de patentes en Estados Unidos, cambio que permitía solicitar una “Petition to Make Special (PTMS)” que es una petición formal de evaluación expedita y una declaración rápida de voto positivo o negativo en la concesión de la patente (Mullin, 2018). A pesar de que el grupo descubridor de la patente solicitó la patente el 25 de mayo de 2012 y el grupo del MIT lo hizo el 12 de diciembre del mismo año, las oficinas de patente del MIT optaron por el recurso legal PTMS y la solicitud de la patente entró a una revisión expedita. Al optar por este recurso, los investigadores del MIT lograron obtener la patente sobre el uso del sistema CRISPR-Cas9 en humanos el 15 de abril de 2014, antes que sus descubridores iniciales. Esto originó una guerra de patentes y una controversia en la biotecnología: ¿Quién tenía preferencia en el otorgamiento de una patente? ¿Quién primero realizó la invención? ¿Quién la solicitó primero? o, ¿A quién el procedimiento se la otorgó primero? Actualmente, a pesar del juicio por “interferencia” que impusieron los descubridores del sistema CRISPR-CAS9 para edición de ADN, la patente asociada al mismo sobre su uso en el genoma humano corresponde al grupo del MIT.

Como es evidente, el conocimiento sobre cómo se lleva una invención tecnológica del laboratorio al ámbito comercial depende –entre muchas cosas– de la base tecnológica protegida mediante patentes. Es a través de las patentes que las empresas pueden tener

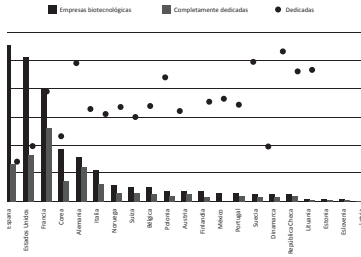
la certeza de poder invertir cuantiosos recursos en el desarrollo comercial de una tecnología si hay una garantía de que la competencia es limitada, o nula, en muchas ocasiones.

## **V. El panorama de las patentes en biotecnología en México**

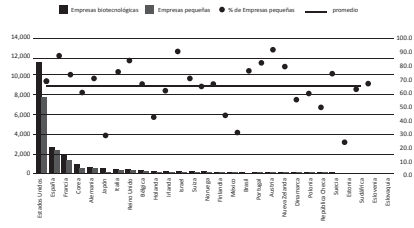
En México, el conocimiento sobre patentes de base tecnológica, y lo relacionado a ellas, es muy limitado, ya sea por tecnólogos, por científicos o por estudiantes de carreras afines; la biotecnología no es una excepción. En términos de patentes, México se encuentra dentro de los primeros 15 países miembros de la OCDE donde más se patenta tecnología (WIPO, 2017). Tan solo en el ámbito de la biotecnología, desde principios de la primera década del milenio se comenzó a ver un cambio en materia de patentes en biotecnología, y ese número había ido en aumento constante hasta el año 2012 (Figura 1) (Morales y Amaro, 2017:58). En México se registraron 1253 patentes en el año 2012, siendo un año récord para la biotecnología en el país. Sin embargo, este número, a pesar de ser una cifra alta dentro de los países de la OCDE, es un tanto engañoso: de las patentes registradas en ese año, solamente 12 (menos de 1%) son de origen mexicano. Es decir, las ideas que dieron origen a tales patentes se financiaron y cocinaron en casa; todas las demás patentes de ese año récord, son de origen extranjero (Figura 2). Desde cierta perspectiva, es posible ver a México como un país donde se puede desarrollar la tecnología que se inventa en muchos lugares del mundo, y es por ello que es importante proteger esas invenciones aquí. Desde otra perspectiva, podría verse a México como un país de mano de obra calificada donde se pueden transformar en productos comerciales y venderse desde ahí a otros países (por ejemplo, Estados Unidos).

La Figura 2 muestra el número de patentes biotecnológicas registradas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)

**Figura 1.** Número de patentes Biotecnológicas registradas en el IMPI



**Figura 2.** Número de patentes Biotecnológicas mexicanas registradas en el IMPI



Fuente: elaboración propia.

desde el año de 1995 hasta el 2015 de proyectos que nacieron dentro del territorio nacional y que fueron financiados internamente. Como puede observarse, a pesar de que hay una tendencia al aumento hacia el año 2012, la pendiente es mucho más modesta que las patentes internacionales registradas en el país (Figura 1). Actualmente existe un desbalance entre el número de patentes extranjeras que se solicitan y otorgan en México *versus* las nacionales en comparación con las 20 principales oficinas de patente a nivel internacional (Figura 3, porcentaje de Residente *vs* No-Residente) (IMPI, 2017; WIPO, 2017).

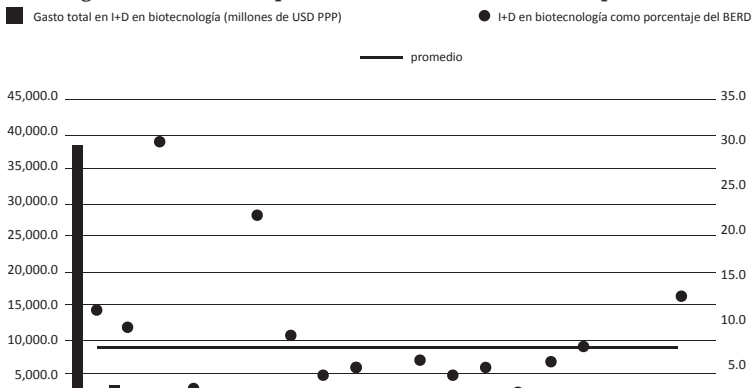
Algo importante de resaltar es que en el año 2015 hubo un incremento en el número de patentes mexicanas registradas asociadas con desarrollos biotecnológicos (total 31) con respecto a los años anteriores que, hasta ese año, fue una cifra récord. Una posible razón que podría explicar este número es el cambio discutido anteriormente a la Reforma de Ley de Ciencia y Tecnología que elimina el conflicto de interés a científicos e investigadores con adscripción en



alguna institución dentro del territorio nacional y al incremento de científicos que el programa de Cátedras Conacyt que comenzaron a laborar en el año 2013. Es razonable especular que, de los desarrollos que se estaban llevando a cabo, ambos cambios tuvieron una influencia positiva dentro del número registrado de patentes y eso impulsó a que más descubrimientos tuvieran una opción como desarrollos tecnológicos protegidos por medio de patentes.

Cabe mencionar que el hecho de que una patente asociada a un desarrollo tecnológico no genera, por sí sola, riqueza o bienestar social. La patente es solamente una de las muchas interfaces que tiene el proceso de innovación que lleva una idea del laboratorio al mercado. Sin embargo, la patente es el primer paso para poder comenzar negociaciones entre las instituciones y empresas interesadas en explotar la tecnología comercialmente. La patente es la primera piedra de la transferencia de conocimiento en el proceso de innovación. Esto nos lleva a preguntar ¿Quién sabe de patentes o innovación en biotecnología en México?

**Figura 3. Solicitud de patentes en las 20 oficinas más importantes**



Fuente: wipo Statistic Database, September 2017

[http://wipo.int/edocs/pubdocs/es/wipo\\_pub\\_941\\_2017.pdf](http://wipo.int/edocs/pubdocs/es/wipo_pub_941_2017.pdf)

## **VI. El valor de las oficinas de transferencia tecnológica en el proceso de innovación**

El perfil profesional de un innovador es muy peculiar: es alguien que domina el “estado del arte” de la tecnología dentro del ámbito en el que se desenvuelve, pero que también conoce las necesidades de la industria y de cómo hacer que un desarrollo tecnológico se convierta en negocio para muchos. Algo que podría parecer paradójico, es que un buen científico no necesariamente es un buen innovador, y viceversa (Anthony, 2008). Típicamente, los científicos dominan el aspecto académico de la frontera del conocimiento en campos específicos, diseñan proyectos de principio a fin para construir más conocimiento y escriben y publican los resultados de sus descubrimientos; todo esto en un entorno académico donde los estudiantes de pre- y posgrado juegan un papel importante. Un innovador no necesariamente ostenta un grado académico elevado, sin embargo, conoce el “estado del arte” y entiende lo suficiente de ciencia como para poder traducir en un lenguaje coloquial los conocimientos generados y su potencialidad. Ese lenguaje es, además, financiero. La mente del innovador comprende del valor de un descubrimiento y los intangibles asociados al mismo; sabe situar una tecnología en el mercado y su posible uso en un futuro y su competencia. A pesar de que muchos innovadores iniciaron sus carreras en la academia, los científicos e innovadores son, en la mayoría de los casos, estirpes mutuamente excluyentes.

¿Cómo es entonces que se logra la innovación dado la explicación anterior? Para lograr llevar una tecnología al mercado primero se debe transitar por un largo y sinuoso camino donde intervienen muchos profesionales en un punto en particular del proceso innovador, cada uno con capacidades complementarias. En muchas

ocasiones donde las innovaciones que no alcanzan transitar al paso comercial, es debido a que el equipo conformado para lograrlo no tiene la suficiente química o conocimiento para llegar a hacerlo; o la tecnología no estaba lista para hacerlo, ya sea en tiempo o en forma. Sin duda, el científico, o grupo de científicos, que originaron la invención deben ser parte importante del proceso de innovación. Sin embargo, no es de esperarse que sean ellos quienes lo lleven a cabo. Típicamente, los científicos propietarios de la invención son parte importante del comité científico asesor de una compañía (Etkowitz, 2002). En los casos donde la tecnología fue generada en una compañía de base tecnológica directamente, comúnmente el grupo científico es una parte importante de la cadena de valor de la innovación.

A diferencia de las empresas tecnológicas, donde existen equipos específicos de científicos y desarrolladores (comúnmente llamados I+D, *Investigación y Desarrollo*) por área, gran parte de las innovaciones en biotecnología son llevadas a cabo en instituciones educativas y centros de investigación; esto parece ser una regla general alrededor del mundo. Por ello, abordaremos cómo es que las instituciones educativas y centros de investigación innovan a través de Oficinas de Transferencia Tecnológica.

#### *i) La función de las oficinas de transferencia tecnológica*

En las instituciones educativas de alto prestigio internacional en la generación de tecnología (como el MIT, Harvard, Caltech, entre otras), las Oficinas de Transferencia Tecnológica (OTTs) juegan un papel importante en el proceso innovador (Kornberg, 1996). Una vez que el científico ha realizado un descubrimiento, generalmente se hace un reporte de invención, mismo que utiliza la OTT insti-

tucional para poder hacer rápidamente un análisis de patentabilidad y de potencial comercial; si la institución decide que, con base del análisis hecho por la OTT, vale la pena proteger la tecnología, entonces se procede a redactar y someter la solicitud de patente ante la oficina de patentes correspondiente (IMPI, para el caso de México). Mientras la patente está sometida y en revisión se buscan socios comerciales, ya sea inversionistas interesados o empresas estructuradas, para poder dar vida a la tecnología en cuestión, ya sea para iniciar una *Spin-off* alrededor de la tecnología, o con la intención del licenciamiento de la patente para su explotación (Friedman, 2004). Es por el análisis de las OTTs, y en muchos casos por el “olfato” de sus miembros que una tecnología puede perecer en el intento y antes de tener vida (Denning, 1990). En el caso de la disputa de patentes del caso CRISPR-CAS9 y la edición de genomas, la OTT del MIT mostró un mucho mejor olfato al tratar el caso y lograron adelantarse a su competencia californiana por medio del recurso de revisión expedita (Mullin, 2018). Al final de cuentas, de las dos instituciones, el MIT es el que tiene la fama de vivir de sus patentes (Rogers, 1954; Etkowitz, 2002). La función de la OTT de una institución es por lo tanto guiar, gestionar y negociar la protección y comercialización de la invención o tecnología en cuestión, así como de darle seguimiento a la misma (Etkowitz, 1983).

Para que una OTT funcione adecuadamente, sus miembros deben poseer una base sólida de conocimiento científico, pero además deben conocer cuáles son las interacciones inter y extra-institucionales que les permitan poder transitar en la transferencia de la tecnología; por lo que también conocen en detalle el proceso de patentamiento, finanzas, regulación gubernamental, creación de *Spin-off*, *Start-ups* y licenciamiento (Denning, 1990). En pocas palabras, una OTT satisface la necesidad que tiene una institución

por innovadores, que como se mencionó anteriormente, transforman el conocimiento generado por los científicos de un centro de investigación, en un producto que genera ingresos. Con esto, el cuerpo académico de investigación puede seguirse concentrando en la parte que le corresponde, la generación de conocimiento.

Es común que países en vías de desarrollo, como México, tengan un rezago en la generación de tecnología para resolver los problemas intrínsecos subyacentes a su misma sociedad con respecto a países altamente industrializados. En México, una de las razones que ha dado el rezago tecnológico, y específicamente en la biotecnología, fue la carencia de incentivos que los científicos tenían para promover o propiciar que el conocimiento que generaban pudiera comercializarse de alguna manera. Por tal motivo, otro de los cambios que se hizo años atrás, fue el tomar en cuenta las patentes generadas por los investigadores adscritos al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). El SNI es una dependencia del Conacyt que comprende un padrón nacional de investigadores que otorga estímulos económicos basándose en la productividad académica que tiene un investigador por medio de la evaluación por pares (Rodríguez, 2016). Este programa, fundado por Decreto Presidencial en 1984, tuvo como objetivo promover y fortalecer la calidad científica y tecnológica que se produce en el país mediante los estímulos económicos. Para acceder y formar parte del SNI, el investigador es evaluado con base en el número de publicaciones y número de tesis dirigidas principalmente. Otros rubros, como número de libros publicados, conferencias impartidas, número de patentes solicitadas o concedidas, eran simplemente complementarias al nombramiento. Como es lógico, a lo largo de casi 30 años, nuestros investigadores y científicos se volvieron muy buenos “publicadores” de conocimiento, pero no se desarrolló el proceso

de innovación o de transferencia del conocimiento; actualmente el proceso de someter una patente ha sido experimentado por muy pocos científicos del país.

El proceso de adjudicación de una patente puede llegar a ser muy tardado; existen ejemplos en los que el conceder una patente puede durar hasta 20 años después del día del ingreso de la solicitud. La patente derivada del descubrimiento de los siRNAs –moléculas que interfieren con la función de los genes de manera muy específica– ingresada en el año 2000, fue apenas concedida en el 2013. Afortunadamente, el proceso de generación de moléculas terapéuticas no necesita esperar hasta que se conceda una patente, ya que la experimentación tanto *in vitro* como *in vivo* puede proseguir en laboratorios y empresas farmacéuticas. De tal modo que el 10 de agosto del año 2018 se dio a conocer el primer fármaco comercial, basado en la tecnología de los siRNAs, que es aceptado por la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos para ser administrado como un agente en el tratamiento de la amiloidosis hereditaria –una enfermedad rara que afecta el funcionamiento hepático. Este fármaco, ONPATTRO, incluido su descubrimiento, experimentación en animales, y todas las fases clínicas, tardó más de una década en desarrollarse. Sin embargo, de no haber existido una patente inicial, es casi seguro que los fármacos desarrollados con base en tecnología de siRNA nunca se hubieran desarrollado. El desarrollo de ONPATTRO se debe en gran medida a la exclusividad de la explotación comercial de la patente de los siRNAs de la compañía Alnylam –empresa generada como una *Spin-off* en 1999 a raíz de la solicitud de patente de los siRNAs en el año 2000 (Blanding, 2015). Diecinueve años después y con más de 200 empleados, Alnylam vale actualmente 1.6 mil mdd.

Además de los cambios mencionados con anterioridad a la Ley de Ciencia y Tecnología y a la Formación del Programa Cátedras, y tomado como ejemplo muchos casos de éxito parecidos al de Alnylam, es que se implementaron otros dos cambios estratégicos para incentivar la innovación a nivel nacional. El primero fue cambiar el paradigma del modelo de evaluación del SNI: además del número de artículos publicados y estudiantes graduados, también se comenzaría tomar en cuenta el número de patentes concedidas por los investigadores (Conacyt, 2014). El segundo cambio fue el incentivar la formación de OTTs a nivel nacional que pudieran coadyuvar en el proceso de innovación al gran número de investigadores pertenecientes al SNI con formación científica y tecnológica. Este cambio puede atribuirse principalmente a que el mero incentivo del SNI para tomar en cuenta el número de patentes no es suficiente para generarlas, si a lo largo de 30 años, el concepto y función de una patente es poco conocido entre los científicos mexicanos. Como se mencionó antes, el proceso innovador depende de un conocimiento y bagaje empírico que va más allá del mérito académico y científico. Por lo que el trasladar un descubrimiento científico al ámbito comercial es algo en lo que los investigadores adscritos al SNI tienen poca o nula experiencia; a tal grado que el simple hecho de imaginar que el conocimiento pueda generar ingresos al investigador e institución de adscripción es poco comprendido, y en algunos casos, hasta repudiado por científicos nacionales.

Para tratar de reducir los efectos del rezago intelectual en materia de innovación, se lanzó un programa a nivel nacional para incentivar la creación de OTTs. Aunque muy poco conocido en sus inicios –hecho que es de esperarse en una sociedad carente en cultura innovadora– el programa para incentivar las OTTs en el país ha

dato resultado y actualmente el número de OTTs reconocidas por Conacyt y por el Fondo Sectorial de Innovación de la Secretaría de Economía asciende a más de 70 en toda la república mexicana, y va en aumento. Los profesionales de la innovación, esto es miembros fundadores, asociados, o empleados de las OTTs nacionales, ya sea privadas o pertenecientes a instituciones donde se realiza investigación; comenzaron a instruirse en los pormenores del proceso de innovación. De tal forma que muchos lograron obtener su bagaje en innovación (si no por experiencia propia, al menos de manera teórica) de acudir a cursos orientadores en los lugares donde más se genera tecnología (desde el *hub* biotecnológico de Boston y sus alrededores en Massachusetts, hasta Silicon Valley en California).

Aunado a estos cambios, hubo otra estrategia que ha marcado un hito en el ámbito de la innovación en México: la implementación del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) y el Fondo de Innovación Tecnológica (FIT), ambos programas del Conacyt. Estos, ofrecen financiamiento a empresas que tienen la intención de innovar, pero no tienen el presupuesto suficiente para lograrlo. El PEI y el FIT, ofrecen financiamientos a fondo perdido y basan los montos de sus apoyos en si la empresa tiene o no asociación con alguna institución académica, y por el nivel de TLR<sup>1</sup> en el que se encuentra la tecnología presentada para la obtención de financiamiento (de León, *et al*, 2015). Las evaluaciones son primeramente hechas por pares expertos en la materia, y posteriormente por cuerpos colegiados. El PEI ha tenido un gran éxito y en agosto del 2018 se publicó un libro con 150 casos de éxito derivados del programa.

1 TLR. *Technology Level Readiness*. Es un sistema de medición utilizado para evaluar el nivel de maduración de una tecnología, diseñado por la NASA para mantener una guía y poder proporcionar una manera uniforme de evaluación.



## VII. Engranajes faltantes para poner en marcha el modelo de la Triple Hélice en biotecnología en México

A pesar de que los cambios e impulsos hechos al Sistema de Ciencia y Tecnología Nacional han tenido resultados positivos cuantificables, es importante resaltar que sigue existiendo un rezago cognitivo importante sobre cómo el conocimiento generado en las universidades y centros de investigación puede llegar a generar riqueza en un país. Como se mencionó antes, las OTTs juegan un papel principal en la transferencia de conocimiento de la academia a la industria, por lo que es críticamente necesario el poder cultivar profesionales en esa materia desde muy temprano en su formación; no solamente para poder ocupar puestos en OTTs, sino para poder llegar a adquirir el lenguaje que bulle en lugares como el MIT (Etzkowitz, 2008).

### *i) La carencia del lenguaje innovador en las Universidades de México*

El rezago intelectual en materia de innovación en México es el producto de décadas de analfabetismo tecnológico (Pérez-Tamayo, 2005). El lenguaje de la innovación, como cualquier otro lenguaje, se aprende de dos posibles maneras: estudiando las teorías y consejos de los que lo hablan a través de cursos o, por el contrario, experimentando directamente en el lugar donde se habla. Si se desea enseñar un lenguaje en una escuela, es necesario contar con individuos que demuestren conocimiento en ese lenguaje para impartir cursos en varios niveles. Escuelas cuyos cursos son llevados a cabo en el lenguaje que se desea impartir — por ejemplo, bilingües — tienen mucho mejores resultados en el

nivel de aprendizaje del lenguaje que las que solamente imparten cursos en diferentes niveles. Trasladando esta analogía al caso de la innovación en biotecnología, sería entonces lógico pensar que en las universidades o centros de investigación donde se practica la enseñanza de la biotecnología, (o sus vertientes más cercanas), hablara dicho lenguaje mínimamente con cursos en diferentes niveles, o idealmente, que fueran “bilingües” y que en cada clase que se llevara a cabo (biología molecular, biología celular, inmunología, etc.) se aprendiera desde una perspectiva de innovación. En sociedades altamente industrializadas esta analogía, que podría parecer descabellada, es algo cotidiano en la vida académica de los centros de investigación en biotecnología. El panorama en México es muy distinto.

Haciendo un análisis de los planes de estudio de 209 licenciaturas e ingenierías relacionadas al campo de las ciencias de la vida (Ing. en Biotecnología, QFB, Biotecnología Genómica, Biomedicina, etc.) de la oferta académica de 39 universidades para el año 2018, solamente cinco tienen un curso formal consolidado relacionado al proceso de innovación (Protección Industrial, Bionegocios, Emprendedurismo, Transferencia Tecnológica) dentro de su plan de estudios. La situación en los posgrados nacionales no es muy diferente: a nivel maestrías solamente 5 de 201 programas; a nivel doctorado 0 de 190 programas a nivel nacional contienen asignaturas relacionadas al proceso de innovación durante el período escolar 2018 (Tabla 1).

**Tabla 1. Carreras y programas con cursos formales relacionados con innovación tecnológica por universidades**

	Universidades	Carrera / Programas	Total
Licenciatura	39	209	5
Maestría	56	201	5
Doctorado	46	190	0

Fuente: elaboración propia.

Como es evidente, los esfuerzos del Estado para incentivar el ecosistema de innovación en México no han permeado lo suficiente en la academia a nivel nacional en el área de las ciencias de la vida. Con ello, el desarrollo de la biotecnología en el país podría seguir sin poder detonar una economía del conocimiento basada en el modelo de la Triple Hélice de la innovación.

A pesar de la inversión hecha por los programas y estrategias mencionados anteriormente, la academia parece no haber adoptado una postura similar. ¿Por qué? Un hecho importante que no debemos de perder de vista es que de la plantilla de investigadores pertenecientes al SNI (cuya vasta mayoría también son profesores de posgrado a nivel maestría o doctorado), no necesariamente tienen un bagaje en innovación o transferencia de tecnología. Por lo tanto, los cursos fundamentales y tópicos a los que estarían adscritos en los programas académicos de las ciencias de la vida son un reflejo de los conocimientos en los que más hemos formado profesores y científicos a nivel nacional. A nivel pregrado, no es un requisito indispensable que el profesorado ostente un título de posgrado en la mayoría de las instituciones, por lo que, del mismo modo, la carencia del lenguaje innovador del profesorado se refleja en los planes de estudio. Si los comités académicos de algún programa no incluyen un curso o tópico en el programa que coordinan es posiblemente porque no se considera importante para el perfil del egresado de la carrera en cuestión. Otra explicación podría ser que sí sea considerado importante, pero desconocen cómo impartirlo o cómo estructurar un curso útil del modo actual de innovación a nivel local o inclusive internacional. Claramente, los comités académicos que desconozcan cómo se lleva a cabo proceso de innovación en las ciencias de la vida, difícilmente considerarán incluirlo como una asignatura en los planes de estudio.

ii) *La carencia de parques tecnológicos en las ciencias de la vida*

La asociación de la academia con parques tecnológicos es una de las estrategias de apalancamiento que dan vigor a la *triple hélice* en las sociedades del conocimiento. Uno de los principales beneficios y efectos potenciales de estos es el fomento a la actividad empresarial por medio de incubación de empresas ya que se privilegia el conocimiento y la tecnología como fuentes de la riqueza, son semilleros de empleos de alto valor y productividad, por lo que a su vez se propicia el crecimiento (García-Verdú, 2008). Evidentemente, los parques tecnológicos no son estrictamente necesarios para la industrialización de la creación de tecnología, pero en la era moderna son considerados un foco de creación que estimula la creación sinérgica de *Start-ups*. En México, el proyecto de creación de parques tecnológicos es coordinado por la Secretaría de Economía e intenta satisfacer principalmente siete diferentes áreas de la tecnología moderna –biotecnología, software, energías renovables, mecatrónica, nanotecnología, TICs. Hasta el momento existen 23 Parques Tecnológicos distribuidos en 16 estados de la República Mexicana. Dentro de estos, el Parque de Innovación e Investigación Tecnológica, Apodaca, Nuevo León; el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán, Mérida, Yucatán; el Tecnoparque de Colima, Colima –aún no concluido; Biohelis, en La Paz, Baja California Sur; y el Parque de Innovación Agrobioteg, Irapuato, Guanajuato, son los parques en los cuales se propicia –de alguna manera– la incursión en la biotecnología. Sin embargo, ninguno de estos fue diseñado para incubar empresas biotecnológicas.

En la búsqueda de propiciar el crecimiento de la biotecnología en México, la Secretaría de Economía aprobó a mediados de la primera década del milenio, la construcción del primer parque tec-

nológico dedicado primordialmente a las ciencias de la vida. Dicho proyecto tuvo su sede al sur de la Ciudad de México, a un costado del Instituto de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM-CDMX); ubicación estratégica dada la alta concentración de Institutos Nacionales de Salud, hospitales, universidades que producen profesionales en las ciencias de la vida y empresas farmacéuticas y laboratorios cercanos al proyecto. El parque tecnológico CDMX tendría como principal semillero de talento al ITESM, ya que el predio (y proyecto) fueron asignados a dicha institución; la primera piedra se colocó en el año 2010. Sin embargo, por razones no del todo conocidas, el proyecto fue abandonado por el gobierno de la ciudad de México en el año 2013, y el terminar el proyecto en su totalidad quedó bajo la administración exclusiva del ITESM. Tras la demanda matricular de la institución educativa, la infraestructura ya construida para dar vida al parque tecnológico pasó a convertirse en aulas y laboratorios escolares. Hasta el momento, no se tiene un comunicado oficial sobre retomar la creación o sustitución de dicho parque.

Es importante recalcar que un parque tecnológico, como lo describe Etzkowitz (Etzkowitz 2008), no es meramente un lugar para rentar espacios corporativos, sino un recinto donde se puede tener acceso a infraestructura especializada para desarrollar prototipos de productos o servicios que posteriormente se puedan transferir a la industria. En nuestra opinión, sería erróneo pensar que un parque tecnológico cumple con su función si los espacios con los que cuenta se limitan a ser rentados a compañías cuyo interés en el mismo no tienen la intención del desarrollo de nuevas tecnologías, sino meramente la renta de oficinas a un bajo costo; como es el caso del Parque Tecnológico Innovación Querétaro y la compañía transnacional Nike Inc. –cuyo valor en el mercado su-

pera los mil millones de dólares- y claramente, el no tener acceso al parque difícilmente compromete su desarrollo, maduración o supervivencia.

### VIII. Conclusiones y perspectivas

La enseñanza universitaria es el corazón de la impartición y generación de conocimiento. En la transición a una sociedad del conocimiento, las universidades y las intersecciones que puedan formar con la sociedad son vitales para tener economías saludables y bienestar social. Es por ello que los esfuerzos hechos por las entidades que conforman la *triple hélice* deben estar adecuados para que cada uno pueda coadyuvar en el desarrollo de los otros dos. Es importante mencionar que el entrelazamiento de la academia-industria-Estado no es -y no debe ser- estático; debe evolucionar con respecto a las necesidades, retos, oportunidades, e inclusive cambios sociales, generados a nivel global (Etzkowitz, 2002).

Del análisis aquí presentado, hemos logrado identificar uno de los cambios que podrían fortalecer la transición a la sociedad del conocimiento en materia de biotecnología. Proponemos que un cambio en el ámbito académico podría ser clave para poder hablar el lenguaje de la innovación desde etapas tempranas de la formación de profesionales en tecnología, con lo que, a su vez, se podría detonar con mucha más fuerza el aprovechamiento de programas implementados por el Estado a nivel local y federal. Este cambio podría tener como base el incluir asignaturas con un perfil de innovación en todos los programas de estudio de carreras afines a las ciencias de la vida, de tal modo que el lenguaje necesario vaya propiciando la creación de los engranes faltantes para que la *triple hélice* pueda girar coordinadamente.

El cambio en los programas académicos podría estar coordinado por el mismo Conacyt, del mismo modo en el que el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt) –que es un instrumento de apoyo tecnológico y la innovación del país que identifica y empadrona las instituciones, centros, organismos, empresas e inclusive personas físicas de los sectores público; social y privado que llevan a cabo actividades relacionadas con investigación y desarrollo de tecnología en México. A través de un programa como este –que es usado actualmente por programas tipo PEI y FIT– pero destinado a identificar carreras y posgrados con un perfil innovador, se podría canalizar la formación de *hubs* biotecnológicos, así como la distribución y concentración de actividades empresariales e innovación específicas por zonas. Esto a su vez serviría para poder fortalecer el Programa Nacional de Parques Tecnológicos, donde regiones específicas aprovechan las facilidades que ofrecen los mismos para poder crear nuevas tecnologías y comercializarlas con la ayuda de incubadoras. La carencia de un Parque Tecnológico en Ciencias de la Vida, donde se puedan incubar nuevas empresas biotecnológicas, es un desaprovechamiento al *clúster* de investigación que se lleva a cabo en la Ciudad de México, que es donde termina gran parte del presupuesto que destina Conacyt a proyectos de investigación. La propuesta de crear el Parque Tecnológico al sur de la CDMX era muy robusta y prometedora. De no retomar dicho proyecto es posible que la detonación de la biotecnología del país se siga rezagando, y los esfuerzos hechos por programas exitosos del Estado se diluyan por la carencia de uno de los apalancamientos actuales de la *triple hélice*.

Finalmente, el panorama de innovación en biotecnología en México es prometedora; la mayoría de los factores para propiciar un

cambio radical están puestos sobre la mesa. Se cuenta ya con una buena base científica y académica, que con modificaciones pequeñas para lograr los incentivos que aún faltan, puede dar un salto cultural importante en América Latina y puede colocar a México en una muy buena posición internacional. Pero ello exige un compromiso constante del Estado que dé continuidad a proyectos de desarrollo independientemente de los cambios de administración; especialmente porque los proyectos de desarrollo tecnológico requieren, en muchos casos, mayores tiempos que lo que dura una administración en el país.

### **Asociaciones y recursos en internet**

WIPO: [www.wipo.int](http://www.wipo.int) La WIPO es la Organización Mundial de Propiedad Intelectual. Es una Agencia que pertenece a la Organización de las Naciones Unidas.

Conacyt: [www.conacyt.gob.mx](http://www.conacyt.gob.mx), El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología es el órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, integrante del Sector Educativo, y tiene personalidad jurídica y patrimonio propio. También es responsable de elaborar las políticas de ciencia y tecnología en México.

Secretaría de Economía. Parques industriales, [www.pymes.gob.mx](http://www.pymes.gob.mx) (septiembre 2009);

Asociación Mexicana de parques Industriales privados (AMPIP),  
¿Qué es un parque industrial?



## Referencias

- Anthony, S., Johnson, M.W., Sinfield, J.V. y Altman, E. (2008), *The Innovator's Guide to Growth*, Estados Unidos: Harvard Business Press.
- Begley, S. (2018, abril), All You Need to Know for Round 2 of the CRISPR Patent Fight, *Scientific American*, Recuperado de <https://www.scientificamerican.com/article/all-you-need-to-know-for-round-2-of-the-crispr-patent-fight/>
- Blanding, M. (2015, agosto), The Man Who Helped Launch Biotech. *MIT Technology Review*, Recuperado de <https://www.technologyreview.com/s/540466/the-man-who-helped-launch-biotech/>
- Condliffe, J. (2017, noviembre), For the First Time, Gene Editing Is Taking Place Inside the Human Body. *MIT Technology Review*. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/the-download/609496/for-the-first-time-gene-editing-is-taking-place-inside-the-human-body/>
- Denning, P. (1990), Patent or Perish, *Communications of the ACM*, 33 (9), 15-16.
- De León, T., Yamasaki, H., Corona, G., Mandujano, L., Jiménez, P., Ávila, C. (2016), *Innovación tecnológica para la competitividad en las PyMES: el FIT, 2007-2014*, México: Secretaría de Economía-Conacyt.
- Etzkowitz, H. y Zhou, C. (2018), *The triple helix: University-industry-government innovation and entrepreneurship*, Londres: Routledge.
- Freeman, C. y Soete, L. *The economics of industrial innovation*, London: Pinter Press.

- Friedman, Y. (2006), *Building biotechnology: Starting, managing, and understanding biotechnology companies*, Washington, DC: ThinkBiotech.
- Friedman, Y. (2007), *The Business of Biotechnology. Profit from the expanding influence of Biotechnology*, Logos Press.
- García-Verdú, R. (2008), La Riqueza de la Nación, *Gaceta de economía*, 14 (25), 15-32.
- Guadarrama Atrizco, V.H. y Manzano Mora, F. J. (2016), *Indicadores de Ciencia Tecnología e Innovación*, México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Mullin, E. (2018, abril 30), Billions of dollars are at stake, so the fight over who owns CRISPR is back in court. *MIT Technology Review*, Recuperado de <https://www.technologyreview.com/the-download/611053/billions-of-dollars-are-at-stake-so-the-fight-over-who-owns-crispr-is-back-in/>
- Rodríguez, C. E. (2016), *El Sistema Nacional de Investigadores en Números*, México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Roque Díaz, R. (2016), *Excepción al conflicto de interés. Biotecnología en Movimiento* (7).
- Wunker, S. (2006), *Innovating in emerging Markets. Strategy and Innovation*, 4 (4).



# Políticas de ciencia, tecnología e innovación para la industria farma-biotecnológica mexicana<sup>1</sup>

FEDERICO ANDRÉS STEZANO PÉREZ

## Introducción

Este capítulo está centrado en la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son las posibilidades de un ascenso industrial del sector biofarmacéutico mexicano basado en la imitación creativa? En este contexto, el objetivo empírico de este estudio es identificar, tipificar y catalogar los modos de inserción que configuran las trayectorias tecnológicas dentro de la industria farmacéutica en México. A partir del diagnóstico de: *a*) su base científica y tecnológica (CyT); *b*) las capacidades tecnológicas de las empresas del sector, *c*) las respuestas institucionales a las tendencias regulatorias globales a nivel sectorial y *d*) la visión general del desarrollo de la producción nacional que respalda la trayectoria de desarrollo del sector.

---

1 Versiones previas de este trabajo fueron publicadas en: Stezano, F. (2018). Industrial and Innovation Policies in the Mexican Biotechnology Sector. *Journal of Industry, Competition and Trade*, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10842-018-0281-8> y Stezano, F. (2018). Política industrial y tecnológica para el catching up biotecnológico: enseñanzas de México. En P. Lavarello, G. Gutman, y S. Sztulwark (Eds.), *Explorando el camino de la imitación creativa: la industria biofarmacéutica argentina en los 2000* (pp. 81-94). Buenos Aires: Carolina Kenigstein.

Por lo tanto, este trabajo busca explicar el potencial de las actividades de producción intensivas en conocimiento para modificar la estructura industrial y permitir una especialización productiva basada en el aumento de las actividades que proporcionan mayor productividad y más valor agregado en México. Esto implica el surgimiento de nuevas áreas en el sector, con el rol de crear nuevas tecnologías y realizar una diseminación transversal de soluciones biotecnológicas en la cadena de valor de la salud humana.

La explicación a estos procesos multidimensionales propuesta se basa en un marco explicativo que combina dos enfoques analíticos. Una rama teórica que enfatiza el análisis de los factores técnicos y productivos de la innovación a partir de macro-modelos articulados en los conceptos de regímenes tecnológicos, paradigmas, dinámicas y trayectorias. Por otro lado, una visión de los regímenes institucionales, la cual destaca la relevancia de los factores sociopolíticos y culturales históricos que determinan ciertos modelos y estilos nacionales de innovación.

Los conceptos de régimen institucional y tecnológico brindan una explicación causal guiada por la búsqueda de patrones que caractericen el establecimiento de caminos e inercias y, al mismo tiempo, definan el entorno y las condiciones bajo las cuales se pueden establecer los procesos de desarrollo. Desde una concepción del desarrollo como un proceso de cambio estructural de las instituciones sociales y económicas (Portes, 2015). De esta manera, el marco explicativo de este trabajo combina modelos generales que abordan las relaciones entre Estado, economía y sociedad. Donde el concepto de régimen da cuenta de las regularidades y patrones de mediación entre los órdenes científico, económico, político, productivo, técnico y social (Leseman, 2007).

Como categorías explicativas, los regímenes tecnológicos diferencian trayectorias guiadas por paradigmas tecnológicos y diseños dominantes (Cimoli y Dosi, 1995: 245). A partir de la noción de paradigma tecnológico inicia el análisis exhaustivo de las trayectorias tecnológicas. El concepto de paradigma subraya tres ideas centrales sobre la tecnología, brindando:

1. una definición de tecnología y una idea de cómo los cambios en una tecnología reflejan formas específicas de la base cognitiva de una actividad particular;
2. una heurística específica y puntos de vista sobre cómo hacer cosas y mejorarlas en colaboración y,
3. modelos de artefactos y sistemas que cambian y mejoran con el tiempo dadas ciertas circunstancias técnicas y económicas (Cimoli y Dosi, 1995: 245-246).

La idea de regímenes constituye un marco teórico ideal para analizar las formas de innovación y los procesos de cambio tecnológico (o su inercia). La gama de conceptos y teorías que comprende la noción de regímenes tecnológicos y su manifestación como trayectorias tecnológicas, amplía posibles explicaciones de cambio y estabilidad procesual al considerar las dinámicas de las transformaciones tecnológicas sectoriales. Dichas trayectorias sintetizan los patrones que determinan la heurística específica (resolución del problema) de cada paradigma tecnológico. Esta conceptualización supone que las vías de desarrollo que muestran las trayectorias tecnológicas determinan la orientación potencial de esas heurísticas (Dosi, 1982: 152).

Desde una perspectiva de regímenes institucionales, la idea de las variedades del capitalismo enfatiza el papel de las condi-

ciones institucionales que favorecen ciertos estilos nacionales de innovación. Desde el concepto de ventajas comparativas institucionales, se asume que la estructura institucional de una economía política genera condiciones para que las empresas emprendan ciertas actividades para producir ciertos tipos de productos. Esta visión enfatiza los factores que dan ventajas en los perfiles de especialización productiva e innovación, vinculados a los regímenes de regulación, la organización de los actores económicos, las estructuras del Estado, el entorno de las políticas e instituciones públicas como tipos de acuerdos sociales y como interacciones de la esfera política con la sociedad (Hall y Soskice, 2001).

Este artículo analiza las posibilidades de un ascenso industrial del sector biofarmacéutico mexicano basado en la imitación creativa. En el sector farmacéutico o biotecnológico, la imitación creativa se refiere a estrategias firmes centradas en los mecanismos de competencia a través de la imitación y el desarrollo de productos farmacéuticos biosimilares y genéricos después de que las patentes de medicamentos de marca hayan caducado (Cefis, Ciccarelli y Orsenigo, 2006: 165).

La aparición de iniciativas nacionales de cambio tecnológico endógeno como, por ejemplo, procesos de imitación creativa, está asociada con la industrialización tardía y las circunstancias favorables o desfavorables para que los países en desarrollo se inserten dinámicamente en los paradigmas tecnológicos de los sectores emergentes.

Estos contenidos se organizan de la siguiente manera. La primera sección analiza la base de conocimientos de ciencia y tecnología relacionada con los productos biofarmacéuticos en México, destacando especialmente las estrategias de innovación e imitación utilizadas por las empresas mexicanas en el sector para lograr un

lugar en las actividades de desarrollo y manufactura en la industria biofarmacéutica. También se analiza la falta de vínculos fuertes entre el sector productivo y la base nacional de investigación. La segunda sección analiza las capacidades tecnológicas de las firmas al abordar las considerables dificultades que enfrentan para: *i)* capitalizar el conocimiento producido en las diferentes etapas industriales del desarrollo extractivo biológico y, *ii)* para realizar aprendizajes tecnológicos en el sector. La tercera sección trata sobre las capacidades institucionales nacionales y las posiciones que las empresas en el sector y los organismos reguladores gubernamentales, tomando en consideración las crecientes barreras regulatorias internacionales respecto a la propiedad intelectual, así como las estrategias más importantes en torno al capital de riesgo y las compras gubernamentales como incentivos al desarrollo nacional. Finalmente, la sección de conclusiones analiza transversalmente las dimensiones discutidas anteriormente desde la perspectiva de una estrategia nacional para el desarrollo científico, productivo e innovador guiada por una agenda intencional de políticas públicas.

## **II. Base sectorial de conocimiento científico-técnico**

### *i. Fabricación y desarrollo de productos biotecnológicos de la industria nacional*

El análisis de dinámicas y trayectorias tecnológicas recientes en el sector biofarmacéutico mexicano parte del proceso de liberalización comercial iniciado en la década de 1990, consagrado oficialmente con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), firmado con Estados Unidos y Canadá en 1994.



A mediados de la década de 1980, el sector farmacéutico mexicano prosperó gracias a la imitación y la ingeniería reversa de medicamentos no patentados. La liberalización económica transformó la estructura industrial del sector y las empresas locales perdieron fuerza. La exposición del sector a una mayor competencia con insumos y productos importados y el nuevo esquema de protección de patentes, llevaron a la industria farmacéutica mexicana a adoptar una visión pasiva hacia la industrialización y el desarrollo tecnológico. El sector no buscó desarrollar procesos locales de imitación y aprendizaje creativo ni iniciativas de innovación endógena; prefirió, por el contrario, confiar en la compra y transferencia de tecnología externa.

Como consecuencia, el proceso aumentó la relevancia de las corporaciones transnacionales (ETN) y las firmas locales disminuyeron en cuota de mercado y número: casi dos tercios de las compañías farmacéuticas mexicanas cerraron entre 1987 y 1998 (Shadlen, 2009). Este proceso fue causado por la dependencia tecnológica y las importantes brechas en la innovación tecnológica, las economías de escala y las capacidades financieras más limitadas de las empresas locales con respecto a las ETN. Posteriormente, el sector biofarmacéutico se mantuvo en un camino de desarrollo tecnológico caracterizado por la ausencia de una industria integrada, por un sector químico farmacéutico incapaz de producir todos los suministros requeridos por la industria y por la presencia de algunas pocas firmas nacionales tecnológicamente competitivas (Guzmán y Guzmán, 2009).

Las ETN que trabajan en México poseen un alto nivel de integración vertical y sus productos nuevos (diferenciados y de alta calidad) han obtenido una ventaja competitiva. En contraste, las firmas mexicanas hacen inversiones insuficientes en actividades de

investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) y su innovación ha sido marginal, incluso en el marco de estrategias imitativas (Zuñiga, Guzmán y Brown, 2007).

La balanza comercial del sector ha sido crecientemente negativa en los últimos 15 años. Dos tendencias ilustran a este respecto: *a)* el aumento de las importaciones de productos terminados o a granel y *b)* la baja producción de medicamentos terminados. Una mayor dependencia de los proveedores extranjeros y la falta de investigación clínica realizada por las empresas mexicanas se refleja en el bajo crecimiento de la producción de medicamentos,<sup>2</sup> a pesar de los intentos de armonizar las regulaciones mexicanas con los acuerdos internacionales.

*ii. Desempeño innovador de México  
en el contexto regional e internacional*

Los datos sobre capacidades, dinámica y rendimiento sectorial de la biotecnología (BT) mexicana se enmarcan en un contexto de bajo gasto en I+D y deficientes resultados de innovación. México gastó 0.53% de su Producto Interno Bruto (PIB) en CyT en 2015. Este porcentaje es más bajo que el de países latinoamericanos con población y tamaño territorial similar, como Brasil (1.08%) y Argentina (0.63%); muy inferior a la de sus países vecinos del TLCAN Estados Unidos (2.79%) y Canadá (1.71%) y al promedio de la Unión Europea (1.96%).

.....  
2 En México se producen esteroides, antibióticos semi-sintéticos y de fermentación, otros microbicidas, productos antiinflamatorios no esteroideos y productos biofarmacéuticos (antivenenos faboterapéuticos, interferones, eritropoyetinas), pero muchos grupos terapéuticos no se producen nacionalmente (SS, Secretaría de Salud 2005).

El gasto total en I+D bajo y está financiado principalmente por el gobierno. De ese total, sólo 30% corresponde al sector privado, porcentaje muy inferior al promedio de OCDE (69.1%). Esto ilustra un escaso dinamismo innovador de las firmas nacionales. En este contexto, el número de investigadores nacionales es bajo: 0.8 cada mil empleados. Este número es inferior al de otros países de América Latina, como Chile (1 investigador por cada mil empleados) y Argentina (2.9), a los otros países del TLCAN, Canadá (8.8) y Estados Unidos (9.1), así como la Unión Europea (8) y el promedio de OCDE (8.3) (OCDE, 2017).

En relación al dinamismo de los agentes innovadores, los vínculos entre los sectores ciencia-empresa son escasos: 84% de las empresas mexicanas en 2009 indicaron no haber desarrollado acuerdos colaborativos en innovación con organizaciones externas; en 2011, sólo 6.3% de las empresas encuestadas afirmaron tener proyectos de I+D con otras organizaciones. Asimismo, también para 2011 menos de 3% de las empresas realizaron pagos por intercambio y transferencia de conocimiento y tecnología a universidades y menos de 2% a institutos de cooperación en I+D (Stezano y Oliver, 2015: 30-32).

En relación con la biotecnología, los indicadores del gasto en I+D y producción de patentes también reflejan las debilidades nacionales en el contexto latinoamericano e internacional, como expresan las siguientes dos tablas.

**Tabla 1**  
**Indicadores clave de BT,**  
**países seleccionados por la OCDE**  
 (2015 o último año disponible)

País	Número de firmas activas en biotecnología	Intensidad de la I+D biotecnológica en el sector empresarial, como porcentaje del valor agregado de la industria	Gasto en I+D biotecnológica en el sector empresarial, millones de dólares
Finlandia	170	0.055	72.1
Francia	1805	0.24	3,649.7
Alemania	726	0.054	1,345.6
Corea	948	0.122	1476.9
<b>México</b>	<b>154</b>	<b>0.002</b>	<b>35.4</b>
Suecia	133	0.169	492.7
Suiza	265	0.864	3,167.5
Estados Unidos	2673	0.35	38,565.3

Fuente: OECD, 2018.

**Tabla 2**  
**Participación de las economías en patentes relacionadas**  
**con la biotecnología, según la nueva definición**  
**de biotecnología, países seleccionados**

<b>País</b>	<b>Familias de patentes IP5, porcentajes basados en recuentos fraccionarios *</b>
Estados Unidos	33.5
Japón	12.7
Alemania	8.0
Reino Unido	4.2
Francia	3.5
Canadá	2.4
Corea	10.0
Suecia	0.8
Israel	1.1
Suiza	1.6
Finlandia	0.2
<b>México</b>	<b>0.1</b>
BRIICS	7.0
EU28	23.6
OECD	86.2
Brasil	0.3
Cuba	0.1

Fuente: OCDE, 2018.

\* Nota: una familia de patentes es un conjunto de patentes tomadas en varios países para proteger una sola invención cuando una primera solicitud en un país (llamada prioridad) se extiende a otras oficinas (OCDE, 2001: 60). Las cinco oficinas de PI (IP5) es el nombre que recibe un foro de las cinco oficinas de propiedad intelectual más grandes del mundo que se está creando para mejorar la eficiencia del proceso de examen de patentes en todo el mundo. Los miembros de la oficina de patentes de IP5 son la oficina de Europa, Japón, Corea, China y Estados Unidos. Las oficinas de IP5 representan 90% de todas las solicitudes de patentes presentadas en todo el mundo (USPTO, 2018). Finalmente, el método de recuento fraccional considera las patentes con múltiples solicitantes: si una patente tiene m solicitantes, de los cuales mb son de la empresa B o una de sus subsidiarias, y n inventores, de los cuales na son del país A, entonces el número de Las patentes originadas en el país A y asignadas a la empresa B son iguales a  $1 / (na \cdot mb)$  (Criscuolo, 2005: 8).

### *iii. Vínculos entre empresas y el sector de CyT*

Las empresas mexicanas están poco orientadas hacia la investigación básica, centrándose en innovar formulaciones y mejorar los procesos y productos existentes. A pesar de que la industria nacional incluye áreas de desarrollo farmacéutico, pocas empresas participan en investigación básica preclínica (la fase de I+D que lleva a la creación de nuevos ingredientes activos para medicamentos innovadores) y muy rara vez se asocian con organismos científicos (SS, 2005).

Sin embargo, el sistema de investigación e innovación biomédica en México ha tenido un tamaño considerable desde los años de la posguerra (Niosi, Bas y Amador, 2013). En términos de grupos de investigación, Trejo (2010) estimó la presencia de 3100 investigadores académicos trabajando en áreas de BT y biociencia aplicada: casi 50% de ellos especializados en medicamentos biológicos, BT ambiental y de alimentos. Con respecto a los programas de posgrado encuestados en 2010, 178 programas de estudio (81 de licenciatura, 53 de maestría y 44 de doctorado) en 47 instituciones (25 universidades, 20 universidades e instituciones tecnológicas y dos centros especializados) en 29 estados desarrollan I+D, y capacitan recursos humanos en química, BT, productos farmacéuticos, ciencias médicas, genómica y ciencias biológicas.

Las instituciones más importantes basadas en su impacto en la CyT biotecnológica son UNAM, UAM, Cinvestav e IPN. Por su cantidad de científicos, la antigüedad de los grupos académicos, la infraestructura y la disponibilidad de equipos de análisis, forman la principal infraestructura de biotecnología en el país.<sup>3</sup> El subsis-

3 Entre estos grupos destacan el Instituto de Biotecnología (IBT) y el Centro de Ciencias Genómicas (CCG), además de otros centros, institutos, escuelas y universidades de la UNAM; La Unidad de la Ciudad de México de CINVESTAV, y especialmente su Laboratorio Nacional de Genómica de Biodiversidad

tema de I+D creado por los centros de tecnología del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) representa una segunda fuente de impacto en diferentes áreas de BT, excepto en BT farmacéutica.<sup>4</sup> Aunque otras universidades e institutos tecnológicos también contribuyen con el desarrollo del área, se orientan más a la enseñanza y capacitación de estudiantes de pregrado (Stezano, 2016). Finalmente, 11 institutos nacionales realizan investigación biomédica. Su trabajo es algo relevante en términos de publicaciones científicas, pero no en términos de patentes nacionales o internacionales<sup>5</sup> (Niosi, *et al.*, 2013).

En lo que respecta al número de trabajos publicados, la producción científica nacional en el sector es baja: dos tercios de esa producción fueron generados por UNAM, IPN, UAM y algunos centros Conacyt (*idem*). El registro de patentes del sector científico también ha sido modesto: solo 50 patentes de biotecnología mexicanas (asociadas a los sectores agrícola, industrial y de salud) se registraron en la oficina de patentes de Estados Unidos (USPTO) entre 2009 y 2014 (Morales y Amaro, 2016).<sup>6</sup>

(LANGE BIO) en Irapuato; Las unidades Iztapalapa y Cuajimalpa de la UAM, y las 11 escuelas de IPN que ofrecen 15 programas de posgrado asociados con biotecnología (Stezano, 2016).

- 4 Los siguientes centros Conacyt se centran en la biotecnología farmacéutica: el Centro Ensenada de Investigación Científica y Educación Superior (CISESE), el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y el Centro de Asistencia de Investigación y Diseño Tecnológico del Estado de Jalisco (CIATEJ).
- 5 El primero y más importante es el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMMS), creado en 1943. Según el número de artículos publicados, los institutos nacionales de salud pública (1991), Cardiology (1944), Cancer Research (1946), Investigación pulmonar (1975), Siquiatría (1979), Enfermedades respiratorias (1982) y Ciencias Médicas y de Nutrición (1980) (Niosi, *et al.*, 2013).
- 6 El análisis de patentes de BT para el período de 2009 a 2014 por Morales y Amaro (2016: 31-32) reveló que 50 patentes de BT registradas en la USPTO son propiedad de mexicanos: 61.4% fueron registradas por centros de investigación públicos, la mayoría de ellos por la UNAM. De manera similar, sólo 1% de las patentes de biotecnología registradas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) fueron presentadas por agentes mexicanos, más

México no ha contado con una estrategia nacional para el sector de la BT farmacéutica estructurada como un programa nacional. Los esfuerzos se han centrado en la creación de organismos especializados en I+D biotecnológica que, en buena medida, fueron empujados por la comunidad académica.<sup>7</sup> Estas acciones no han sido parte de una política explícita del gobierno para desarrollar la BT ni de un papel activo del sector privado. Las empresas nacionales han centrado sus esfuerzos en actualizar y mejorar sus tecnologías operativas. Las ETN han decidido estratégicamente mantener a salvo sus actividades de I+D en sus países de origen. En consecuencia, la demanda de capital humano para desarrollar I + D ha sido insignificante (Corona, 2006: 197).

Por su parte, las empresas locales no han logrado todas las capacidades cognitivas, tecnológicas, financieras u organizativas necesarias para comprometerse a largo plazo con el desarrollo innovador. A la vez, las capacidades de I+D del sector científico público ha sido incapaz de impulsar el desarrollo tecnológico del sector, dada la persistente dependencia de la industria nacional de los insumos y la tecnología importados.

---

de la mitad por la UNAM (45%) y Cinvestav (10%). De las patentes farmacéuticas registradas en México por empresas en este periodo, 89% son de firmas extranjeras con un registro internacional anterior que, en promedio, se obtuvo 5.6 años antes en algún otro país. Esto es: las firmas farmacéuticas extranjeras patentan productos de México que desarrollaron hace años en otro lugar. Por tanto, el registro de la patente en el mercado local obedece a una estrategia comercial y está desvinculada del desarrollo de capacidades de innovación. Esto distorsiona el mercado local pues fomenta la competencia oligopolística basada en la comercialización de productos, pero no su desarrollo innovador (Morales y Villavicencio, 2015: 156-158).

- 7 Los más importantes son los siguientes: el Instituto de Biotecnología de la UNAM especializado en aplicaciones industriales; el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad, LANGEBIO que desarrolla I+D+I orientada a la aplicación en el sector agrícola y el Instituto Nacional de Medicina Genómica, INMENGEN que desarrolla medicina genómica (Stezano, 2016).



### III. Firmas nacionales: estructura industrial y capacidades tecnológicas

Una estimación precisa de la cantidad de empresas en el sector que utilizan procesos BT modernos en sus actividades productivas es compleja. Dadas ciertas debilidades técnicas en los datos y su lenta actualización.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) encuestó a 154 empresas de BT en 2012 y 2013. Según las aplicaciones de BT desarrolladas por estas empresas, 32.6% (cerca de 50) pertenece al sector de la salud (incluida acuicultura y la salud animal). De las empresas encuestadas 43% son pymes que emplean a menos de 50 empleados. Sin embargo, la mayoría del gasto en BT corresponde a las grandes empresas que gastaron 96.1% del total sectorial (OCDE, 2016).

La estimación de empresas farmacéuticas de INEGI proporciona un número aparentemente plausible de firmas farmacéuticas de biotecnología en México: más de 20 y menos de 30. Esta cifra es similar a la de otras estimaciones (Trejo, 2010; Niosi, *et al.*, 2013; Bianchi, *et al.*, 2014). Sin embargo, la encuesta de INEGI incluye firmas que llevaron a cabo actividades de BT en un período de dos años, sobreestimando el número de empresas al no considerar sus procesos de salida (OCDE, 2016).

Escasas firmas nacionales realizan I+D, el sector se caracteriza por una baja capacidad innovadora o imitativa (ProMéxico, 2012, Zuñiga, *et al.*, 2007). Estas son algunas de las empresas mexicanas que han registrado patentes con IMPI y USPTO: 7 patentes de biotecnología farmacéutica con IMPI, de las cuales sólo dos pertenecen a la empresa mexicana Silanes), y 22 con USPTO, de las cuales 13 pertenecen a compañías nacionales: Silanes, con 10 patentes y Bioclon

con 3 (Amaro y Morales, 2016: 31-33). Tanto Bioclon como Probiomed tienen productos en el mercado (Niosi, *et al.*, 2013).<sup>8</sup>

En términos de infraestructura de mercado, la industria farmacéutica nacional –incluyendo los segmentos químico-farmacológico y biotecnológico– es grande: casi 400 empresas que compiten por el segundo mercado latinoamericano de medicamentos, detrás de Brasil. En 2014, el sector farmacéutico mexicano produjo más de 11 mil millones de dólares. Ese mismo año, México fue el principal exportador del sector en América Latina con un total de 1,874 millones de dólares. Por otro lado, las importaciones fueron de 4,939 millones. La inversión extranjera directa en el sector fue de 3,712 millones de dólares de 2005 a 2014 (ProMéxico, 2015).

La industria farmacéutica representa alrededor de 0.48% del PIB total del país, que representa 2.9% de su PIB manufacturero (*idem*). En 2014, el país tenía 718 unidades económicas (oficinas, plantas de producción y centros de distribución) especializadas en actividades farmacéuticas. Ese año, el sector empleó a más de 83 mil personas, un tercio de ellas empleadas vía esquemas de subcontratación (INEGI, 2016). La industria destaca como un productor de medicamentos de alta tecnología, que incluye antibióticos, agentes antiinflamatorios y tratamientos para el cáncer (Promexico, 2015).

La concentración del mercado es alta en el sector: 68% del mercado corresponde a ETN. Sus productos han aumentado sus ventas en comparación con los productores nacionales y, por lo tanto, la relevancia de los medicamentos patentados con respecto a los genéricos (Guzmán y Guzmán, 2009).

8 Bioclon, una de las mayores empresas mexicanas de biotecnología, fue adquirida por Laboratorios Silanes. Silanes es una compañía farmacéutica nacional que produce antivenenos genéricos y emplea a 100 personas. Probiomed produce eritropoyetinas y otros medicamentos recombinantes; emplea a 990 empleados, la mayoría de ellos trabajando en I+D de BT (Niosi, *et al.*, 2013).

ANAFAM, una asociación de 20 productores de medicamentos bioequivalentes genéricos de marca –incluidos bioquímicos y biotecnológicos–, incluye algunas empresas nacionales, entre ellas Silanes y Probiomed. El mercado de medicamentos genéricos también es muy activo. En 2005, se emitieron nuevas regulaciones para medicamentos bioequivalentes y, aunque el sector representa un bajo porcentaje de ventas, su crecimiento ha sido constante. Los líderes de medicamentos genéricos extranjeros (Apotex, Sandoz y TEVA) están invirtiendo en México para aprovechar las nuevas regulaciones, que se detallarán más adelante. Algunas firmas mexicanas (Laboratorios Hormona, IFACeltics, Kener y Liomont) también han estado creciendo en este nuevo mercado, pero aún carecen de sus propios productos biosimilares (Niosi, *et al.*, 2013).

Respecto a los aprendizajes, dado que las empresas nacionales han seguido trayectorias basadas en tecnología extranjera, no han aumentado las capacidades tecnológicas de las empresas nacionales. Esta estrategia del gobierno ha resultado en una alta y creciente dependencia de los insumos tecnológicos importados. Tendencia exacerbada por la falta de una política orientada a impulsar capacidades locales innovativas para el sector (Gonsen, 2016).

Aunque algunas firmas nacionales del sector han comenzado a intentar producir productos biosimilares y nuevos medicamentos biotecnológicos desde el TLCAN, su número y peso como productores no han reorientado la industria. Además, como resultado de la falta de capital de riesgo y de esquemas de promoción pública para nuevas empresas biotecnológicas, la posibilidad de financiamiento disponible para los emprendimientos en el sector es costosa y arriesgada. Finalmente, las áreas de biotecnología complementaria y auxiliar –incluyen proveedores de equipos e instrumental científico, así como sustancias y reactivos biológicos y químicos–, que

son críticas en las primeras etapas de la industria, también están subdesarrolladas (Corona, 2006: 197).

#### **IV Estructuras institucionales**

##### *i. Regulaciones y propiedad intelectual: barreras*

La sección anterior ha descrito cómo las estrategias del sector se han caracterizado por un proceso de desaprendizaje de las empresas desde la liberalización iniciada por el TLCAN (Gonsen, 2016). Este proceso ha paralizado la posibilidad del sector de generar y acumular las capacidades tecnológicas, de mercado e innovadoras requeridas para que se inserte en los paradigmas biotecnológicos actuales.

Otro factor crítico para las posibilidades de las firmas mexicanas de desarrollar nuevos conocimientos tecnológicos ha sido la estrategia de propiedad intelectual establecida después del TLCAN.

Para las grandes ETN –actores centrales en el mercado biofarmacéutico– los derechos de patente son un incentivo central para realizar I+D (Walsh, Arora y Cohen, 2003: 277). A través del TLCAN, México negoció un nivel de protección más alto que el establecido en el Acuerdo sobre Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC), firmado en 1994. Esta negociación (llamada ADPIC + TLCAN) incluyó una reforma a la ley mexicana de propiedad industrial. El TLCAN buscó coherencia internacional en todas las leyes de patentes basadas en dos propuestas decisivas sobre las patentes farmacéuticas: el reconocimiento de patentes antes no reconocidas, que se utilizaban en procesos y productos farmacéuticos y una restricción a la licencia obligatoria en circunstancias excepcionales (la estrategia utilizada por Méxi-

co para producir medicamentos genéricos de bajo costo antes del TLCAN).

Anticipándose al TLC, México modificó sus leyes de propiedad intelectual en 1993. La nueva Ley de Promoción y Protección de la Propiedad Industrial extendió la protección de patentes de 14 a 20 años. Por otro lado, el ADPIC de 1995 buscó alentar un nuevo escenario de la farmacéutica mundial al dar mayor protección a las patentes, como resultado de las presiones de las ETN dominantes. Los dos cambios más relevantes a este respecto fueron el requisito de patentes disponibles para productos/procesos en todos los campos tecnológicos y las variadas limitaciones y restricciones en las estrategias de licencia obligatoria (Das, 2009).

Tras la firma del TLCAN, dos tercios de las farmacéuticas mexicanas desaparecieron. Las grandes ETN del sector orquestaron el diseño de la ley de propiedad intelectual local aprovechando la debilidad relativa de las industrias locales –especialmente en comparación con las de Brasil y Argentina– y el Estado. No hubo empresas de BT que asumieran el desafío de desarrollar productos biosimilares nacionales (Niosi, *et al.*, 2013). La regulación en este contexto es muy estricta, lo que ha limitado los derechos de terceros a usar el conocimiento y ha extendido el tiempo efectivo de protección. Desde que el Acuerdo sobre los ADPIC+TLCAN se volvió efectivo, los cambios han sido pocos y, en todos los casos, fueron con el propósito de fortalecer el control de patentes sobre las drogas (Shadlen, 2009).

El dominio de las ETN farmacéuticas en México es muy previo a estas regulaciones. Entre 1970 y 1975, la balanza comercial de la industria farmacéutica mexicana inició una tendencia cada vez más negativa. Para 1976, 144 empresas extranjeras ya fabricaban en el país productos farmacéuticos para el consumidor final y al-

gunas materias primas. En un mercado en el que 85% de las ventas correspondía a empresas con capital extranjero mayoritario. Sólo dos de las 40 principales empresas, que representaron 68% de las ventas, eran mexicanas: Laboratorios Carnot, S.A. (posición 37) y Laboratorios Chinoín (posición 40). En estos años, la participación de empresas extranjeras en los mercados farmacéuticos de países con niveles de desarrollo similares a los de México era mucho menor. Como en, por ejemplo, Brasil (80%), Argentina (50%) e India (70%). También en 1976, entre 85 y 90% de las patentes farmacéuticas a nivel nacional pertenecían a firmas extranjeras (De María y Campos, 1977).

Esta concentración de mercado se agravó como resultado de las nuevas regulaciones y la investigación sobre el tema sugiere que la legislación ha desanimado a las empresas nacionales a invertir en I+D. Esto confirma hallazgos previos en investigaciones realizadas en países latinoamericanos como en Argentina. En donde se evidenció que las patentes asumieron un rol de desincentivo para que las empresas nacionales adoptaran estrategias de imitación creativa (Gutman y Lavarello, 2013, 2014).

Esta proposición analítica también coincide con el supuesto de que a medida que aumenta la complejidad tecnológica del producto, los regímenes de patentes más estrictos dan como resultado tasas de innovación, calidad del producto y satisfacción del consumidor más bajas. Además, confirma en un sentido similar la asunción de que el sistema de patentes es un mecanismo redundante como incentivo a la innovación cuando esta es incremental (Marengo, Pasquali, Valente y Dosi, 2012). Un sistema de patentes puede: *a*) permitir a las ETN garantizar el cumplimiento de sus patentes nacionales o bien *b*) proteger la propiedad intelectual de una industria nacional en el ámbito internacional. El sistema de paten-

tes mexicano ha favorecido, en todas las circunstancias, la primera opción (Das, 2009).

*ii. Rol del capital de riesgo y compras gubernamentales como esquemas de incentivos*

El capital de riesgo está poco desarrollado en México. Los entornos productivos tecnológicos e institucionales en México están ausentes de las condiciones requeridas para este tipo de financiamiento. México no tiene estructuras adecuadas para la creación de pequeñas empresas de nueva creación en BT. Como son un marco legal complejo o un mercado de valores especial que admita nuevas empresas antes de que comiencen a vender de forma de permitir a los inversores de riesgo recuperar sus inversiones vía ofertas públicas iniciales (Niosi, *et al.*, 2013).

Respecto al poder de compra del sector de salud público, la orientación económica nacional prevaleciente también adopta un enfoque neutral. Donde no se favorece ni prioriza la compra de productos farmacéuticos a firmas nacionales. Todas las instituciones del sector público mexicano deben ofertar sus compras de farmacéuticos –patentes, genéricos o biosimilares–. El marco legal permite la compra directa y la negociación de precios con las empresas farmacéuticas cuando los productos están disponibles de una sola fuente, incluidos los productos patentados.

Sin embargo, un análisis de precios de los contratos públicos para productos patentados reveló variaciones en los precios de hasta 3000% en las instituciones públicas, mostrando gran ineficiencia y fallas en los procesos de contratación pública. Sólo 4% de los medicamentos aprobados para su comercialización en México están patentados. Sin embargo, estos productos patentados repre-

sentan 56% del gasto público total en productos farmacéuticos (Es-trada, 2010). Una característica distintiva que enmarca al mercado farmacéutico mexicano es la tajante distinción entre sector público y privado: aunque un alto porcentaje de productos se vende a consumidores finales, los laboratorios que operan nacionalmente hacen esfuerzos considerables para convertirse en proveedores del sector público. Atraídos por los grandes volúmenes de producto que pueden negociar en un solo contrato (Torres y Gutiérrez, 2009).

## **V. Aprendizajes e inserción en procesos de imitación creativa en biosimilares**

### *i. Tendencias globales*

La dinámica actual del sector biotecnológico está marcada por cambios en su base cognitiva: las revoluciones del ADN y la genética molecular y el progreso de la biología molecular y los avances en fisiología, farmacología, enzimología y biología celular. Este cambio coincide con un nuevo régimen de aprendizaje que involucra: la coexistencia de procesos de aprendizaje y descubrimiento, una nueva estructura de búsqueda, nuevas definiciones de problemas a resolver y el uso de nuevas heurísticas y rutinas de resolución de problemas. La organización de la I+D también cambió: cambiaron los patrones de división del trabajo, las estructuras de incentivos y los agentes de sector (Pammolli, McKelvey y Orsenigo, 2004).

Tras la revolución de la biología molecular, rutinas y estrategias empresariales se han diferenciado entre las empresas farmacéuticas de BT por un lado y las tradicionales por el otro. Esta diferenciación es mayormente cognitiva y separa dos paradigmas tecnológicos: *a)* el tradicional, dominante previo a 1980, con una



búsqueda de innovación dominada por una selección aleatoria, dirigida por heurísticas de búsqueda de carácter relativamente tácito y basado en el descubrimiento fortuito y *b*) el biotecnológico, dominante tras 1980, apoyado en avances teóricos en biología molecular, BT y química computacional y donde el proceso de búsqueda es crecientemente guiado, lo que lleva, por tanto, a una mayor dependencia de sendero del proceso de búsqueda (Gambardella, 1995).

A nivel institucional, el paradigma de la industria farmacéutica biotecnológica se vinculó a nuevas condiciones legales para la apropiación de conocimiento y tecnologías innovadoras. En Estados Unidos, esta tendencia se manifiesta en la Ley Bayh-Dole (1980) que permitió a universidades y pequeñas empresas patentar descubrimientos generados en I+D patrocinada públicamente y dar luego licencias exclusivas a empresas farmacéuticas. Esto impulsó dos fenómenos clave en la estructura industrial actual: *a*) un auge en las nuevas empresas de BT y *b*) una nueva división del trabajo entre pequeñas y grandes firmas. De esta nueva división del trabajo surgen dos caminos: las firmas especializadas en BT y los laboratorios financiados públicamente (INS y universidades) suelen centrarse en la investigación previa, mientras que las grandes firmas compran compuestos farmacéuticos iniciales y colocan medicamentos en el mercado vía ensayos clínicos y campañas de marketing más caras (Mazzucato y Dosi, 2006).

En este contexto, el hito central en el sector ha sido el surgimiento de un nuevo agente: las empresas especializadas en BT que buscan desarrollar el potencial comercial de los desarrollos de CyT de universidades y hospitales. El rol de estas firmas ha sido transferir la base cognitiva de la ciencia pública y transformarlo en técnicas y productos comercialmente viables (Pammolli *et al.*, 2004:

92). Sin embargo, varias de estas empresas pasan años e incluso décadas buscando pasar su descubrimiento a un producto potencialmente rentable, dado que suelen carecer de los recursos requeridos para fabricar, distribuir y comercializar invenciones. En consecuencia, este modelo de negocio depende del capital de riesgo, la compra de licencias de conocimiento especializado a grandes empresas o la colaboración en I+D con estas a partir de contratos de colaboración o empresas conjuntas. Por sí mismas, estas firmas encuentran fuertes barreras de ingreso al mercado en cuanto deben cumplir dos requisitos complejos: *a*) recursos para la regulación y costos de I+D y *b*) una infraestructura de marketing que incluye contratos con una base de clientes y un sistema de gestión para vincular a la empresa con dichos clientes (Wield, Chataway y Bolo, 2010).

El otro gran actor privado del sector son las empresas integradas verticalmente. En su modelo de negocio, la gran empresa participa en (casi) todas las actividades de desarrollo y comercialización de un nuevo producto o proceso, incluyendo la I+D, producción, distribución y comercialización. Estas empresas reciben ingresos de las ventas de productos biotecnológicos y desarrollo de productos propios, a la vez que también brindan un mercado para los descubrimientos de las empresas especializadas en BT (OCDE, 2009: 164-167).

Durante la última década, las ETN han realizado inversiones en tecnologías iniciales de organismos modificados genéticamente (OGM) o complementando diferentes trayectorias tecnológicas y líneas de productos en diferentes áreas de aplicación moderna de BT. Por sobre las diferencias de las áreas tecnológicas en que se centra cada empresa, ha existido una trayectoria común compartida: la búsqueda de una base cognitiva más amplia –desde el aumento

de su I+D y capacidades de absorción– y la consolidación de vínculos con la comunidad científica que financia sus investigaciones con fondos públicos (Pammolli *et al.*, 2004: 94-95).

La competencia en el sector superior de la farmacéutica se centra en la introducción de nuevos productos, mayormente desarrollados por el núcleo oligopólico de la industria, sujetos a innovaciones incrementales. La competencia de productos genéricos sólo inicia una vez que la patente ha caducado, lo que ha permitido la supervivencia de un reducido grupo de empresas (Mazzucato y Dosi, 2006: 3). Estos otros mecanismos de competencia –avances incrementales, productos de imitación y genéricos después del vencimiento de la patente, adaptación a las condiciones y políticas regulatorias en los mercados nacionales– permiten a muchas firmas prosperar a través de la producción de productos básicos y el desarrollo de productos, principalmente bajo licencia (Cefis *et al.*, 2006: 165).

La trayectoria de productos biosimilares implica procesos de imitación creativa. La industria biofarmacéutica crece cada vez más: desde la década de 1980, los nuevos medicamentos crecientemente se desarrollan sobre la base del nuevo paradigma biotecnológico. Sin embargo, casi 80% de los nuevos medicamentos biotecnológicos se han desarrollado en Estados Unidos. Conforme expiran las patentes de productos originales, empresas de todo el mundo (Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, Israel y algunos países emergentes, como India, China, Argentina y Corea) desarrollan sus versiones de nuevas drogas (Niosi, 2012). La experiencia reciente indica que un biosimilar tarda 7-8 años en llegar al mercado a un costo de 100 a 250 millones de dólares promedio, siendo aún mayor el costo en el caso de anticuerpos (Walsh, 2014).

El desarrollo de productos biosimilares requiere de la imitación, pero la creatividad e innovación implicadas en el proceso es sustancial: las empresas que realizan estas actividades recrean procesos de manufactura (en cuanto cada proceso de fabricación es único, el innovador original generalmente lo protege) y también desarrolla nuevos ensayos clínicos para probar el valor de sus productos (Niosi, 2012).

*ii. México y la producción de biocomparables*

La política de propiedad intelectual de México reforzó los efectos de las patentes sobre: *a)* los precios de los medicamentos –el gobierno mexicano carece de instrumentos para negociar reducciones de precios– y *b)* las oportunidades de competir en torno a medicamentos biosimilares (Shadlen, 2009). Aunque la regulación nacional para la aprobación de productos biosimilares sigue los estándares internacionales, la industria local no ha recibido un apoyo específico de incentivos especiales para competir por parte de las empresas nacionales del sector.

En México, los biosimilares se llaman «medicamentos biotecnológicos biocomparables» para evitar confusiones con las empresas locales que utilizan el término biosimilar. En 2009, México estableció bases reglamentarias para productos biosimilares, y en 2011 estableció los requisitos específicos. El más importante: el producto original se debe usar como producto de referencia. Aunque un producto biocomparable aprobado puede usarse también si el producto de referencia original no está aprobado en México.

Los solicitantes de biosimilares deben demostrar su comparabilidad en seguridad, eficacia y perfiles de calidad. En algunos casos, la autoridad reguladora nacional, la Comisión Federal Mexi-

cana de Protección de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), puede exigir la realización de ensayos clínicos en México. Para cualquier producto biológico, incluidos los biocomparables, se exigen planes de gestión de riesgo. En 2012 fue publicada una guía más completa sobre los procesos de registro de biocomparables: se realizan ensayos preclínicos y clínicos en centros de I+D calificados y, posteriormente, se solicitan estudios de seguridad clínica, calidad y seguridad de productos para establecer la biocomparabilidad de los biotecnológicos.

El marco regulatorio y requisitos impuestos por COFEPRIS al ingresar al mercado de biosimilares son muy estrictos, como lo describe Niazi (2016: 304-305). Shadlen (2009) y Gutman y Lavarrello (2014) muestran que en Brasil y Argentina respectivamente –mercados nacionales comparativamente similares a México–, los requisitos gubernamentales son de menor complejidad burocrática, especialmente en relación con las barreras de entrada al mercado de biosimilares por parte de empresas nacionales.

En el marco de una estrategia para flexibilizar el rigor de autorización de cada biocomparable, COFEPRIS autorizó en 2017 seis terapias biocomparables y 15 biotecnologías innovadoras. En los últimos 3 años, COFEPRIS ha buscado que los medicamentos biotecnológicos no innovadores lleguen a un mayor número de pacientes, aunque existen en puja fuertes intereses de ETN farmacéuticas (Coronel, 2017). En este marco, se han liberado 43 sustancias activas, correspondientes a 590 nuevos registros de medicamentos genéricos (COFEPRIS, 2018).

Los biosimilares han enfrentado múltiples restricciones para ingresar al mercado y lograr umbrales de conocimiento mínimos para competir con productos patentados. La presión competitiva de las importaciones es alta, especialmente considerando el hecho

de que los productores internacionales de genéricos dependen de economías de escala y consideran inviable la construcción de una planta en México.

Un obstáculo adicional es la práctica común entre laboratorios consistente en extender artificialmente el período efectivo de sus patentes a través de litigios que aprovechan vacíos e imperfecciones del sistema legal mexicano o de establecer acuerdos con clientes potenciales para evitar la presencia de sustitutos genéricos de medicamentos. Finalmente, dados los problemas de asimetría informativa, los laboratorios invierten fuertemente en publicidad y promoción directa con médicos y hospitales. Por tanto, la demanda se inclina hacia medicamentos patentados y de marca en tanto el médico no tiene incentivos para prescribir el ingrediente activo genérico y no paga la diferencia de precio (Estrada, 2010).

No se dispone de estadísticas oficiales sobre el número de empresas biofarmacéuticas nacionales en México. Sin embargo, las investigaciones de Trejo (2010) y Niosi, *et al.* (2013) permiten identificar siete empresas nacionales que producen genéricos y biosimilares. La falta de datos oficiales sistemáticos revela la necesidad de emprender una investigación sistemática sobre las empresas nacionales que participan en este subsector de la industria.

## VI. Conclusiones

El análisis presentado en este trabajo describe una industria nacional caracterizada por los siguientes rasgos: predominio de empresas y técnicas biotecnológicas tradicionales, insuficiente inversión en I+D –pública y privada–, alta dependencia de insumos intermedios e instrumentos científicos importados ante la falta de sectores nacionales complementarios que los produzcan, escasos lazos

entre empresas y el sector científico público (Corona, 2006) y una legislación de propiedad intelectual que notoriamente favorece las estrategias de las grandes ETN del sector.

El primer lado de la historia tiene un aspecto histórico-institucional. El bajo desempeño y la discontinua trayectoria del sector farmacéutico nacional está inserta en un régimen institucional de economía de mercado jerárquica, dominado por una polarización entre grupos empresariales nacionales y ETN.

Las grandes empresas mexicanas –y latinoamericanas– han sido dominadas por grupos económicos locales grandes y diversificados, de propiedad familiar y con vínculos directos con ETN. Estos grupos tienen una marcada naturaleza jerárquica: la toma de decisiones depende de los miembros de la familia y altos gerentes. Para las familias que controlan estos grupos, esta estructura organizativa es rentable dado su acceso privilegiado a la información y al capital, así como a su red de vínculos recíprocos con el mundo político. En este esquema institucional, el sistema político nacional no ha promovido medidas específicas efectivas en materia de competencia. Por lo tanto, dada esta ventaja comparativa de un grupo familiar originada en sus vínculos directos con la arena política, tiene lógica que los grupos nacionales se especialicen en la diversificación.

Por otro lado, las ETN con sus esquemas corporativos de gobernanza, han sido el otro actor económico clave en México y América Latina en general. Estas ETN, habitualmente con sede en Estados Unidos, se organizan como empresas basadas en el producto de la firma y no en líneas grupales diversificadas. A veces, estas ETN operan en alianzas con grupos locales, pero sin formar lazos a largo plazo con actores locales –públicos o privados– dadas sus perspectivas a corto plazo y porque sus estrategias de inversión se toman en el extranjero (Schneider y Soskice, 2009: 37-40).

La fuerte presencia de ETN en los sectores de alta tecnología ha reducido los retornos de la inversión en tecnologías propietarias e I+D de los grupos locales. Y, al mismo tiempo, ha aumentado el rendimiento de la inversión en áreas como recursos naturales, productos básicos y servicios definidos por el bajo uso de capacidades y tecnologías. Los pocos grupos nacionales que han desarrollado innovaciones han sido adquiridos por ETN, entrando así en cadenas globales de valor globales y agudizando la división del trabajo entre ETN y grupos nacionales (Schneider, 2009).

Finalmente, en términos de relaciones entre empresas, políticas de competencia, actividades colaborativas y procesos de innovación, el sistema mexicano de innovación industrial es mínimo: la tecnología se importa mayoritariamente de las economías centrales, incorporada a bienes y equipos, software u organizaciones. Pocos grupos económicos tienen incentivos para asumir los riesgos de desarrollar I+D en cuanto no se ubican en mercados de exportación donde sea importante la innovación. Además, las ETN no tienen mayores incentivos para realizar I+D en México pues les resulta más fácil y eficientes controlar sus tecnologías propias. Similarmente, los graduados universitarios con una perspectiva de carreras estables en el sector público o en empresas de grandes grupos, tienen escasos incentivos para iniciar actividades emprendedoras (Schneider y Soskice, 2009). Esta estrategia de desarrollo inhibe las posibilidades para el desarrollo de las capacidades tecnológicas, la innovación y el aprendizaje (Cimoli, Ferraz y Primi, 2009).

En segundo lugar, la trayectoria de desarrollo sectorial se explica por una coevolución de factores cognitivos, de aprendizaje, tecnológicos y de mercado y también de la dinámica de la innovación. Un problema crítico de desarrollo de la farmacéutica nacional está directamente asociado a una falla estructural del sistema



de innovación. Aunque algunas universidades y centros de I+D públicos podrían dar soluciones de I+D aplicables, la demanda de conocimiento del sector productivo nacional es escasa y poco sofisticada (OCDE, 2009; Casalet, 2010).

Los vínculos entre el sector farmacéutico biotecnológico y las instituciones de I+D pueden complementar las capacidades internas de la empresa, pero no reemplazarlas. En tanto las empresas mexicanas en el negocio de BT tienen una limitada experiencia en I+D innovadora, la promoción de estos vínculos supone un desafío (Gonsen, 2016). Las empresas nacionales del sector –con las excepciones ya indicadas– no han aumentado sus esfuerzos de I+D para fomentar la industria de medicamentos genéricos y biosimilares. De igual modo, estas empresas tampoco han desarrollado capacidades para apropiarse de patentes vencidas, crear terapias innovadoras para problemas de salud relevantes en el contexto mexicano o desarrollar nuevos procesos farmacéuticos para aumentar su productividad (Zuñiga *et al.*, 2007).

En los países en desarrollo, los debates sobre el apoyo y avance a empresas farmacéuticas nacionales consideran las posibilidades de generar estrategias de propiedad intelectual para abordar problemas de atención de salud en función de objetivos nacionales de desarrollo social. Y, como muestra el análisis de las estrategias de propiedad intelectual en Brasil y México, de Shadlen (2009), el uso de la propiedad intelectual también puede ayudar a alcanzar objetivos industriales. Esto, sin embargo, exige un sector farmacéutico local con fuerza y autonomía que pueda actuar como una fuerza política capaz de oponerse al poder de las ETN. En México, esa oposición aludiría a cambios en los sistemas de patentes que permitieran que los tratamientos farmacológicos estén disponibles para una mayor cantidad de población.

El escaso interés de las firmas nacionales y el gobierno federal en construir capacidades tecnológicas ha erosionado el potencial de México para absorber y aprovechar la BT de vanguardia (Gonsen, 2016). Varios autores han mostrado que, considerando las trayectorias dentro de un paradigma tecnológico, cambian los regímenes de innovación y las condiciones de entrada a nuevos agentes (Klepper, 1997; Pérez, 2001). Por tanto, las empresas de países en desarrollo encuentran diferentes contextos de competencia según la consolidación de sus tecnologías y la fase de su trayectoria tecnológica que están transitando. Dado lo anterior, son limitadas las oportunidades para las empresas de países en desarrollo de ingresar a mercados globales como el de BT que van de un moderado a un alto grado de sofisticación tecnológica.

En comparación con las firmas líderes globales, las empresas de países en desarrollo poseen múltiples tipos de oportunidades para diversificar sus bases tecnológicas mediante el conocimiento de BT de sus departamentos de I+D y acceder a fuentes externas de conocimiento desde la colaboración con el sector científico público. Excepto en los periodos de implementación tecnológica donde hay procesos relativamente fáciles de entrada de nuevos competidores (y, por ende, más oportunidades de entrada a nuevos agentes), las empresas de los países en desarrollo siguen estrategias de competencia que imitan las de las empresas líderes del sector (Gutman y Lavarello, 2014: 17-39).

En el sector biofarmacéutico, las empresas de los países desarrollados se han centrado en actividades de I+D, especialmente con el objetivo de generar productos comercializables, habitualmente basados en nuevas moléculas. Por su parte, los países desarrollados han buscado la entrada como usuarios o imitadores. En un intento de integrarse a la cadena de valor farmacéutica, los países

en desarrollo con ciertas capacidades de I+D, productivas y tecnológicas han adoptado estrategias basadas en la imitación de biosimilares (Gutman y Lavarello, 2013; Stezano, 2016).

La evolución del sector biofarmacéutico mexicano tras la liberalización comercial desde la década de 1990, cerró posibles vías desde la acumulación de capacidades. En la trayectoria del sector nacional, se refleja un fenómeno de desaprendizaje. La gran cantidad de conocimiento tácito característico de la BT, el rígido mercado laboral de especialistas en ciencias e ingeniería (microbiólogos, enzimólogos, bioquímicos) y la pérdida de empresas nacionales mexicanas a una competencia internacional crecientemente, generó una pérdida de capacidades, habilidades y conocimientos acumulados. Los que podrían haber sido aprovechados por México (Gonsen, 2016).

El conjunto de condiciones descrito explica la imposibilidad de una estrategia para producir patrones tecnológicos basados en umbrales de experiencia que dependerían de las anteriores capacidades existentes, asociadas con los extractivos biológicos, dado que la evolución del sector ha inhibido el dinamismo de una plataforma nacional químico-farmacológica. En este contexto, las condiciones existentes en México aún son limitadas para que el sector biofarmacéutico emprenda procesos de creación de capacidades y aprendizajes a través de procesos de imitación creativa.

## Referencias

Amaro M. y M.A. Morales (2016), Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes, *Revista REDES*, Argentina No. 42.

- Bianchi, C.; Stezano, F. y Torres-Freire, C. (2014), *Apuntes metodológicos para estudios sobre biotecnología en América Latina*, Buenos Aires. Inédito.
- Casalet, M. (2010). Velos y desvelos entre el poder y la ciencia, *Innovation RICEC*, 3(1), 1-15.
- Cefis, E., Ciccarelli, M., y Orsenigo, L. (2006), Heterogeneity and firm growth in the pharmaceutical industry, En M. Mazzucato y G. Dosi (Eds.), *Knowledge accumulation and industry evolution. The case of pharma-biotech*, Cambridge University Press (pp. 163-207).
- Cimoli, M., Ferraz, C. J., y Primi, A. (2009). Science, Technology and Innovation Policies in Global Open Economies: Reflections from Latin America and the Caribbean. Políticas de Ciencia, Tecnología E Innovación, en *Economías abiertas globales: reflejos de América Latina en El Caribe*, 3(2005), 32-60. <https://doi.org/10.3232/GCG.2009.V3.N1.02>
- Cimoli, M., y Dosi, G. (1995). Technological paradigms, patterns of learning and development: An introductory roadmap, *Journal of Evolutionary Economics*, 5(3), 243-268. <https://doi.org/10.1007/BF01198306>
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). (2018). Se libera el décimo sexto paquete de medicamentos genéricos. Recuperado de <https://www.gob.mx/cofepris/articulos/se-libera-el-decimo-sexto-paquete-de-medicamentos-genericos-154813?idiom=es>
- Corona, J. (2006), *Human capital formation: the role of science and technology policy. A case study in the Mexican biotechnology sector*, University of Manchester.
- Coronel, M. (2017). Ya vienen los primeros biocomparables en México, *El Economista*, Recuperado de <https://www.econo->

- mista.com.mx/opinion/Ya-vienen-los-primeros-biocomparables-en-Mexico-20170215-0004.html
- Criscuolo, P. (2005). The “home advantage” effect and patent families. A comparison of OECD triadic patents, the USPTO and the EPO, *Scientometrics*, 66, 23-41. <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0003-6>
- Das, P. (2009). Innovation, access and the public’s health: intellectual property rights in Mexico, *Law and Business Review of the Americas*, 15(2), 405-423.
- De María y Campos, M. (1977). La industria farmacéutica en México, *Revista de Comercio Exterior*, 27(8), 888-912.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147-162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- Estrada, E. (2010). Competencia económica. En A. Castañeda (Ed.), *Los grandes problemas de México, Microeconomía*, Mexico City: El Colegio de México (pp. 123-174).
- Gambardella, A. (1995), *Science and Innovation: The US Pharmaceutical Industry in the 1980s*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Gonsen, R. (2016), *Technological Capabilities in Developing Countries: Industrial Biotechnology in Mexico*, Palgrave Macmillan UK, ISBN 1349263699
- Gutman, G., y Lavarello, P. (2013), *Nuevos paradigmas, estrategias de los grupos biotecnológicos líderes a nivel internacional y oportunidades para empresas en Argentina. Desafíos internacionales y nacionales para el diseño de políticas en el sector de biotecnología*, CDMX: FLACSO-México (pp. 1-9).

- Gutman, G., y Lavarello, P. (2014), *Biotechnología industrial en Argentina: estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*, Buenos Aires: Gran Aldea Editores.
- Guzmán, A., y Guzmán, M. V. (2009). ¿Poseen capacidades de innovación las empresas farmacéuticas de América Latina? La evidencia de Argentina, Brasil, Cuba y México, *Economía: Teoría y Práctica*, Número especial 1(1), 131-173.
- Hall, P. y Soskice, D. (2001), *Varieties of Capitalism. The Institutional Foundations of Comparative Advantage*, Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0199247757.001.0001>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). *Estadísticas a propósito de la industria farmacéutica*. CDMX.
- Klepper, S. (1997), *Industry Life Cycles. Industrial and Corporate Change*, 6(1), 145-182. <https://doi.org/10.1093/icc/6.1.145>.
- Lesemann, F. (2007). Sistemas nacionales de innovación y regímenes institucionales. En F. Stezano y G. Vélez (Eds.), *Propuestas interpretativas para una economía basada en el conocimiento* (Buenos Aires: Miño y Dávila pp. 66-110).
- Marengo, L., Pasquali, C., Valente, M., y Dosi, G. (2012). Appropriability, patents, and rates of innovation in complex products industries, *Economics of Innovation and New Technology*, 21(8), 753-773. <https://doi.org/10.1080/10438599.2011.644666>.
- Mazzucato, M., y Dosi, G. (2006), *Knowledge accumulation and industry evolution: The case of pharma-biotech. Knowledge Accumulation and Industry Evolution: The Case of Pharma-Biotech*, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493232>
- McKelvey, M. D., y Orsenigo, L. (2006), *The Economics of Biotechnology*, Edward Elgar.
- Morales, A., y Amaro, M. (2016). Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus

- principales componentes, *Redes*, 22(42), 13-40. Recuperado de <http://www.unq.edu.ar/advf/documentos/589b6b8b30ca0.pdf>
- Morales, A., y Villavicencio, D. (2015). Convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México. En A. Morales, R. De Gortari, y F. Stezano (Eds.), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos*, CDMX: Conacyt, Editorial Los Reyes (pp. 139-164).
- Niazi, S. K. (2016), *Biosimilars and Interchangeable Biologics: Strategic Elements*, CRC Press, 157-225. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Niosi, J., Bas, T. G., y Amador, J. F. (2013). *Biopharmaceuticals in Latin America: challenges and opportunities. Innovation and Development*, 3(1), 19-36. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2012.760899>.
- Niosi, J. (2014), *Innovation and development through imitation (In praise of imitation)*, In International Schumpeter Society (pp. 1-11). Brisbane, Australia.
- OECD (2018), *Key biotechnology indicators, OECD Directorate for Science Technology and Innovation (DSTI)*. <http://www.oecd.org/sti/inno/keybiotechnologyindicators.htm>
- OECD (2017), *Main Science and Technology Indicators, Volume 2017 Issue 1*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/mstiv2017-1-en>
- OECD (2016), *Key Biotechnology Indicators*, Recuperado de <http://oe.cd/kbi> [september 15th, 2017].
- OECD (2009), *The Bioeconomy of 2030. The Bioeconomy to 2030 Designing a Policy Agenda*, <https://doi.org/10.1787/9789264056886-en>

- OECD (2001), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2001. Towards a Knowledge-based Economy*, [http://dx.doi.org/10.1787/sti\\_scoreboard-2001-en](http://dx.doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2001-en)
- Pammolli, F., McKelvey, M. y Orsenigo, L. (2004), Pharmaceuticals analysed through the Lens of a Sectoral Innovation System. En: Franco Malerba (ed.), *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*, Cambridge University Press, pp. 73-120. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511493270.004>
- Perez, C. (2001), El cambio tecnológico y las oportunidades de desarrollo como blanco móvil, *Revista de la CEPAL*, 75, 115-136.
- Portes, A. (2015), *The Sociology of Development. Sociology of Development*, 1(1), 20 LP-42. Recuperado de <http://socdev.ucpress.edu/content/1/1/20.abstract>
- ProMexico. (2012), *Industria farmacéutica. Unidad de Inteligencia de Negocios*, ProMexico. Mexico City.
- ProMexico (2015), *Industria farmacéutica. Unidad de Inteligencia de Negocios*, ProMexico. Mexico City.
- Schneider, B. R. (2009). Hierarchical market economies and varieties of capitalism in Latin America, *Journal of Latin American Studies*, 41(3), 553-575. <https://doi.org/10.1017/S0022216X09990186>
- Schneider, B. R., y Soskice, D. (2009), Inequality in developed countries and Latin America: Coordinated, liberal and hierarchical systems, *Economy and Society*, 38(1), 17-52. <https://doi.org/10.1080/03085140802560496>
- SS, Secretaría de Salud (2005), *Hacia una política farmacéutica integral para México*, Mexico City: SS Secretaria de Salud. Recuperado de <http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s19898es/s19898es.pdf>



- Shadlen, K. C. (2009), *The Politics of Patents and Drugs in Brazil and Mexico: The Industrial Bases of Health Policies. Comparative Politics*, 42(1), 41-58. <https://doi.org/10.5129/001041509X12911362972791>
- Stezano, F. (2016), *Relevamiento de actividades de biotecnología en empresas en México*, CDMX. Inédito.
- Stezano, F., y Oliver, R. (2015). La colaboración entre actores como condición para el avance de procesos de convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Los vínculos ciencia-industria en México. En A. Morales, R. De Gortari, y F. Stezano (Eds.), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos*, CDMX: Editorial Los Reyes y CONACYT (First, pp. 13-42).
- Torres Guerra, S., y Gutiérrez, J. P. (2009). Mercado farmacéutico en México: tamaño, valor y concentración, *Revista Panamericana de Salud Pública*, <https://doi.org/10.1590/S1020-49892009000700007>
- Trejo, S. (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, México. Recuperado de [http://www.gbcbiotech.com/en/imagenes/biotecnologia/33BioTecnologia\\_mexico.pdf](http://www.gbcbiotech.com/en/imagenes/biotecnologia/33BioTecnologia_mexico.pdf)
- USPTO (2010). IP5, Recuperado de: <https://www.uspto.gov/patents-getting-started/international-protection/office-policy-and-international-affairs-ip5#>
- Walsh, G. (2014), Biopharmaceutical benchmarks. *Nature Biotechnology*, 32, 992-1000. <https://doi.org/10.1038/nbt.3040>
- Walsh, J. P., Arora, A., y Cohen, W. M. (2003), *Effects of research tool patents and licensing on biomedical innovation. Patents in the*

*Knowledge-Based Economy*, 285, 286. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493232.010>

Wield, D., Chataway, J., y Bolo, M. (2010). Issues in the political economy of agricultural biotechnology. *Journal of Agrarian Change*, 10(3), 342-366. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2010.00274.x>

Zúñiga, M. P., Guzmán, A., y Brown, F. (2007), *Technology Acquisition Strategies in the Pharmaceutical Industry in Mexico*. *Comparative Technology Transfer and Society*, 5 (3), 274-296. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Alenka\\_Guzman/publication/236807590\\_Technology\\_Acquisition\\_Strategies\\_in\\_the\\_Pharmaceutical\\_Industry\\_in\\_Mexico/links/572d73c508ae7441518e7112.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alenka_Guzman/publication/236807590_Technology_Acquisition_Strategies_in_the_Pharmaceutical_Industry_in_Mexico/links/572d73c508ae7441518e7112.pdf)



# **Biotecnología agroindustrial y alimentaria en México, entre grandes empresas y pequeños productores**

MARCELA AMARO ROSALES

## **I. Introducción**

**E**l objetivo del capítulo es identificar y analizar el tipo de empresas del sector agroindustrial y alimentario que en México realizan algún tipo de biotecnología. Su caracterización nos ayudará a profundizar sobre la estructura productiva y tecnológica para poder definir la dinámica en la que se encuentran inmersas. Lo anterior bajo la premisa de que el sector agroindustrial y alimentario en el país es uno de los espacios con mayores posibilidades para aprovechar los desarrollos biotecnológicos y emprender algunas estrategias empresariales que les permitan insertarse de forma exitosa en trayectorias tecnológicas innovadoras. Si bien lo anterior puede resultar benéfico, también es un punto de tensión ya que la estructura organizacional y productiva del sector agroindustrial y alimentario está polarizado entre las empresas medianas y grandes con cierto nivel de desarrollo tecnológico, y capacidades de absorción y los pequeños productores del sector agrícola atomizados y con bajas o nulas posibilidades de absorber conocimiento y desarrollar estrategias relacionadas con la innovación biotecnológica.

Como hipótesis, consideramos que, si bien la absorción y desarrollo de capacidades biotecnológicas para las empresas agroindustriales y alimentarias en México puede representar una oportunidad para el aumento de la productividad de dichas empresas, también es la posibilidad de ampliar aún más la brecha tecnológica y productiva con los pequeños productores agrícolas, convirtiéndolos en dependientes o excluidos tecnológicos.

De acuerdo a la clasificación expuesta en el capítulo 4 de este libro, basada en colores, nos interesa profundizar en la biotecnología relacionada con la agroindustria y los alimentos, denominada biotecnología “verde”. La cual se orienta al desarrollo de la superación de los factores limitantes de la producción agrícola, ya sea mediante la obtención de plantas tolerantes a condiciones ambientales negativas como las sequías o los suelos ácidos; resistentes a enfermedades y plagas, o bien al mejoramiento de capacidades propias como la captación, absorción o procesamiento de ciertos elementos del ambiente. Además de la mejora de las características nutrimentales y de conservación, entre algunos otros.

En un país como México donde el sector agrícola fue por muchos años base de la economía nacional y sustento de la alimentación de la población, cobra especial relevancia pensar en los beneficios que podría significar la adopción, implementación y desarrollo de técnicas propias biotecnológicas para la resolución de problemas de abasto y comercio. Sin embargo, esto también ha representado un conflicto de intereses entre los posibles involucrados, dada la connotación cultural y simbólica que para el pueblo, en general, representan ciertos cultivos originarios como el maíz, el frijol y el chile; además de las implicaciones, dada la desigualdad en la estructura productiva (grandes empresas *vs* pequeños productores atomizados).

Lo anterior implica diversos esfuerzos, por un lado proteger a los cultivos criollos con un marco institucional: leyes, políticas públicas y reglamentaciones; identificar parámetros científicos y tecnológicos sobre los riesgos y beneficios del uso de la biotecnología en el sector e informar a la sociedad basados en dichos parámetros, sobre los potenciales beneficios o riesgos económicos y sociales del uso y desarrollo de la biotecnología.

El tema de la biotecnología en el sector que aquí se trata ha sido un punto crítico entre diversos sectores como: el científico, político y social. Existen posiciones irreconciliables sobre los pros y contras acerca del uso y desarrollo de cierto tipo de biotecnología, en especial los desarrollos transgénicos o las modificaciones genéticas de alto impacto. Dado que no es tema de esta investigación dilucidar las controversias sobre el tema, sólo basta con mencionarlo como un factor que puede tener incidencia en los agentes y en el tema en general.

Por ejemplo, una serie de expertos en la materia, sobre todo biotecnólogos (Bolívar, 2003) aseveran que las características de la biodiversidad biológica son un factor relevante para el uso y desarrollo de la biotecnología moderna en México, esto debería implicar oportunidades para la conformación de investigación desde el sector alimentario hasta la salud y la ecología.

Las características de la biotecnología en los países desarrollados son distinta a las de los países en desarrollo; las grandes empresas en países como México no financian investigaciones a granel, por el contrario, son sumamente selectivas. Tampoco se cuenta con una amplia infraestructura que dote de los recursos necesarios a los centros universitarios de investigación para que se sitúen en la frontera de la investigación científica y son pocos los que cuentan con reconocimiento a nivel internacional. Y a pesar de

que las empresas extranjeras reconocen el potencial de la investigación nacional, son pocos los proyectos financiados y aún menos los trabajos conjuntos de investigación y desarrollo (I+D) como se explicó en el capítulo 3 de este libro.

En el caso de México la biotecnología aún no es una tecnología consolidada; existen ciertas áreas que cuentan con un potencial claro de expansión y con la calidad para competir a nivel internacional. Pero aún es insuficiente la cantidad de personas, organizaciones, instituciones y recursos destinado para dicho fin.

El capítulo se estructura de la siguiente manera: en el primer apartado se presenta un panorama general del sector agroindustrial alimentario, se exponen datos y estadísticas para contextualizar al sector. En el segundo se propone una caracterización metodológica sobre lo que aquí se consideran las empresas relacionadas, o dedicadas a la biotecnología agroindustrial y alimentaria. El tercer apartado presenta una descripción amplia de las empresas agroindustriales y alimentarias en México; se analiza su dinámica tecnológica, algunas estrategias empresariales y finalmente, las conclusiones.

## **II. Panorama del sector agroindustrial y alimentario en México**

De acuerdo con Saavedra y Rello (2012), el sistema y el mercado agroalimentario mundial han presentado una serie de transformaciones como el aumento y cambio en la demanda de alimentos. Procesos como la globalización y la urbanización han impactado en la dinámica en la producción de alimentos, lo que a su vez se ha traducido en una mayor competencia basada en incrementar la productividad.

Los mismos autores señalan que “estaría surgiendo una creciente segmentación, entendida como un proceso de diferenciación de los distintos grupos y actores económicos, en el que unos son ganadores y otros perdedores” (Saavedra y Rello, 2012: 11). Dicha segmentación se expresaría en los productores agrícolas predominantemente por la capacidad de aumentar su productividad basada en el uso de ciertas tecnologías que les permitan ser competitivos a nivel regional y global. Lo anterior significa que el sector agrícola en mayor medida, pero también el alimentario, deben adaptarse a las nuevas demandas de los consumidores y a la organización del mercado; lo que representa en términos reales abrir aún más la brecha entre aquellos productores capaces de adaptarse a las nuevas condiciones y los que no tienen la capacidad de acceso a financiamiento y tecnología, entre otros factores.

Siguiendo la hipótesis de Saavedra y Rello (2012), los nuevos mercados agroalimentarios globales y las dinámicas de comercialización han propiciado un proceso de concentración y diferenciación de las estructuras productivas. Lo que en el caso de México profundizará las ya existentes desigualdades entre los pequeños y grandes productores, resultado histórico de largo plazo que el país no ha podido superar como resultado de la reforma agraria, que no pugnó por la creación de un moderno sector de pequeños propietarios, con fuerza económica y capacidad productiva capaz de dinamizar constantemente al sector (Saavedra y Rello, 2012).

Además de la reforma agraria, las diversas políticas agrícolas en sintonía con el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT) y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) han contribuido con el proceso de concentración productiva en el sector, ya que, si bien se dinamizó el comercio agrícola, el saldo de la balanza comercial se ha mantenido negativo



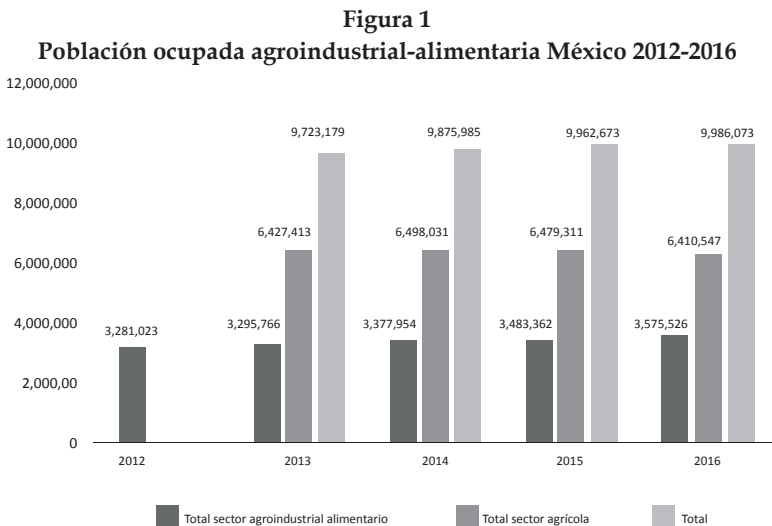
(Puyana y Romero, 2005). Gracias al TLCAN existen una serie de ganadores, quienes indiscutiblemente se han visto beneficiados con el Acuerdo. Los productores, empacadores y exportadores de frutas y hortalizas del norte del país han sido los ganadores, mientras que los perdedores son la mayoría de los productores asociados a los granos y productos básicos (Saavedra y Rello, 2012).

Este desalentador panorama –que en ocasiones es calificado como negativo–, nos obliga a preguntarnos sobre las posibilidades de que el desarrollo, uso y explotación de tecnologías asociadas a la biotecnología, pueda representar una opción para lograr disminuir la brecha productiva entre los ganadores y perdedores, o por el contrario, podría significar ampliar aún más esa brecha. Si bien no podemos responder cabalmente a esa pregunta, la caracterización de la dinámica asociada a la biotecnología agroindustrial alimentaria en México en términos empresariales y tecnológicos puede darnos pistas que nos permitan plantear esquemas más adecuados para la posible recomposición del sector.

Lo anterior con el objetivo de dilucidar si tal y como lo plantean algunos autores (Vega y Trujillo, 1989) el desarrollo biotecnológico en la agricultura es un espejo de la revolución verde, lo que los lleva a afirmar que no logrará satisfacer las necesidades de la mayoría de los productores agrícolas del país, particularmente a los campesinos. Dado que las innovaciones favorecen principalmente la producción de los grandes productores, con impactos marginales en el sector campesino (Altieri, 2001 y Chauvet, 2015). O si bien, podría representar amplias posibilidades de contribuir a incrementos adicionales de la productividad agrícola (Riepe y Martin, 1989), para ayudar así a abatir de la demanda mundial de alimentos, para recomponer zonas dañadas –suelos degradados– y mejorando las características de los cultivos, entre otros aspectos.

A continuación, se presentan una serie de datos para dar contexto al sector agroindustrial y alimentario en México, se retoman una serie de estadísticas generales para poder dimensionar la importancia del sector de análisis.

Basados en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) la población ocupada en el sector agrícola se ha mantenido desde 2013 alrededor de los 6 millones de trabajadores, aunque destaca que desde 2017 hay un ligero repunte que podría ser explicado por la dinamización del sector, gracias al aumento en el volumen de exportaciones de algunos productos. En este trabajo se ha construido al sector agroindustrial alimentario recuperando los datos de los subsectores 311, 312 y 325 del sector manufacturero. Por lo que el sector agroindustrial alimentario ha oscilado alrededor de los 9 a 10 millones de población ocupada (véase Figura 1).

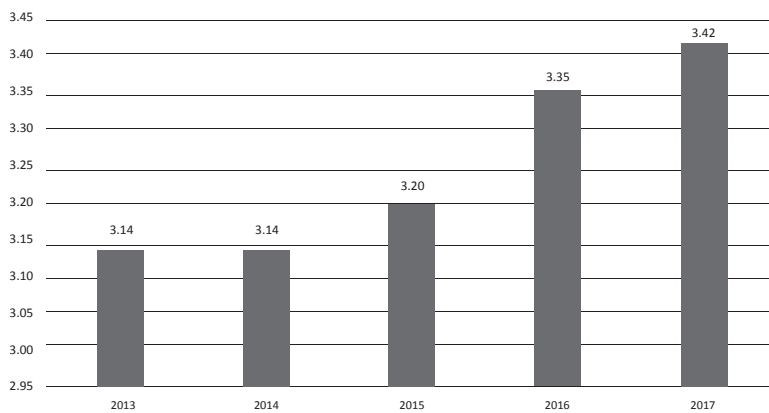


\*El sector agroindustrial alimentario se compone de los subsectores del sector manufacturero 311, 312 y 325.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (varios años).

Refiriéndonos únicamente al sector agrícola y lo que respecta al valor agregado, el crecimiento se ha movido entre 2.28% para el año 2013 y el más alto registrado es de 3.78% en 2014. En promedio en el periodo 2013-2017 se reporta 3.04% y si bien no es el sector más dinámico, si se ha mantenido por arriba del crecimiento económico de la economía mexicana en general. Un dato importante y que vale la pena rescatar es el valor agregado con el que contribuye el sector agrícola como porcentaje del PIB al valor agregado (Figura 2). Donde se observa un aumento significativo y constante desde 2014, lo cual ha puesto de nuevo a debate la importancia que puede tener re dinamizar al sector y convertirlo de nuevo en motor de crecimiento económico.

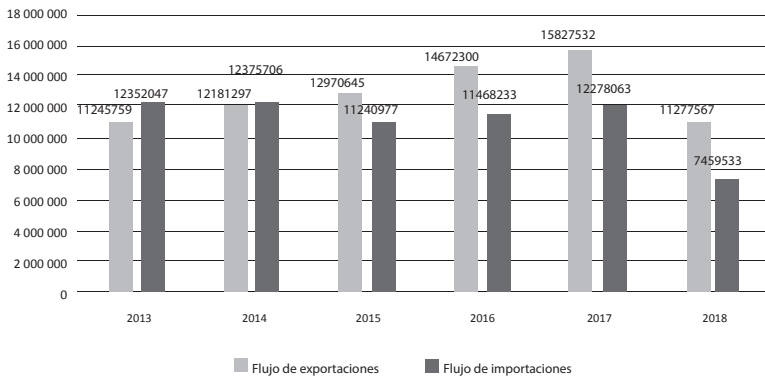
**Figura 2**  
**Valor agregado del sector agrícola como porcentaje del Producto Interno Bruto (2013-2017)**



Fuente: elaboración propia con datos sobre las cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos sobre cuentas nacionales de la OCDE (varios años).

Previamente se habló de la relevancia que, para el sector agroindustrial y alimentario, pero fundamentalmente para el sector agrícola, tuvo la entrada en vigor del GATT y del TLCAN, el cual modificó en gran medida los términos de intercambio al promover el comercio de productos agrícolas basados en el esquema de ventajas comparativas, y con esto los grandes productores agrícolas dedicados a cierto tipo de productos, ser los más beneficiados. En la Figura 3 se puede observar que a partir de 2015 las exportaciones superaron las importaciones de productos agrícolas; sin embargo, esto requiere un análisis más detallado ya que si bien el país no es ya un importador neto, el principal producto que se importa es el maíz, mientras que los productos más exportados son los cítricos y el aguacate (Banxico, 2018).

**Figura 3**  
**Exportaciones e Importaciones para el sector agrícola (2013-2018)**



\*La fecha de corte para 2018 es septiembre del mismo año.

Fuente: elaboración propia con datos del Banco de México. Sistema de Información Económica.

Es importante mencionar que, el argumento planteado por Saavedra y Rello (2012) acerca de la creciente segmentación del sector se confirma cuando se revisan los datos por hectáreas sembradas

y cosechadas frente a los del valor de la producción, ya que desde 2013 y hasta 2017 se verifica que son los estados del norte y centro del país los que se mantienen en los 5 primeros lugares: Tamaulipas, Zacatecas, Sinaloa, Jalisco y Guanajuato, con ligeras variaciones aparece también Chihuahua y Michoacán. Aunque destaca que Sinaloa y Jalisco se mantienen como los principales generadores del valor de la producción (SIAP, 2018). Lo que permite identificar que son los grandes productores los que se han visto beneficiados con la reconfiguración del sector agroindustrial alimentario a nivel global.

Finalmente, se debe tener presente que las modificaciones van a seguir ocurriendo en el sector ya que en durante 2018 se ha concluido la ronda de negociaciones del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) el cual por primera vez tiene dentro del capítulo dedicado a la agricultura, una sección particular para la biotecnología agrícola. Lo que significa nuevas reglas para los productores, tanto en términos de las exportaciones e importaciones, seguridad alimentaria y las características de las condiciones para transar con productos resultado de la biotecnología o con contenido biotecnológico.

Hasta aquí se ha presentado un análisis general del sector agroindustrial alimentario en México, lo que permite tener contexto sobre la importancia del sector para el país y las variables institucionales y económicas que afectan su desempeño. Dado que no es el objetivo del capítulo, no se ha profundizado en diversos temas muy relevantes, pero permite avanzar hacia la caracterización metodológica de lo que aquí se considera como las empresas dedicadas a la biotecnología agroindustrial y alimentaria en México.

### **III Caracterización metodológica de las empresas relacionadas o dedicadas a la biotecnología agroindustrial y alimentaria**

El Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), conceptualiza a la biotecnología como “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Ruane y Zimmermann, 2003). Esta definición abarca muchos de los instrumentos y técnicas que son actualmente habituales en la producción agrícola y alimentaria (Ruane y Zimmermann, 2003) y si es así, ¿qué diferencia sustancial implica la biotecnología moderna aplicada al sector agroindustrial y alimentario?

De acuerdo con Stezano (2017) las semillas genéticamente modificadas, resultado de los métodos de recombinación del ácido desoxirribonucleico (ADNr) son la innovación radical que ha transformado la actividad productiva agrícola. Dado que esto significó la modificación de la base cognitiva y tecnológica del sector con la técnica de la transgénesis, la cual implica la manipulación de las plantas, insertando, alterando o removiendo genes con un fin específico, a partir del conocimiento de la información que cada gen codifica como instrucción en el interior de cada célula (Sztulwark, 2012:65-80 citado en Stezano, 2017:143).

Las aplicaciones tecnológicas usuales en la biotecnología se relacionan con la biología reproductiva y la manipulación o utilización del material genético de organismos vivos para usos específicos. Algunas de las tecnologías que incluye son: el uso de marcadores moleculares de ADN, la manipulación y transferencia de genes, la reproducción vegetativa –cultivos y especies arbóreas forestales–, el trasplante y congelación de embriones (ganado) y la tripodización (peces) (Ruane y Zimmermann, 2003). Es importante mencionar que

una de las más importantes bases científicas y tecnológicas de la biotecnología agroindustrial y alimentaria está basada en la química y farmacéutica, lo que para Gutman y Lavarello (2008) explica el por qué empresas transnacionales como Dow Agrochemical, Du Pont, Syngenta, Bayer y Monsanto sean importantes jugadores en el desarrollo y difusión de la biotecnología en el sector.

Para poder definir claramente las características del objeto de estudio se retoman las tecnologías biotecnológicas usualmente aplicadas al sector agroindustrial y alimentario, esto con la finalidad de delinear el tipo de desarrollo tecnológico asociado a las empresas basadas en marcadores moleculares, las de cultivos modificados genéticamente y las de micropropagación.

Existen diversos problemas metodológicos que deben sortearse para poder hacer el análisis que aquí se plantea y que ya han sido abordados en la introducción y en los capítulos 1, 3 y 4 de este libro. En primer lugar, a diferencia de muchos de los estudios realizados desde la economía de la innovación, aquí no se considera a la biotecnología como un sector productivo, sino como una tecnología transversal a muchos sectores industriales (véase el capítulo de Morales y Díaz de este libro). En otros casos, se ha considerado que la biotecnología es un sector tecnológico, por tanto, se analizan los distintos actores y dinámica. Sin embargo, en este capítulo se plantea el análisis de la biotecnología como una tecnología que desarrollan y aplican empresas particularmente del sector agroindustrial y alimentario.

También la definición de empresas biotecnológicas implica un reto ya que hay diversas características asociadas a distintos tipos de empresas. Aquí se retoma la definición planteada por Trejo (2010), donde considera en particular para el sector agroindustrial alimentario asociado a la biotecnología tres tipos de empresas:

- a) Empresas que desarrollan biotecnología de propagación vegetativa de plantas;
- b) Desarrollo de procesos y productos para el mercado de insumos biológicos o bioquímicos para la producción agrícola y pos cosecha y;
- c) Productoras de fármacos y vacunas para uso veterinario.

Además de considerar la clasificación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) planteada en el capítulo 4 compuesta por:<sup>1</sup> *start ups*, pequeñas y medianas empresas dedicadas a la I+D, pequeñas y medianas empresas diversificadas, empresas multinacionales dedicadas a la biotecnología y empresas multinacionales diversificadas. Dado que aquí son de interés únicamente las relacionadas con el sector agroindustrial alimentario, tendrán mayor presencia las *start ups* y las diversificadas en biotecnología.

Como se mencionó previamente en este y otros capítulos, la biotecnología no puede ser considerada como un sector tradicional, ya que es una tecnología que tiene impacto en muchos otros sectores como la salud, la agricultura, la industria de los alimentos, la manufactura, etcétera. Justamente por lo anterior ha surgido la necesidad de construir parte del objeto de estudio de esta investigación de la siguiente manera:

En este trabajo consideramos que el sector agroindustrial-alimentario lo constituyen los siguientes elementos:

- Industria alimentaria
- Industria de la bebida
- Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros químicos orgánicos
- Fabricación de otros productos químicos básicos orgánicos

.....  
1 Para conocer detalladamente las características de cada segmento véase el capítulo 4 de Amaro y Sandoval de este mismo libro.



Esta caracterización se basa en la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) dentro de la industria manufacturera. Pero destacamos que también se consideran elementos de la producción agrícola de productos básicos.

En síntesis, las empresas que se consideran aquí son aquellas que pertenecen al sector agroindustrial alimentario definido arriba y que desarrollan para su uso o el de un tercero algunas de las tecnologías definidas como biotecnológicas.

La información presentada más adelante ha sido obtenida de diversas fuentes; por un lado la encuesta realizada por la *Red temática de convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad* financiada por Conacyt, levantada entre septiembre de 2015 y enero 2016, donde reportaron un total 53 empresas, los datos presentados por Amaro y Morales (2016), Villavicencio *et al.* (2014), Villavicencio (2017) y Trejo (2010); además de información recabada de diversas convocatorias del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) del Conacyt y en una búsqueda sistemática de diversas asociaciones empresariales de biotecnología en México como AgroBio México, el Consejo Mexicano de Agrobiotecnología, A.C. (CoMABio) y la Asociación de Innovadores Universitarios, así como en diversos documentos oficiales de la Secretaría de Economía, ProMéxico, notas periodísticas e informativos empresariales. Sin embargo, cabe mencionar que la información presentada no es exhaustiva y plantea como un reto a futuro contar con mejores datos.

El sector agroindustrial-alimentario cuenta con una larga historia de I+D aplicado al desarrollo de este. Tanto a nivel internacional como nacional han existido momentos de gran auge, en el cual, el aumento de la productividad, así como una serie de mejoras en la calidad de los productos, han sido resultado de grandes inversiones públicas, combinadas con estrategias particulares de algunas empresas. Para el año 2000 se estimó que

el gasto mundial en I+D en el sector agrícola fue aproximadamente de 36,456 millones de dólares de los cuales 63% correspondió a inversión pública y el restante 37% a inversión privada (Sagarpa, 2010). La diferencia entre el tipo de inversión radica en que las inversiones públicas se concentran en investigación básica y la privada se concentra en productos específicos y tecnologías que solucionan problemas ya localizados.

Cabe mencionar que en las tres últimas décadas la tendencia de la inversión pública en I+D ha mostrado una tasa de crecimiento que oscila entre 2 y 3% por década; además de que los países en desarrollo han invertido más que los desarrollados.

A nivel mundial las grandes tendencias en cuanto a los procesos de innovación se han dirigido en las siguientes líneas:

**Tabla 1**  
**Principales áreas de innovación en el sector agrícola, agroindustrial y alimentario**

Mejoras de la productividad. Generación de nuevas tecnologías en los cultivos que incluyen mejoras en la maquinaria, así como aplicaciones de fertilizantes químicos para el control de enfermedades, hierba, hongos, etc. Ingeniería genética para mejorar la resistencia de los cultivos o investigación sobre distancias óptimas de producción.
Control de riesgos de los productos agropecuarios. Mejoramientos genéticos que evitan la propagación de enfermedades, plagas u hongos.
Optimización de las cadenas de suministro. Mejoras de calidad, apariencia, vida de anaquel, refrigeración y empaque.

Fuente: elaboración propia.

Estas categorías clarifican el sentido de las innovaciones dentro del sector y se complementa con la taxonomía presentada más adelante que diferencia entre innovaciones internas y externas.

Las actividades del sector agroindustrial-alimentario son clasificadas en México comúnmente como una sub-rama de las actividades de la industria manufacturera. En comparación con otras ramas industriales, se considera equivocadamente que esta área tiene un bajo potencial innovador, resultado –sobre todo– de lo que reportan las empresas de los países integrantes de la OCDE respecto del sector a que dedican los gastos de I+D: 0.8% frente a 4% de la industria manufacturera restante, en cuanto a gasto por unidad de producción (Rama, 1993). Sin embargo, en las actividades alimentarias la receptividad de nuevas ideas, la circulación de información, la capacidad de utilizar nuevos equipos e insumos, son en muchas ocasiones, mucho más importantes que la generación interna de nuevos productos y procesos (Rama, 1993). A consideración de diversos estudios, tanto la agroindustria como la industria de alimentos han tenido grandes avances en las últimas décadas, debido al desarrollo de nuevos alimentos o bebidas, resultado de modificaciones incrementales.

La innovación en el sector proviene de dos áreas fundamentales, por un lado, aquellas que pueden considerarse “externas” que se relacionan con aspectos como los siguientes:

- Desarrollo de nuevos equipos o maquinaria para envasar
- Desarrollo de nuevos equipos o maquinaria para transformar las materias primas, ya sea triturar, cortar, seleccionar, pelar, mezclar, rellenar, cocer, etc.
- Aparatos o accesorios para fabricar nuevos alimentos
- Nuevos materiales de embalaje (envases de vidrio, polietileno, tetrapack, etiquetado no dañino a la salud, etc.)
- Desarrollo de nuevos equipos o procesos para congelar
- Desarrollo de máquinas de control de calidad (peso, temperatura, tamaño, color, etc.)

Las anteriores se consideran como externas, dado que, aunque implican la transformación de la materia prima, esta se ubica en la fase de procesamiento. Además de que se relaciona con la vinculación de la industria agroindustrial-alimentaria con otros sectores para incorporar innovaciones (Núñez, 2011).

Las innovaciones “internas” son aquellas que tienen que ver con las modificaciones o transformaciones agrícolas en semillas y variedades vegetales, insumos y sistemas para el manejo agronómico, productos y procesos para el manejo post-cosecha y procesos industriales de transformación de insumos agrícolas para la generación de productos; además de la producción de ingredientes y en la preparación de alimentos formulados, o bien, los orientados a la preservación de la inocuidad y la calidad nutricia de los alimentos. En general, todos los procedimientos anteriores se relacionan con el insumo mismo e incluye modificaciones más allá de los elementos externos o el procesamiento, sino en la propia genética, por eso es que las técnicas y métodos biotecnológicos juegan un papel preponderante en esta área. Cabe mencionar que aquí también se considera a los fertilizantes, abonos o métodos potencializadores o mejoradores de la calidad de cultivos y semillas.

De manera que las innovaciones en el sector agroindustrial-alimentario no únicamente se relacionan con lo que se ha considerado como el motor tecnológico actual, que es la biotecnología, sino también con elementos externos, pero directamente relacionados con las materias primas o alimentos.

En términos generales, las innovaciones denominadas como externas están más enfocadas a la industria alimentaria, mientras que las internas a la agroindustria. Sin que esto signifique que son excluyentes, al contrario, pueden ser complementarios del proceso innovador en el sector.

#### **IV Biotecnología agroindustrial-alimentaria dinámica tecnológica y empresarial en México**

El sector agrícola y alimentario comprende la producción de alimentos básicos: semillas, granos, vegetales y frutas. Así como la producción de alimentos y bebidas –producción industrial–, además de las industrias que transforman productos agrícolas, ganaderos o pesqueros, al aplicar algún proceso para su conservación o bien al usarlo para producir bienes de consumo o intermedios para la alimentación humana o animal, o para ser utilizados en otros procesos industriales (Amaro y Villavicencio, 2015). Basados en esta definición es que se planteó en el apartado previo el uso de la clasificación de INEGI, para contextualizar al sector en términos de universo de empresas en México.

Las innovaciones en la agricultura y en la industria alimentaria se enfocan en la incorporación de nuevos conocimientos y tecnologías en las fases de producción, procesamiento y comercialización, relacionado con semillas de variedades nuevas o mejoradas resistentes a plagas, virus y adaptables a condiciones medioambientales, tejidos, vacunas, equipos y técnicas de cultivo y crianza; además de la aplicación de protocolos de calidad y vida de anaquel. Pero sin duda, las innovaciones más relevantes versan en mejoras de calidad, cantidad y propiedades de los alimentos –por ejemplo, distintos tipos de leches, yogures, panes, cereales– las cuales radican en la incorporación de insumos biotecnológicos en la producción y procesamiento de alimentos.

La aplicación de la biotecnología en este sector se ha concentrado en la cadena de producción primaria y de los procesos industriales de transformación de insumos agrícolas para la generación de productos (Amaro y Villavicencio, 2015). Concentrándose en

las cuatro fases de la producción y transformación agrícola: semillas y variedades vegetales derivadas de mejoramiento tradicional, insumos y sistemas para el manejo agronómico, productos y procesos para el manejo post-cosecha y procesos industriales de transformación de insumos agrícolas para la generación de productos (Trejo, 2010).

En los alimentos, la biotecnología se ha concentrado en la generación de procesos integrados de transformación de productos animales o vegetales, en la producción de ingredientes y en la preparación de alimentos formulados, además de los sistemas orientados a la preservación de la inocuidad y la calidad nutricia de los alimentos (Trejo, 2010 citado en Amaro y Villavicencio, 2015).

Es importante recalcar que en el país no existe información pública disponible sobre las empresas biotecnológicas, es por ello que se recurrió a fuentes secundarias, que como se expresó previamente, difieren en los datos que presentan, ya que la recolección de ésta se basa en diversas metodologías.

De acuerdo con los estudios mencionados (Trejo, 2010 y Amaro y Morales, 2016) la mayor parte de las empresas en México que desarrollan algún tipo de técnica o proceso biotecnológico se concentran en el sector agropecuario y agrícola, y en menor medida en los alimentos, la mayoría de las empresas, sobre todo las agrícolas, se enfocan en modificaciones a granos, semillas, hortalizas, frutales y con el desarrollo de bioplaguicidas y biofertilizantes. Mientras que los que tienen que ver con análisis de alimentos, se relacionan con pruebas y test para algunos nuevos productos.

En términos generales, existen empresas que desarrollan biotecnología propia y otras que hacen uso de ellas. En México se ha identificado que en el sector de análisis son las grandes empresas transnacionales las que hacen uso de las técnicas y procesos biotec-

nológicos, esto quiere decir que a pesar de contar con laboratorios propios, éstos usualmente se encuentran instalados en países desarrollados, mientras que en México generan vínculos con universidades o centros de investigación para realizar investigaciones puntuales; ejemplo de ellos son: Grupo Modelo, Coca Cola, Pepsico, Sabritas, Gamesa, Bimbo, Danone y Nestlé. Aunque también existe presencia de empresas con un fuerte perfil biotecnológico aplicado al sector como: Bayer CropScience, Dow AgroSciences, Monsanto, DuPont Pioneer y Syngenta; las cuales son las empresas más importantes a nivel mundial en el tema de la biotecnología agrícola.

En el caso de las empresas mexicanas, son pocas las que cuentan con departamentos de investigación y desarrollo (I+D) propios, ya que a pesar de que existen importantes vínculos con universidades y centros de investigación, existe también la generación de relaciones informales donde se busca la asesoría de expertos en el área. Se cuenta con poca información clara y oportuna del número de colaboraciones y la consolidación de relaciones entre estas empresas y las universidades, pero existen diversos estudios cualitativos que muestran que hay casos exitosos, sin embargo, no pasan de ser las excepciones y no la generalidad (Villavicencio, 2017).

Existe mucha disparidad en los datos acerca del número de empresas en México denominadas como “biotecnológicas”, hay algunos estudios que reportan entre 300 y 400 (Trejo, 2010; OCDE, 2015) hasta los más recientes de la OCDE (2018) que hablan de 154 empresas en México. Sin embargo, al no identificarse cuáles son únicamente usuarias y cuáles son desarrolladoras, es muy probable que esta cifra esté sobreestimada (Morales, Amaro y Stezano, 2019). De acuerdo a la información presentada por ProMéxico (2016) existen en México alrededor de 180 empresas que desarrollan o utilizan biotecnología moderna, de estas 31% se encuentran en el segmento

de la agricultura, 23% en el de medio ambiente, 18% en el de salud, 18% en el de alimentos y 10% en otras áreas, pero de igual manera, no se distinguen usuarias de desarrolladoras. Uno de los esfuerzos más elaborados para obtener información fidedigna tuvo lugar entre septiembre de 2015 y enero de 2016 donde la *Red temática de convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad financiada* por Conacyt, levantó una encuesta donde se lograron identificar 53 empresas biotecnológicas mexicanas que desarrollan proyectos biotecnológicos. Este dato es más cercano a la realidad, ya que se hizo una selección únicamente de empresas desarrolladoras de tecnologías biotecnológicas. Como se mencionó previamente, en este trabajo hemos construido una base de datos; en ella se ubicaron 194 empresas sólo del sector agroindustrial alimentario, aunque cabe especificar que no se distingue aún si son usuarias o productoras de biotecnología. Pero a pesar de ello, es relevante el dato porque comprende el universo asociado al sector específicamente de la biotecnología agroindustrial y alimentaria. Dada la falta de información, hasta este momento no se pueden presentar datos concluyentes sobre su perfil tecnológico ya que es insuficiente la información con la que se cuenta, sin embargo, se pueden adelantar información significativa, aunque aún incompleta.

Basados en nuestra construcción de información, identificamos que, en el sector agrícola, la mayoría de las empresas son micro y pequeñas, que desarrollan mejoras en algunos cultivos o biofertilizantes. Aunque existen importantes jugadores nacionales grandes como Lala, Bachoco, Maseca y Cigatam; éstas son fundamentalmente empresas de alimentos, por lo que más que productoras son usuarias de la biotecnología. Hay también empresas pequeñas y medianas las cuales se han agrupado en diversos tipos de organizaciones como el Consejo Mexicano de Agrobiotecnología



(CoMABio) y la Asociación de Empresas de Biotecnología Industrial Mexicana A. C. (EMBIOMEX) donde se ubican empresas medianas de capital nacional con un importante capital social y con un componente más tecnológico como: ENMEX, METCO, Agri Best, AliBio, NSIP, Lidag, Altus Biopharm, Gruindag, Biofábrica Siglo XXI y Berni Labs; las cuales tienen un perfil tecnológico particular porque si bien no son empresas enfocadas a la I+D, si cuentan con áreas dedicadas a esto; las cuales generan innovaciones que buscan sobre todo sustituir insumos químicos o tradicionales para mejorar la productividad del sector agroalimentario y finalmente la Asociación de Innovadores Universitarios donde se agrupa Grupo Quae, Laztek, Agro&Biotecnia, Alnubio, Bioplymex, Biotesla, Corrosión y Protección, Gafisa, Maalem y Peptherapeutics; las cuales tienen un perfil más de *spin-offs*, ya que todas son resultado de proyectos universitarios comandados por investigadores reconocidos.

Las empresas de alimentos en general realizan mejoras en los procesos de conservación y que en su mayoría son pequeñas y medianas. El panorama muestra pocas empresas, en su mayoría micro y pequeñas, que no cuentan con laboratorios propios de I+D. Tampoco existen vínculos de colaboración constante con instituciones de educación superior (IES), por lo que destaca que la gran mayoría son usuarias de biotecnología y se mantiene la tendencia general de la biotecnología a nivel mundial en el sector de los alimentos, donde un grupo de empresas dominan producción y uso de innovaciones biotecnológicas. Aunque también vale la pena mencionar empresas como METCO, quienes con un alto contenido tecnológico han logrado ser competitivas a nivel regional en el tema de los endulzantes.

Recuérdese que la biotecnología es un conjunto de conocimientos y métodos a través de los cuales se hace uso de orga-

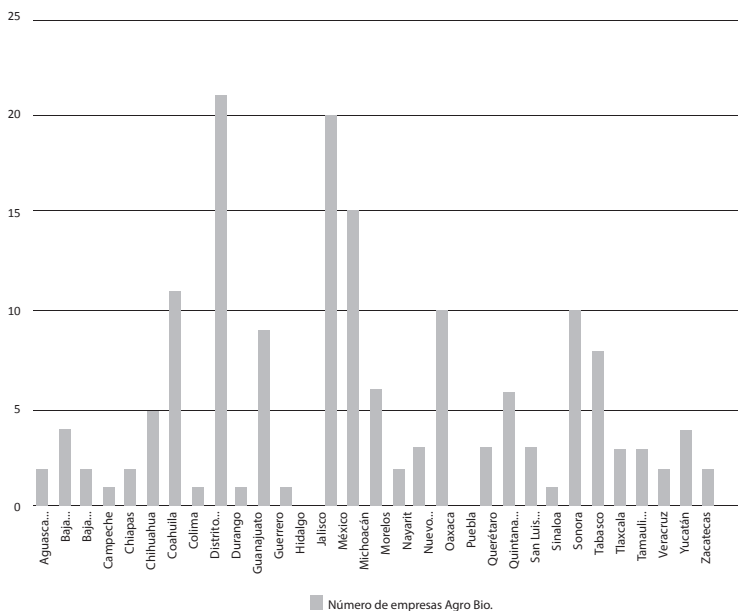
nismos vivos para la generación de nuevos productos, procesos y servicios aplicables a las áreas de la agricultura, alimentación, farmacia, química y a la protección del ambiente (Trejo, 2010). Y generalmente se considera la existencia de tres o cuatro generaciones de biotecnología. Es complicado lograr la identificación de la generación a la que pertenecen las empresas identificadas, por lo que aquí sólo se brinda un panorama del tipo de empresa y la tecnología asociada, sin definir a la generación a la que pertenecen.

De acuerdo con diversos análisis (Amaro, 2103; Amaro y Villavicencio, 2014 y Trejo, 2010) sobre la biotecnología en México, se considera que la mayoría de las empresas del sector agroindustrial-alimentario se localizan en la producción de fertilizantes, plaguicidas y bioactivos de origen vegetal o microbiano, además de haber empresas especializadas en el desarrollo vegetal y control fitosanitario. De acuerdo con la categorización mencionada, la mayoría de las empresas que son totalmente basadas en biotecnología, destacan las del sector agro biotecnológico, seguidas por las de fermentación y productos biológicos y farmacéutica. Esto es interesante dado que a pesar de que las empresas de este último sector dominan el total de empresas, no son las principales desarrolladoras de la tecnología. Lo que en términos generales nos estaría indicando la importancia de las empresas del sector agro biotecnológico alimentario.

A continuación, se muestran una serie de datos que nos permiten tener un panorama general de la composición empresarial de las empresas agro biotecnológicas y alimentarias en México. En la Figura 4 se presenta la distribución por estado; en ella podemos observar que en Ciudad de México se concentran la mayor parte de ellas, esto no significa necesariamente que todas se ubiquen físicamente allí ya que en muchos casos sólo expresa donde se ubican

las oficinas centrales, la dirección fiscal o la matriz. En segundo lugar, se encuentra Jalisco, lo cual no sorprende ya que es uno de los estados de la república que ha implementado una política explícita para el fomento de la biotecnología en alimentos y en tercer lugar el Estado de México, que debe concentrar un importante número de empresas, dada la importancia de las zonas de producción agrícola e industrial distribuidas en la entidad. Vale la pena mencionar que estados como Nuevo León, Sinaloa, Guanajuato y Coahuila cuentan con un número relevante de empresas, lo cual coincide con la ubicación de diversos bio *clústeres* y con políticas estatales de impulso al desarrollo biotecnológico.

**Figura 4**  
Distribución por estados de las empresas  
de biotecnología agrícola, agroindustrial y alimentaria



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2**  
**Actividades centrales de las empresas**  
**en biotecnología agrícola por entidad federativa**

Entidad	Actividad central
Aguascalientes	Extractos vegetales fitorreguladores y plaguicidas orgánicos
Baja California	Extracción de compuestos químicos con aplicaciones para diversos sectores AgroBio
Baja California Sur	Granjas acuáticas para la cría y comercialización
Chiapas	Producción y comercialización de agroquímicos, semillas y fertilizantes
Chihuahua	Producción de químicos bioestimulantes y semillas
Ciudad de México	Investigación, desarrollo, producción, comercialización de productos para sector AgroBio
Durango	Nutrición de cultivos, control de plagas y enfermedades de plantas
Guanajuato	Fabricación y comercialización de fertilizantes
Jalisco	Soluciones químicas, biológicas y genéticas para la Agricultura
México	Producción, comercialización y distribución de insumos para el sector AgroBio
Michoacán	Fertilizantes orgánicos y productos biológicos para agricultura orgánica
Morelos	Producción de biofertilizantes
Nayarit	Comercialización de fertilizantes; insumos agrícolas; venta de tractores y maquinaria agrícola.
Nuevo León	Investigación, el desarrollo y la manufactura de materias primas, premezclas y productos para los diferentes sectores de la Industria Alimentaria
Querétaro	Productos probióticos para animales de granja
Quintana Roo	Producción y comercialización de productos agrobiológicos
Sinaloa	Producción y comercialización de insumos y productos agrobiológicos
Sonora	Productos biotecnológicos en general

Fuente: elaboración propia.

Basados en una primera aproximación sobre las características de las empresas por estados, hemos identificado ciertas tendencias en el tipo de actividad central que desarrolla. En la Tabla 2 se resumen parte de ellas para algunos estados seleccionados. La información presentada no es exhaustiva, y no significa que sólo realicen ese tipo de biotecnología, sólo expresa una tendencia en las empresas que hasta ahora se han identificado.

**Tabla 3**  
**Principales características de las empresas mexicanas**

Tamaño de la empresa	Nivel de innovación	Área tecnológica	Área de impacto	Grado de innovación
Grandes agrícolas	----	----	-----	----
Grandes alimentarias	Regional y local	Biotecnología para mejora de sabores, colores, texturas, vida de anaquel, características nutrimentales y composición	Alimentos en general	Desarrollos propios y adaptación tecnológica
Grandes agroindustriales	Regional y local	Biotecnología para empaque, conserva, manejo y calidad	Granos, semillas, alimentos en general	Adaptación tecnológica
Pequeñas y medianas agrícolas	Regional y local	Biotecnología para granos, semillas, bio fungicidas, bio pesticidas, mejoradores de suelo	Producción agrícola en general	Desarrollos propios y adaptación tecnológica
Pequeñas y medianas alimentarias	Local	Biotecnología para mejoras nutrimentales y alimentos funcionales	Producción de alimentos	Adopción y adaptación tecnológica
Pequeñas y medianas agroindustriales	Local	Biotecnología para empaque, conserva, manejo y calidad	Producción de alimentos	Adopción y adaptación tecnológica

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 3 se han agrupado las empresas analizadas para dar idea de las características que por tamaño hemos podido identificar. Del análisis hemos excluido aquellas empresas que son filiales de transnacionales y sólo se consideran las de capital nacional. En la categoría de grandes agrícolas no tenemos identificadas empresas, no quiere decir que no existan, ya que es probable que así sea, pero no contamos con la suficiente información para poder delinear un perfil sobre las mismas. En los otros casos, a nivel agroindustrial y alimentario se observa que tienen niveles de innovación a nivel regional y local y, cuentan con desarrollos propios y de adaptación tecnológica. En el caso de las pequeñas y medianas, domina el nivel de innovación local y la adopción y adaptación tecnológica.

Los datos aquí presentados buscan delinear las características de las empresas del sector agrícola, agroindustrial y alimentario relacionadas con la biotecnología; destaca que, aunque el tamaño dominante son las pequeñas y medianas empresas, estas son muy diversas y hay una variedad de actividades que desarrollan. Hay algunas de ellas que son basadas en tecnología, y comprenden desde la propagación de tejidos y órganos vegetales que son técnicas consideradas como sencillas, hasta la generación de nuevas variedades, producto de la ingeniería genética. De manera que las capacidades tecnológicas desarrolladas pueden ser muy distintas, dependiendo de las particularidades del área donde se desarrollen y de la propia empresa. Sin embargo, a pesar de existir empresas con base tecnológica, la gran mayoría de ellas no son empresas que se encuentren insertas en el mercado de forma exitosa, por ejemplo, las *spin offs* han enfrentado muchas dificultades para llegar al mercado, sobre todo por la falta de recursos financieros, lo que se ha convertido en una barrera fundamental para este tipo de empresas.

En el caso de las pequeñas y medianas empresas, las más exitosas, son aquellas que tienen una línea de negocio propio ya sea agroindustrial o alimentario y que desarrollan biotecnología para sus propios productos.

Los datos anteriores nos muestran la conformación de lo que aquí se ha denominado como sector agroindustrial-alimentario relacionado con la biotecnología. Podemos ver que la composición de la empresas en el área agro biotecnológica está dada por pequeñas y medianas empresas, a diferencia de lo que sucede en la industria farmacéutica donde dominan las grandes empresas. Sin embargo, es importante destacar que la mayoría de empresas localizadas en este sector no son desarrolladoras de biotecnología, sino usuarias y esto modifica sustancialmente sus actividades y relevancia económica.

## **Conclusiones**

En este capítulo identificamos y analizamos el tipo de empresas del sector agroindustrial y alimentario que en México realizan algún tipo de actividad relacionada con la biotecnología. Para ello recurrimos a fuentes secundarias y a trabajo de campo propio y así poder determinar de forma general parte de la dinámica en términos tecnológicos principalmente. Esto con la finalidad de identificar si existen capacidades instaladas que les permitan aprovechar las posibilidades que la biotecnología ofrece. Esto bajo el supuesto de que la biotecnología en este sector requiere de menores inversiones, en comparación con otro tipo de biotecnología como la farmacéutica, y por tanto, podría representar un área de oportunidad para las empresas mexicanas para incursionar de forma exitosa en trayectorias tecnológicas innovadoras.

La información presentada no es exhaustiva, pero nos permite tener un panorama general del sector y su posible apalancamiento a través de la biotecnología. Se destaca que existe un dominio relevante de pequeñas y medianas empresas que desarrollan algún tipo de tecnología biotecnológica, sin embargo, es –sobre todo– de tipo adaptativa, lo cual les permite, en muchos casos, sustituir importaciones de productos o mejorar procesos. Sin embargo, existen marcadas diferencias en el tamaño de las empresas, porque no todas las empresas nacionales tienen la capacidad de absorber tecnología y mucho menos de desarrollarla. Esto las pone en una situación de desventaja frente a las grandes empresas transnacionales ya que en muchos casos las convierte en dependientes de insumos o productos diversos. Lo anterior se agudiza con los pequeños productores, porque como puede observarse, no tienen ningún tipo de presencia en el desarrollo tecnológico, lo cual implica que la brecha tecnológica y productiva se amplía considerablemente, no solamente entre empresas y agricultores o pequeños productores, sino entre éstos últimos y la producción a nivel global. Si bien no se cuenta aún con evidencia suficiente sobre dicho proceso, si existen ya indicios acerca de la fragilidad en la que se encuentran, ya que, a menos de que se desarrolle una estrategia integral para detener la ampliación de dicha brecha tecnológica y productiva, la biotecnología representará una oportunidad perdida para el desarrollo del sector en México, lo cual puede conducir a una exclusión mayor de los pequeños productores y a una dependencia de las pequeñas y medianas empresas.



## Bibliografía

- Altieri, M. A. (2001), Biotecnología agrícola: mitos, riesgos ambientales y alternativas. *Ecología política* (21), 15-42.
- Amaro, Marcela (2013), Incentivos para la innovación en biotecnología agroindustrial-alimentaria en México. Tesis de doctorado en Ciencias Sociales, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Amaro-Rosales, M., y Villavicencio-Carbajal, D. H. (2015), Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México. *Revista Estudios Sociales* (Hermosillo, Son.) 23(45), 33-45.
- Amaro, Marcela. y Mario Alberto, Morales (2016), "Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes." *Revista Redes*, vol. 22, No. 42, pp. 13-40.
- Amaro, Marcela y Villavicencio Daniel (2014), " Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México" *Revista Estudios Sociales*, CIAD. México.
- Chauvet, Michelle (2015), *Biotecnología y sociedad*, Colección Biblioteca básica de la Universidad Autónoma Metropolitana
- Gutman, G. E., y Lavarello, P. (2007), Biotecnología y desarrollo. Avances de la agrobiotecnología en Argentina y Brasil, *Economía. Teoría y Práctica* (27).
- Bolívar, Francisco, G. (2003), *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la biotecnología en México*, Academia Mexicana de Ciencias.
- Morales, Amaro y Stezano (2019), «Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos», en *Revista Economía, Teoría y Práctica*, UAM-I.

- Núñez, I (2011), *Diseño de indicadores de la Acumulación de Capacidades Tecnológicas en la Agroindustria Alimentaria*. OEI Sala de Lectura [www.oei.es](http://www.oei.es)
- ProMéxico (2016), *Biotecnología, diagnóstico sectorial*. Secretaría de Economía, México.
- Puyana, A., y Romero, J. (2005), *Diez años con el TLCAN: las experiencias del sector agropecuario mexicano*, Flacso México, Colegio de México.
- Rama, R. (1993), "El Entorno Tecnológico de la Empresa Alimentaria". *Comercio Exterior*, vol. 43, núm. 3. marzo, México.
- Riepe, J., y Martín, M. A. (1989), *Biotecnología Agrícola: Implicaciones y Perspectivas*. *Agricultura y Sociedad* (53).
- Ruane John y María Zimmermann (2003), *Biotecnología agrícola para países en desarrollo. Resultados de un foro electrónico*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Saavedra Fernando y Rello Fernando (2012), *Integración y exclusión de los productores agrícolas. Un enfoque regional*, Flacso. México
- SAGARPA (2010) Retos y oportunidades del sistema agroalimentario en México en los próximos 20 años. Documento Oficial.
- Stezano, Federico (2017), «Nuevas estrategias institucionales y de competitividad en el sector biotecnológico agrícola. El caso de Stelagenomics» En Villavicencio D. (coord.), *Las visciditudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*, pp. 141-165. México UAM-X, IDRC-CRDI, ITACA.
- Sztulwark, Sebastián (2012), *Rentas de innovación en cadenas globales de producción: el caso de las semillas transgénicas en Argentina*, Universidad Nacional de General Sarmiento. Buenos Aires, Argentina.

- Trejo, Sergio (2010), *Situación de la Biotecnología en el Mundo*, Secretaría de Economía (SE), Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa (Funtec, A.C.) y Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-T, IPN).
- Vega Fernando y Trujillo Javier (1989), Biotecnología agrícola, espejo de la revolución verde, *Comercio Exterior*, vol. 39 núm. 11, pp. 947-952.
- Villavicencio D., Amaro M. *et al.* (2014), *Yo innovo, él innova, todos innovamos: 15 casos apoyados por el FIT*. SE, Conacyt y CENGAGE Learning. México. ISBN 13: 978-6075194882 / ISBN 10: 6075194886.
- Villavicencio, Daniel (coord.) (2017), *Las vicisitudes de la innovación en Biotecnología y Nanotecnología en México*. UAMX-IDRC-ITACA. México.

### **Sistemas de información**

- Banco de México (Banxico) (2018), *Sistema de Información Económica*. Fecha de consulta septiembre-octubre 2018.
- Banco Mundial.
- INEGI, *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo* (varios años).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2018)  
Fecha de consulta septiembre y octubre de 2018.
- OCDE 2015 y 2018.

# EL SECTOR BIOTECNOLÓGICO EN MÉXICO; ESTRUCTURA, ENTORNO Y POLÍTICA INDUSTRIAL PARA SU DESARROLLO. UN ANÁLISIS DE TEORÍA DE GRAFOS

HÉCTOR EDUARDO DÍAZ RODRÍGUEZ  
MARIO ALBERTO MORALES SÁNCHEZ

## Introducción

México cuenta con una gran biodiversidad y recursos humanos de alta calidad en las llamadas ciencias de la vida, que hacen no sólo viable la inversión en el sector biotecnológico, sino que, brindan la posibilidad de constituir un enclave de potenciales ventajas competitivas que incentive el crecimiento de sectores vinculados. Cifras de Promexico (2014), indican que, en términos de recursos humanos, México cuenta con más de 142 universidades que, en conjunto, ofrecen 369 programas (en licenciatura y posgrado) en áreas vinculadas con biotecnología. A pesar de ello, no se dispone de información desagregada del sector. De manera específica, para el caso de las empresas productoras de bienes y servicios biotecnológicos, no se cuenta con información de crecimiento, desempeño, conexión con otros sectores, requerimientos, necesidades y capacidades tecnológicas y de innovación.

Dada la escasa existencia de información<sup>1</sup> que permita establecer un diagnóstico adecuado del sector, como preámbulo del presente estudio, se desarrolló *ex profeso* la encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México, en el contexto de la Red temática de Conacyt *Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad*. La encuesta permite obtener información precisa de, por un lado, las características generales –ingresos, ubicación geográfica, productos comercializados, cadena de valor, etc.– de las empresas dedicadas a actividades biotecnológicas en México y, por el otro, de sus capacidades en términos de absorción de conocimiento, vinculación, investigación y desarrollo de productos, entre otros.

## II. Revisión de la literatura

El vínculo entre generación de conocimiento y crecimiento económico ha sido profusamente estudiado desde la teoría económica; a nivel macroeconómico, un antecedente fundamental lo constituye el desarrollo de la teoría de crecimiento endógeno, la cual afirma que la inversión en capital humano, permite generar mayor conocimiento que potencialmente impacta el crecimiento mediante dos vías (Nelson, 2005): primero, a través de modificaciones en la productividad del trabajo, al alterar la función de producción; segundo, mediante el desarrollo de capacidades de absorción y asimila-

1 Si bien, existen fuentes en México que dimensionan aproximadamente el tamaño del sector biotecnológico, como, por ejemplo, ProMéxico, Secretaría de Economía o INEGI –este último a través de la Encuesta Sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET), que cuenta con un apartado específico sobre empresas biotecnológicas– no realizan de manera explícita diferenciación entre las empresas creadoras de biotecnología y las usuarias de esta, por lo que se tiende a sobre dimensionarse el sector e impide contar con una estimación certera de las capacidades tecnológicas reales con que cuenta el país.

ción de nuevo conocimiento, que permite a su vez, la generación de innovaciones y derramas tecnológicas provenientes de las mismas (Romer, 1986; 1990; Mankiw, *et al.*, 1992; Aghion, *et al.*, 1990).

Como se ha planteado anteriormente –véase el primer capítulo de este libro– a nivel microeconómico el vínculo entre conocimiento y crecimiento económico se encuentra mediado por la generación de innovación tecnológica, tal y como lo describe Schumpeter (1944). Para Nelson y Rosenberg (1993), las innovaciones ocurren en proporciones mucho más elevadas en ambientes en donde la generación de conocimiento es alta. De esta forma, la empresa constituye la estructura organizacional en la que primordialmente se llevan a cabo las innovaciones productivas, por lo que las diversas teorías del cambio tecnológico se centran en el desarrollo de la empresa y en las condiciones que la rodean; por ello, se ha puesto especial atención en la idea de que la innovación se lleva a cabo mediante procesos de acumulación, combinación y diseminación de conocimiento dentro y fuera de la empresa, lo que se traduce en la absorción y desarrollo de ciertas capacidades para generar innovaciones (Dosi, Nelson y Winter, 2000). El conocimiento generado por la interacción que las empresas llevan a cabo con otras organizaciones y sus resultados en términos de innovaciones (Cohen y Levinthal, 1994), ocurren de manera más acelerada en entornos en donde hay centros de investigación y desarrollo (I+D), como en universidades y empresas consultoras.

A partir de esa idea, se han desarrollado importantes estudios que analizan la manera en que el conocimiento necesario y complementario para el desarrollo de actividades tecnológicas ocurre en entornos geográficos delimitados. Tal es el caso de estudios en sectores específicos dentro de la actividad industrial, que han permitido realizar nuevas contribuciones teóricas que explican la

manera en la que un sector tecnológico desarrolla un conjunto de actividades –en ocasiones de nueva creación– mediante la generación de economías de escala y la absorción de conocimiento del entorno. Autores como Beccattini (1990), se han centrado en analizar los beneficios externos de la agrupación de conjuntos de empresas en términos de costos, generación de economías de escala y desarrollos tecnológicos.

Contribuciones más recientes, basadas en el estudio de conglomerados industriales, analizan la manera en la que grupos de empresas que comparten tecnologías, procesos, proveedores o desarrollos tecnológicos similares, encuentran ventajas en relacionarse geográficamente (Lee y Song, 2007), para generar impactos sobre grupos de actividades complementarias entre sí. Una consecuencia importante es la atracción de nuevos actores que enriquecen los procesos tecnológicos del conglomerado de empresas establecidas en la misma ubicación geográfica.

Los estudios relacionados con la aproximación teórica antes referida han intentado explicar los impactos que tiene la organización espacial de grupos de empresas sobre la actividad económica, la innovación y otras variables. Estas investigaciones han planteado que son cuatro los principales mecanismos de impacto: *a)* las derramas tecnológicas que las innovaciones tienen sobre la adopción secundaria en grupos de empresas (Wal y Boschma, 2011); *b)* las derramas de tipo financiero que realiza el sector bancario y los gobiernos sobre los conglomerados (Bisang, 1998; Medina, *et al*, 2010); *c)* el flujo constante de conocimiento y tecnología que puede generar impactos significativos en la productividad del trabajo (Casper, 2007; Orsenigo, 2001); y *d)* la matriz institucional, en la que convergen todos los elementos anteriores y los sintetiza en las instituciones que permiten el desarrollo de un ambiente innovador (Escorsa y Pasola, J, 2004).

Estudios recientes que parten de una perspectiva complementaria a la anterior, muestran que la transmisión de los mecanismos descritos no es unidireccional: las organizaciones no sólo tienen impactos en su entorno, sino que, de manera simultánea, se encuentran influenciadas y son transformadas por aquel de forma dinámica. Para el caso específico de las empresas biotecnológicas, los desarrollos más recientes han utilizado la teoría de redes para captar y medir dicha relación dinámica (Cantner, Meder, *et al.*, 2010; Cassi, Morrison, *et al.*, 2012; Powell, White, *et al.*, 2005).

Este enfoque de teoría de redes aborda el fenómeno de la ubicación espacial y su impacto bidireccional sobre el entorno organizacional. Desde esta perspectiva, una red está compuesta por una serie de nodos conectados entre sí. Cada nodo puede estar conectado con una red distinta, de tal manera que dos o más redes pueden estar conectadas por dos o más nodos que producen una interacción entre redes distintas (Yang, Gao y Yang, 2016). Por ejemplo, una empresa no sólo se encuentra inmersa en una red de distribución, sino que mantiene interacciones simultáneas con una red de proveedores y, a su vez, cada nodo de esas dos redes se conecta con sus respectivas redes financieras. Estas redes determinan los recursos funcionales y también las restricciones de la organización, de donde se deduce que, la estructura específica de la red, tiene una influencia determinante en el desempeño de la organización (Andersson, Hohn, *et al.*, 2007). Así, la constitución de estas redes y el entorno en el que se desarrollan, se convierten en factores clave del desarrollo de las capacidades de innovación.

Para el caso específico de la economía mexicana, el estudio del sector biotecnológico es todavía incipiente, si bien existen esfuerzos importantes, como los realizados por Arellano, Chauvet y Viales (2013), en donde se aportan explicaciones de la articulación



de redes socio-técnicas en países como México. Por ello, resulta necesario establecer una radiografía, si bien por su naturaleza, general en principio, de las empresas generadoras de biotecnología en México. A continuación, se describen las principales características de la encuesta.

### **III. Encuesta**

Las diversas técnicas y procesos biotecnológicos, al constituirse en conjunto como un sector económico emergente de desarrollo reciente, presentan dificultades considerables al momento de generar información; por ejemplo, algunas de las técnicas y procesos que lo conforman corresponden a sectores económicos más agregados. Por mencionar sólo un ejemplo, dentro de las estadísticas del SCIAN, la agregación a nivel de subsector dentro del cual se pueden ubicar las actividades biotecnológicas es, Servicios Profesional, Científicos y Técnicos; el siguiente nivel (rama 541) agrupa a las mismas actividades concentradas en Servicios Profesionales, Científicos y Técnicos, y la sub rama (54171) agrupa a los servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería. Al mismo tiempo existen otros subsectores como el de la industria alimentaria, industria química, industria de las bebidas y el tabaco, etc.; en los que existen actividades relacionadas de manera directa con la biotecnología, pero resulta imposible determinar cuántas y cuáles son las empresas que las realizan. En consecuencia, ninguna de las agrupaciones permite identificar de manera exhaustiva a las empresas dedicadas a la producción de biotecnología, por lo que se dificulta el análisis de su desempeño económico como sector.

Dada la dificultad de dimensionar al sector dentro de la estructura estadística nacional, se han desarrollado encuestas y estudios por parte de organismos gubernamentales, como, por ejemplo, ProMéxico (2014), con apoyo de la Secretaría de Economía, que intentan acotar y medir las características particulares de este sector. Si bien el esfuerzo es importante y permite generar información relevante, no logra diferenciar los sectores productores de desarrollos tecnológicos, de aquellos que solo son usuarios o proveedores de servicios. Por ello, la importancia de la generación de información de primera mano que permita dimensionar por separado la producción biotecnológica resulta aún más relevante.

Con el objetivo fundamental de generar información y conocer al mismo tiempo las capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas en México, se desarrolló la *Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología y en México*, la cual permite dimensionar características cuantitativas y cualitativas de las empresas generadoras de biotecnología en México. Esta encuesta se levantó entre septiembre de 2015 y enero 2016 en todo el país, con el objetivo de entrevistar exclusivamente a empresas productoras de biotecnología, excluyendo a aquellas que se dediquen a su uso o comercialización; se excluyeron también las filiales trasnacionales que no desarrollan productos en México. La identificación primaria de las empresas que posteriormente serían encuestadas se hizo a partir de fuentes públicas de información (Conacyt, IMPI y SE) y de algunos directorios publicados con anterioridad. El resultado permite obtener información de 40 organizaciones con representatividad estadística a nivel nacional.<sup>2</sup>

2 Como se establece en el primer capítulo de este libro, de acuerdo con el último dato público proveniente de la OECD, en México existían 154 empresas en 2013. Aún cuando su número se hubiera duplicado para el periodo en que la encuesta fue levantada, una muestra de 40 empresas resulta estadísticamente significativa para los propósitos establecidos en este trabajo.

#### **IV. Distribución de la producción de biotecnología en México**

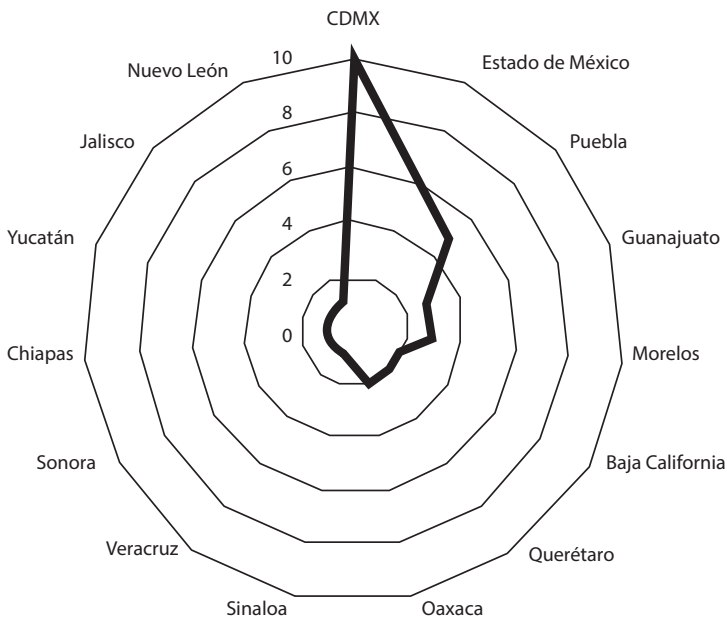
En este apartado se detallan algunas características básicas de las empresas productoras de biotecnología en México mediante la utilización de los datos que resultaron de la encuesta referida. La estadística que se emplea aquí refleja el contexto productivo del sector.

La distribución geográfica de las empresas dentro del territorio nacional permite una primera aproximación de la configuración de los incentivos que operan en el sector. Como se puede apreciar en la Figura 1, las empresas productoras de bienes y servicios biotecnológicos se concentran en los estados con mayor desarrollo económico relativo, la CDMX cuenta con 25% de las empresas del país, seguida del Estado de México con 15% y Puebla con 13%. Una hipótesis que ayuda a comprender esta alta concentración es que las empresas buscan ubicarse en aquellos lugares donde existe una mayor disponibilidad de capital humano especializado en la materia; los tres estados del territorio nacional con mayor número de programas de licenciatura y posgrado de biotecnología son justamente el Estado de México con 90 programas, la CDMX con 74 programas) y Puebla con 72 programas (para una discusión sobre las capacidades científicas y el marco regulatorio de la biotecnología en México véase Morales y Amaro, 2016).

En términos de las áreas en las que se concentra la producción nacional de biotecnología, se observan diferencias significativas con respecto a lo que ocurre en el resto de mundo. Datos de IbisWorld reportan que 50% de la producción de biotecnología en el mundo, la realizan empresas dedicadas a la salud humana, mientras que para el caso de México esa cifra corresponde sólo a 3% de las organizaciones encuestadas. No obstante, como se planteó en el primer

capítulo de este libro, la mayor parte de empresas identificadas por la OECD en México también se encuentran en el área de la salud humana. ¿Cómo explicar esta diferencia? Se debe recordar que una de las condiciones para el levantamiento de la encuesta fue excluir a las empresas filiales que no producen tecnología en el país; por lo que cabe esperar que la mayoría de las empresas biofarmacéuticas que operan en México presentan esta característica. En contraste, la mayor área de producción doméstica de las empresas encuestadas se vincula con cultivos en general (35%).

**Figura 1. Distribución de las empresas productoras de biotecnología en México**

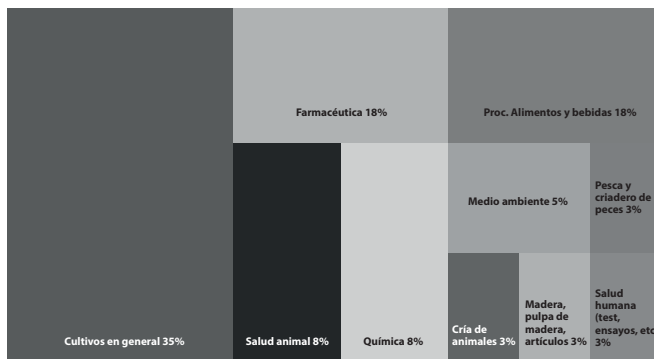


Fuente: elaboración propia con base en Encuesta de actividades biotecnológicas en empresas.

## V. Metodología

En las últimas décadas la aplicación de la teoría de redes en las ciencias sociales ha cobrado gran importancia debido a que a partir de dicha teoría se pueden analizar relaciones e interdependencias existentes entre conjuntos de datos, por ejemplo, países, individuos, empresas, sectores económicos, campos semánticos. El análisis de redes en la ciencia económica ha sido poco explorado; sin embargo, en los últimos años ha tenido un importante auge debido a que, este tipo de análisis cualitativo permite visualizar de manera sencilla, estructuras complejas, por ejemplo, el diseño institucional y funcional de un sector o de una economía. En el análisis de una red se considera la estructura de las relaciones en las que cada actor (nodo) se encuentra involucrado; estos actores o nodos se describen a través de sus conexiones; las cuales, en caso de que sean relevantes para la estructura de los nodos, se muestran en relación con dicha relevancia (Salomé, 2003). Así, el análisis en

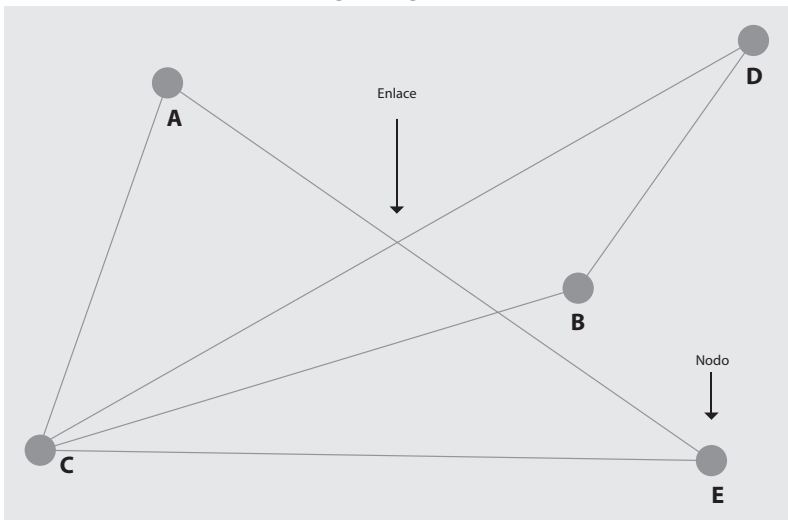
**Figura 2. Áreas de producción de las empresas productoras de biotecnología**



Fuente: elaboración propia con base en *Encuesta de actividades biotecnológicas en empresas*.

red o grafos, se centra en las relaciones entre entidades y no en las entidades por sí mismas. De forma sintética, una red es un conjunto de puntos que están unidos mediante enlaces –líneas o aristas– a partir de una regla de asociación, la cual indica cómo se relacionan los nodos (Mitchell, 2009) .

**Figura 3**  
Diagrama general de red



Fuente: elaboración propia con base en Mitchell, 2009.

Una red se puede denotar de manera estándar de la forma:

$$G = (N, E) \dots (1)$$

Donde  $N$  es el conjunto de nodos y  $E$  es el conjunto de enlaces. Por lo tanto, la Figura 1 está compuesta por 5 nodos y 6 enlaces que, que pueden ser expresados como:

$$N = [A,B,C,D,E] \quad (2)$$

$$E = \{(A,C), (B,C), (C,D), (C,E), (D,B), (E,A)\} \quad (3)$$

Una manera alternativa de representar la relación descrita mediante la red de la Figura 1, es con una matriz  $W$  conocida como matriz de adyacencia o binaria, misma que se encuentra conformada por ceros y unos. En esta matriz  $W$ , se representan los nodos en las filas y columnas. Si el elemento  $i$  está enlazado al elemento  $j$  entonces los elementos  $W_{ij}$  y  $W_{ji}$  tendrán el valor de 1. En caso contrario, si el vínculo es inexistente, el componente de la matriz tendrá un valor de cero; lo anterior, tiene la implicación inmediata de que la matriz de adyacencia es simétrica; tiene el mismo número de filas que de columnas.

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ si } i, j \text{ están enlazados} \\ 0, \text{ si } i, j \text{ no están enlazados} \end{cases} \quad \dots (4)$$

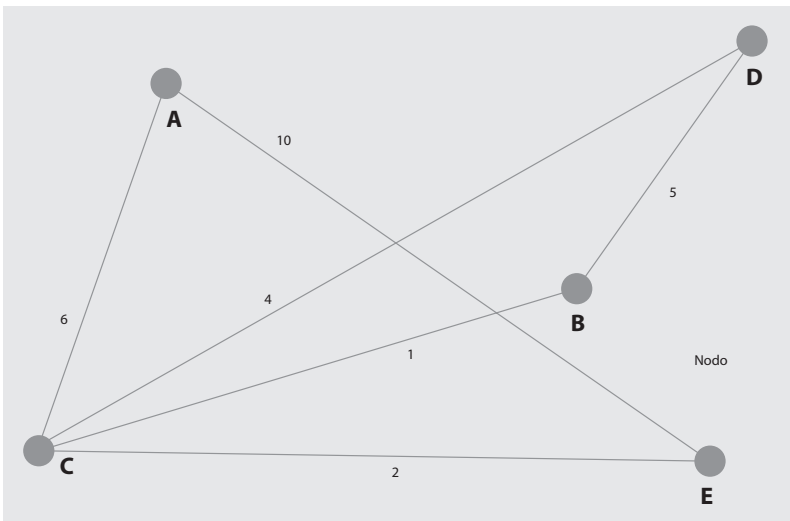
$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

$$W_{ij} = W_{ji} \quad \dots (6)$$

Un tipo distinto de análisis de redes puede establecerse mediante las redes ponderadas o grafos ponderados. Este tipo de análisis muestra los enlaces de manera valuada o ponderada (Newman, 2010). Dichos enlaces llevan asociados una intensidad, representada por un valor numérico; entre mayor sea la intensidad de la asociación, mayor será también la representación, medida en anchura, del vínculo entre los nodos. Una representación de lo anterior, se muestra en la figura 2.

El grosor de los enlaces de la Figura 2 muestra la intensidad de la relación que existe entre dos nodos. La representación matricial de la red anterior es:

**Figura 4**  
**Representación de nodos y enlaces**



Fuente: elaboración propia con base en Mitchell (2009).

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 6 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 1 & 5 & 0 \\ 6 & 1 & 0 & 4 & 2 \\ 0 & 5 & 4 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots (7)$$

Para conocer la importancia que el nodo tiene en relación a otros, se calcula el volumen de asociación a partir del número de enlaces; a este cálculo se le conoce como centralidad de grado. Esta medida



es la más simple, y mide el número de conexiones que un nodo tiene con otros. Al nodo que tiene la mayor cantidad de vecinos se le conoce como “hub”. La centralidad de grado es un indicador local y estático, que sólo considera a los vecinos directos de un nodo.

De esta forma, para establecer la medida de centralidad de grado, se calcula la matriz de adyacencia mostrada en la ecuación 8 (Wasserman & Faust, 1994).

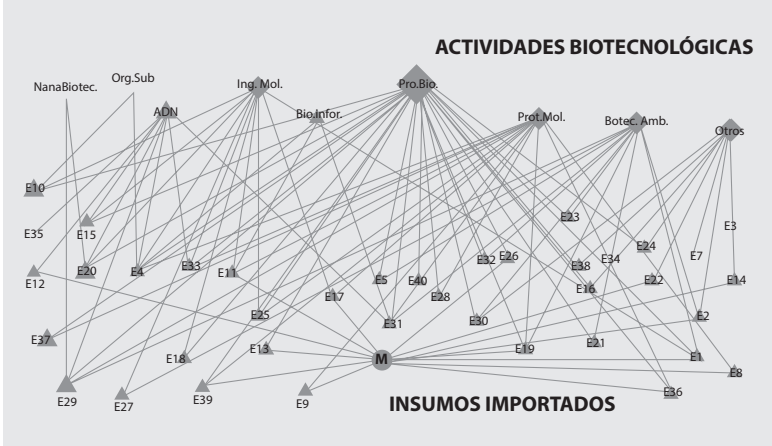
$$D_c = \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^n x_{ji} \quad \dots (8)$$

## VI. Resultados

El presente estudio analiza la estructura en términos de conexiones, fuentes de conocimiento, financiamiento, y tipo de producción de las empresas productoras de biotecnología en México; en síntesis, se presenta una primera estructura, aun incipiente, de la matriz institucional del sector biotecnológico en México; para ello, se utilizan los datos provenientes de la *Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México*. Con base en los datos obtenidos, se realizó un análisis de redes con la finalidad de visualizar y analizar las interrelaciones que tienen las empresas biotecnológicas con las características que las componen; de esta forma, se estudian las conexiones existentes entre los distintos tipos de producción de bienes y servicios biotecnológicos, las capacidades de absorción de las empresas productoras, las fuentes de financiamiento y el nivel de especialización de los trabajadores partiendo de la teoría de grafos.

La figura muestra mediante teoría de redes, la totalidad de empresas encuestadas en relación a su tipo de actividad -tipo de producción biotecnológica- y su dependencia de insumos importados. El tamaño de la esfera de actividades biotecnológicas de-

**Figura 5**  
**Actividades biotecnológicas de las empresas**  
**y empresas con productos importados**



Fuente: elaboración propia con base a los datos obtenidos en Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México.

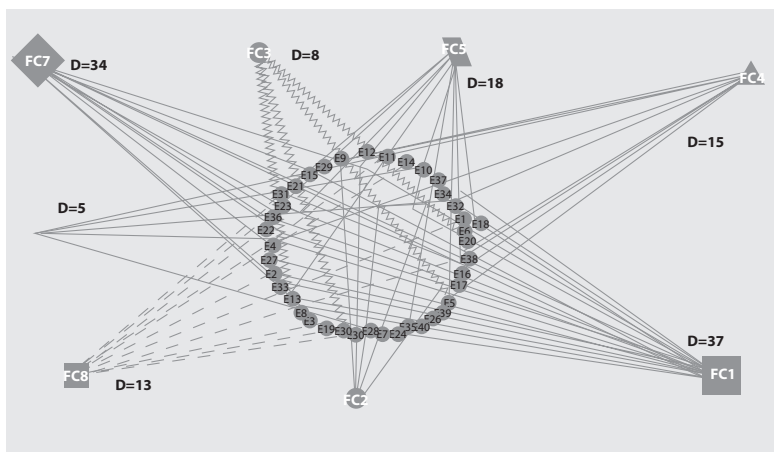
sarrolladas –rombos– determina el número de conexiones de esa actividad con los nodos. Como se puede apreciar, procesos biotecnológicos<sup>3</sup> (*Proc. Bio*) es la actividad a la que una mayor cantidad de empresas se dedican; en segundo término y con igual número de conexiones, producción de proteínas moleculares (*Prot. Mol*) biotecnología ambiental (*Biotec Amb*) e ingeniería ambiental (*Ing. Amb*). Es importante destacar que la mayor parte de las empresas desarrollan más de una actividad biotecnológica, lo que significa que estas empresas expanden su desarrollo de productos hacia diversos sectores económicos, lo cual produce un efecto positivo de arrastre hacia el resto de la economía. Por otro lado, el nodo *M* es una representación que corresponde al “apetito” del sector biotecnológico mexicano de insumos importados, es decir, el porcentaje

3 Procesos Biotecnológicos incluye Biorreactores, Fermentación (excluyendo cerveza, pan, queso y yogurth), Bioprocesamiento, Biolixiviación, Biopulpa, Bioblanqueo, Biodesulfurización, Biorremediación y Biofiltración.

de insumos provenientes del exterior, utilizados para desarrollar los principales productos biotecnológicos de la empresa; lo que se observa es una característica importante, a saber: una baja dependencia de insumos importados de las organizaciones; solo 35% de las empresas requieren insumos del exterior, y ello representa un volumen aún más bajo de importaciones/producto, si se considera que dichas empresas desarrollan cuando más, dos actividades tecnológicas, equivalentes a 24% del valor de la producción del sector.

La red mostrada en la Figura 6, calcula la centralidad de grado que tienen las fuentes de conocimiento que las organizaciones identifican como las más importantes. El nodo FC1, que representa

**Figura 6**  
**Capacidades de absorción; fuentes de conocimiento<sup>1</sup>**



Fuente: elaboración propia con base a los datos obtenidos en Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México.

<sup>1</sup> FC1: Tecnología desarrollada en esta empresa, FC2: Otras empresas del grupo, FC3: *Joint Ventures*, FC4: Proveedores de máquinas, equipamientos, materiales, insumos, componentes, FC5: Empresas de consultoría o consultores independientes, FC6: Licencias, FC7: Cooperación con institutos tecnológicos y universidades, FC8: Otras.

a las tecnologías desarrolladas al interior de las propias empresas, tiene la mayor cantidad de enlaces; lo que significa que 92.5% de las empresas desarrollan su propia tecnología. En segundo lugar, el nodo FC7, que representa la obtención de conocimiento mediante la cooperación con institutos tecnológicos y universidades, cuenta con 34 enlaces, lo que significa que 82.5% de las organizaciones obtienen conocimiento mediante esta vía.

El nodo FC5 que corresponde a empresas de consultoría o consultores independientes, con centralidad de grado 18 es, en términos de importancia, la tercera fuente de conocimiento de las empresas productoras de biotecnología.

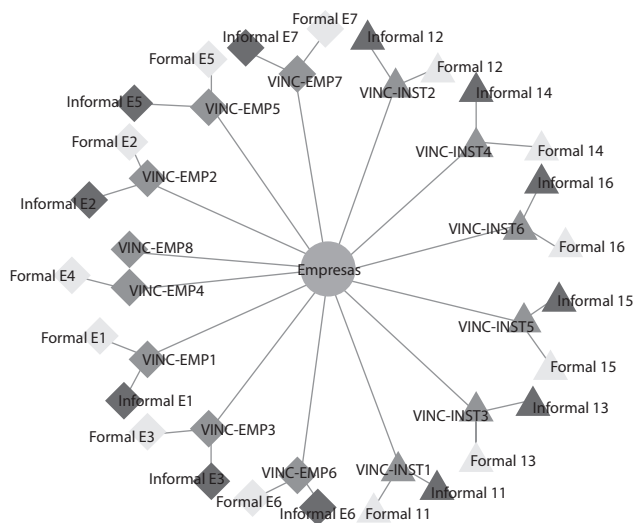
Una característica importante de la capacidad de generación de conocimiento de las organizaciones del sector, es que más de 87% de las empresas absorben conocimiento de dos o más fuentes, teniendo la mayoría tres o más fuentes de conocimiento. Ello muestra la importancia que tiene para el sector la absorción de conocimiento proveniente de los vínculos con el entorno. En otros términos, el sector biotecnológico en México tiene como principal fuente de conocimiento la investigación desarrollada *indoor*; sin embargo, su capacidad para innovar, depende fuertemente de los vínculos de conocimiento que establece con su ecosistema; entre mayor es el número de fuentes de conocimiento que las empresas tienen, mayores son los proyectos de innovación que desarrollan.

La generación y absorción de conocimiento no son las únicas formas en las que las empresas se vinculan; también, establecen estrategias de cooperación, financiamiento, *joint ventures*, y otras formas de asociación, con organizaciones del sector, o bien, con institutos de ciencia y tecnología; el tipo de arreglos institucionales mediante los cuales las empresas se vinculan, no son de naturaleza única; las más de las veces, los arreglos se constituyen con organizaciones que poseen características distintas, que complementan

aquellas propias de la organización. Esos arreglos, pueden establecerse mediante contratos a través de los cuales se reglamenta el vínculo cooperativo, o bien, mediante normas informales que orientan las conductas y formas de vinculación de la empresa (North, 1994). Así, tanto los vínculos formales como los informales determinan la estructura institucional y con ella, los incentivos de las empresas para vincularse, absorber conocimiento del entorno y generar innovación.

La Figura 7 muestra la forma específica en la que se vinculan, formal e informalmente, las organizaciones productoras de bienes y servicios biotecnológicos en México. En el centro, en la esfera em-

**Figura 7**  
**Matriz de institucional de vinculación**  
**del sector Biotecnológico en México**



Fuente: elaboración propia con base a los datos obtenidos en Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México.

presas, se encuentra la totalidad de empresas del sector. Del lado izquierdo en forma de rombos, los acuerdos que se establecen con otras empresas del sector y del lado derecho en forma de triángulo, los vínculos establecidos con instituciones de ciencia y tecnología; tales como centros de investigación públicos, instituciones gubernamentales y universidades. Las distintas tonalidades de gris para las figuras de rombo, muestran si los acuerdos entre empresas son establecidos de manera formal o informal, y las tonalidades de gris para las figuras en triángulo, indican si los acuerdos con instituciones son formales o informales. En cada caso, el grosor de la línea de enlace, representa el número de vínculos establecidos. Como se puede apreciar, la mayor cantidad de vínculos de las empresas biotecnológicas en México se establecen con instituciones de ciencia y tecnología, en su mayoría, vínculos formales de colaboración. Ello también da cuenta de la manera que las empresas absorben conocimiento del entorno y de la importancia indirecta de los recursos públicos invertidos en instituciones que derraman conocimiento hacia el sector productor.

Una mucho menor cantidad de acuerdos de cooperación, se establecen entre las empresas dedicadas a esta actividad, casi en su totalidad, acuerdos de naturaleza formal con reglas de colaboración establecidas.

El tipo de convenios de colaboración, que emana de la red de la Figura 7, se desglosa en la Tabla 1; en ella es posible apreciar que 60% de los convenios –formales o informales– se realiza con instituciones y centros públicos de investigación.

Los acuerdos establecidos con empresas, se realizan principalmente para realizar comercialización de productos, más que para generar vínculos de innovación o absorción de conocimiento –capacitación de empleados–; lo anterior denota débiles vínculos entre empresas del sector, probablemente por desconfianza en el

establecimiento de los derechos de propiedad.

Los vínculos realizados con instituciones de investigación públicas representan 60% del total y se distribuyen de manera más homogénea, todos se encuentran relacionados con el desarrollo de capacidades endógenas para las empresas, lo que no está de más plantear nuevamente, es un indicador de la importancia indirecta que en términos de derramas tiene el sector público para el desarrollo de empresas biotecnológicas.

Por último, la Figura 8 muestra la estructura de las fuentes de financiamiento de los proyectos de innovación. Esta estructura de red es conocida como red ponderada y permite observar, no

**Tabla 1**  
**Distribución de tipo de convenios**  
**con empresas e instituciones públicas**

Tipo de convenios establecidos por empresas del sector	Distribución porcentual de convenios %
<b>Empresas</b>	41
Capacitación de empleados	5
Comercialización	16
Licenciar nuevas tecnologías	2
Obtener inversiones	4
Realización de procesos de innovación	5
Uso de equipo de investigación (laboratorios, etc)	5
Uso de equipos en la producción (maquinaria, etc.)	4
<b>Instituciones</b>	59
Capacitación de colaboradores o contratación de investigadores	12
Compartir infraestructura	12
contratación de servicios especializados	13
Cursos/seminarios	9
Desarrollo conjunto de productos o procesos	14

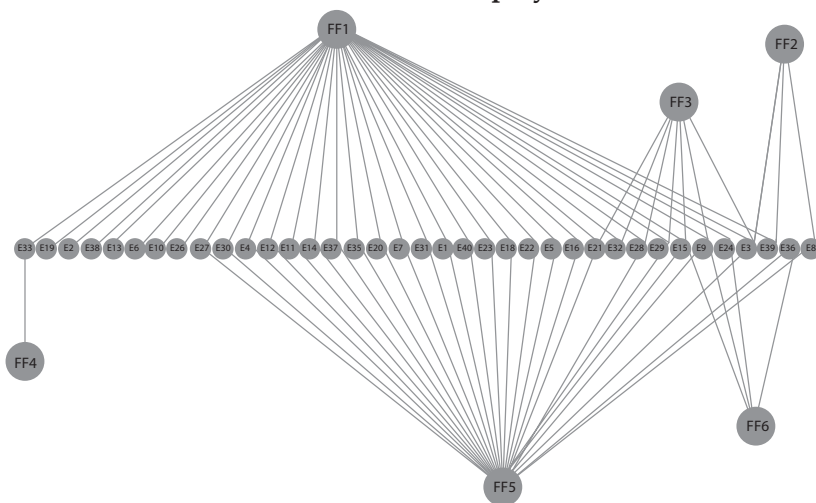
Fuente: elaboración propia con base a los datos obtenidos en Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México.

sólo la cantidad de enlaces con los que cuenta una red, sino también la intensidad de esos enlaces. Como se puede apreciar, la principal fuente de financiamiento son los recursos obtenidos de la propia empresa, lo que limita la generación de proyectos de innovación al volumen de ganancias que estas mismas son capaces de generar. Así, el nodo FF1, que representa el financiamiento propio, es la forma de obtención de recursos más usual en las empresas del sector; de manera adicional, el grosor de la conexión indica que, del total de financiamiento recibido por empresa, esa forma particular es la de mayor peso; en promedio, más de 67% del financiamiento para proyectos de innovación, es realizado con recursos de las propias empresas.

Por su parte, los programas públicos y el financiamiento (nodo FF5), también juegan un papel estratégico en el desarrollo de la innovación de las empresas biotecnológicas; la red muestra que un porcentaje relativamente alto de las inversiones en innovación proviene de esta fuente. Se destaca también la prácticamente nula participación del financiamiento del sector bancario en los proyectos de innovación (nodo FF3) y, por lo tanto, la escasa contribución del sector bancario y financiero para el crecimiento del sector.



**Figura 8**  
**Fuentes de financiamiento de los proyectos de innovación<sup>4</sup>**



Fuente: elaboración propia con base a los datos obtenidos en Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México.

Como se planteó en el primer capítulo de este libro, el capital proveniente del sector financiero es una de las formas de mayor estímulo para el desarrollo de actividades económicas en sectores intensivos en conocimiento, particularmente en el caso de la biotecnología ha sido de vital importancia la cooperación entre instituciones financieras y empresas. No obstante, en el caso de México, el financiamiento del sector público juega un papel central como fuente de financiamiento externo para el desarrollo productivo.

4 FF1: Propia empresa, FF2: Recursos de otras empresas del grupo, FF3: Bancos, FF4: Otras fuentes privadas, FF5: Programas públicos, FF6: Otros.

Aunque el financiamiento público puede ser de gran ayuda en las fases tempranas de desarrollo biotecnológico, la experiencia a nivel internacional muestra que el desarrollo del sector requiere un vínculo muy sólido entre nuevas empresas y la participación del sector financiero/bancario para financiar proyectos de mayor alcance tecnológico. En México ese vínculo no existe, en parte porque el sector bancario o no encuentra rentable la canalización de recursos a ese sector, o bien, considera la existencia de un riesgo alto en los proyectos de innovación biotecnológica. Una política pública que contribuya a percibir menores riesgos de inversión en el sector, o a otorgar incentivos fiscales a los bancos que financien proyectos biotecnológicos, podría canalizar más recursos entre distintas esferas del sector privado.

Otra alternativa de impulso al sector, pudiera ser el financiamiento selectivo a aquellas empresas que demuestren que su actividad innovadora es recurrente y de alto impacto; ello alentaría que esas capacidades –ya existentes en las firmas–, se dinamicen y generen derramas al resto de la industria, acelerando así su desarrollo.

## Conclusiones

Este estudio analiza la estructura del sector productor de biotecnología en México con datos de una encuesta que, a diferencia de las estadísticas oficiales, permite dimensionar la actividad productora del sector mediante la *Teoría de grafos o redes*. Ello, permite establecer una radiografía inicial del diseño de la matriz institucional de la industria de biotecnología en México; por lo tanto, constituye una primera aproximación para el diseño de políticas públicas para el sector.

Es el grado de vinculación con otras empresas e instituciones, así como la capacidad de relacionarse y establecer redes organizacionales, como se podría contar con un número amplio de fuentes de conocimiento, lo que determina, en última instancia, la capacidad de innovar en el sector biotecnológico. La construcción de una estructura específica de redes entre las organizaciones, determinará los recursos funcionales, las restricciones de la organización, y la capacidad para el desarrollo de soluciones innovadoras.

Por lo anterior, la presente investigación constituye un primer acercamiento al diseño institucional del sector, en términos de capacidades de absorción, fuentes de financiamiento, tipo de vínculos de cooperación, productos desarrollados y comercializados y procedencia de los insumos requeridos para su producción.

Los resultados muestran que las empresas productoras de biotecnología en México encuentran su principal nicho de mercado en el desarrollo de procesos biotecnológicos, tales como Bioprocesamiento, Biolixiviación, Biopulpa, Bioblanqueo, entre otros. A diferencia de lo que ocurre con otros sectores, la demanda de insumos importados es relativamente baja, lo que implica que su generación de valor agregado como porcentaje de las ventas totales es alta.

El sector público tiene una importancia fundamental para la producción privada de biotecnología; ello se hace tangible mediante distintos canales de transmisión; el primero de ellos, el financiamiento público –escasamente otorgado por los bancos– a proyectos de innovación dentro del sector. El segundo, a través del conocimiento que *derrama* mediante acuerdos formales establecidos con universidades y centros públicos de investigación.

Dadas estas características, las instituciones públicas tienen

una importancia fundamental para el desarrollo del sector privado de biotecnología, con un canal de transmisión, enteramente visible en el desarrollo de capacidades endógenas del sector. De los convenios –formales o informales– 60% se realizan por parte de las empresas del sector privado con este tipo de instituciones. Son principalmente acuerdos que permiten el desarrollo de capacidades de absorción y fomentan la innovación –capacitación, cursos, desarrollo conjunto de procesos, compartir infraestructura–.

En términos del desarrollo de capacidades endógenas, como la capacidad del sector para absorber conocimiento, así como el estudio, aporta evidencia de que son dos las principales fuentes de generación de conocimiento en el sector; la primera, el conocimiento producido a partir de las investigaciones *indoor* y la segunda, la vinculación con institutos y centros públicos de investigación. El conocimiento generado mediante consultorías o consultores independientes, constituye una fuente lejana de apoyo para generar conocimiento aprovechable para las empresas productoras.

El estudio muestra que la mayor parte de los acuerdos y vínculos del sector, se realizan dentro de un ámbito de formalidad, con reglas y lineamientos claros para las partes que participan; cuando ello ocurre, los costos de transacción tienden a ser menores que en condiciones de informalidad e incertidumbre.

El análisis realizado, permite pre configurar una línea general de política pública que coadyuve con el desarrollo del sector; en esa dirección, las estrategias de política deberían apuntalar distintos elementos de acuerdo con la estructura aquí mostrada; el primero de ellos debe ser el incentivar un mayor financiamiento del sector bancario y financiero a proyectos de innovación biotecnológica. De manera paralela, el apoyo focalizado a empresas ya innovadoras, podría acelerar el proceso de desarrollo del sector.

Por último, dada la importancia que las universidades y centros públicos de investigación tienen como fuente de generación de conocimiento para las empresas productoras de biotecnología, una política de colaboración y transferencia de capital humano podría coadyuvar con desarrollo del sector.

## Referencias

- Aghion, P., & Howitt, P. (1990), *A model of growth through creative destruction* (No. w3223), National Bureau of Economic Research.
- Andersson, U., Hohn, D. B., et al. (2007), Moving or doing? Knowledge flow, problem solving, and change in industrial networks. *Journal of Business Research*, 60(1), 32-40.
- Arellano, A, Chauvet, M. y Viales, R. (coords.). (2013), *Redes y estilos de investigación. Ciencia, tecnología, innovación y sociedad en México y Costa Rica*. México: Porrúa/UAM-A/UAEM.
- Becattini, G. (1990), *The Marshallian industrial district as a socio-economic notion. Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy* (pp. 37-51).
- Bisang, R. (1998), Apertura, reestructuración industrial y conglomerados económicos. *Desarrollo económico*, 143-176.
- Cantner, U., Meder, A., et al. (2010), Innovator networks and regional knowledge base. *Technovation*, 30(9-10), 496-507.
- Casper, S. (2007), How do technology clusters emerge and become sustainable? Social network formation and inter-firm mobility within the San Diego biotechnology cluster. *Research Policy*, 36(4), 438-455.

- Cassi, L., Morrison, A., et al. (2012), The evolution of trade and scientific collaboration networks in the global wine sector: A longitudinal study using network analysis. *Economic Geography*, 88(3), 311-334.
- Escorsa Castells, P., & Pasola, J. V. (2004), *Tecnología e innovación en la empresa* (Vol. 148). Univ. Politèc. de Catalunya.
- García Muñoz, A. S., & Ramos Carvajal, C. (2003), Las Redes Sociales como Herramienta de Análisis Estructural Input-Output. *Redes: Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 4.
- Lee, Y. G., & Song, Y. I. (2007), Selecting the key research areas in nano-technology field using technology cluster analysis: A case study based on National R&D Programs in South Korea. *Technovation*, 27(1-2), 57-64.
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992), A contribution to the empirics of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 107(2), 407-437.
- Marshall, A. (2004), *Principles of economics* (Digireads.com).
- Medina Giacomozzi, A., Gallegos Muñoz, C., Sepúlveda Labra, E., & Rojas Caridi, S. (2010), Relación entre las estrategias corporativas de crecimiento y financiamiento de los grupos económicos en Chile. *Cuadernos de Administración*, 23(41).
- Mitchell, M. (2009), *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press.
- Morales, M. Alberto y Marcela Amaro (2016), “panorama general de la biotecnología en México y el mundo” en Daniel Villavicencio (coord.) *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*. México: UAM-Xochimilco-IDRC-ITACA, pp. 20-49.
- Nelson, R. (2005), *Technology, institutions and economic growth*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

- Nelson, R. R., & Rosenberg, N. (1993), *Technical innovation and national systems. National innovation systems: A comparative analysis*, 322.
- Newman, M. (2018), *Networks*. Oxford University Press.
- North, D. C. (1994), El desempeño económico a lo largo del tiempo. *El Trimestre Económico*, 61(244 (4)), 567-583.
- Orsenigo, L., Pammolli, F., & Riccaboni, M. (2001), Technological change and network dynamics: lessons from the pharmaceutical industry. *Research policy*, 30(3), 485-508.
- Powell, W. W., White, D. R., Koput, K. W., & Owen-Smith, J. (2005), Network dynamics and field evolution: The growth of interorganizational collaboration in the life sciences. *American Journal of Sociology*, 110(4), 1132-1205.
- ProMéxico, (2014), *Biotecnología*, Secretaría de Economía, Primera Edición.
- Romer, P. M. (1986), Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- (1990), Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- Schumpeter, J. A., & Arrastre, P. (1944), *Teoría del desenvolvimiento económico: una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. Sección de Obras de Economía.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994), *Social Network Analysis: Methods and Applications* (Vol. 8). Cambridge University Press.
- Yang, Z., Gao, S., & Yang, J. (2016), Emergence of biotechnology clusters: How prior structure affects formation of technology connections in Boston and San Diego from 1979 to 2006. *The Journal of High Technology Management Research*, 27(1), 21-36.

# CAPACIDADES Y DESEMPEÑOS DE INNOVACIÓN EN EMPRESAS BIOTECNOLÓGICAS DE MÉXICO

RUBÉN OLIVER ESPINOZA  
FEDERICO ANDRÉS STEZANO PÉREZ

## Introducción

Este trabajo propone un estudio de la innovación de empresas nacionales de biotecnología, a partir de sus capacidades –de innovación, productivas, de absorción, de gestión y tecnológicas–, con los datos de la “Primera encuesta a empresas desarrolladoras de biotecnología en México” del año 2015.<sup>1</sup>

- 1 El objeto de estudio es el sistema de productivo y de CTI asociado a la biotecnología, con énfasis en el enfoque de sistemas de innovación, cadena de valor y procesos de cooperación entre actores del sector biotecnológico. Para ello se adoptó como unidad estadística y de relevamiento a las empresas de biotecnológicas (Gutman y Lavarello, 2013; Bianchi, Stezano y Torres, 2014) en un cuestionario aplicado a 53 empresas en el año 2015, en la confluencia de cuatro proyectos grupales de investigación. Se trata de los siguientes proyectos de investigación: i) proyecto de investigación PAPIIT “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano”; ii) Red Temática Conacyt Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad; iii) Red BIO América Latina, formada por investigadores de grupos de investigación de Argentina, Brasil, Uruguay, Cuba y México; iv) el proyecto de investigación Ciencia Básica SEP-Conacyt “Relevamiento de actividades de empresas de biotecnología en México”.



En particular, interesa analizar proposiciones ya indagadas en la literatura internacional en relación al modo en que distintos tipos de capacidades determinan el desempeño empresarial en el sector biotecnológico, pero que son novedad en el contexto mexicano. Entre otro tipo de proposiciones, autores previos han indagado sobre las siguientes relaciones con datos al nivel de empresa: *a*) tipos de innovación y tipo de interacciones de conocimiento (Tödtling, Lehner y Kaufmann, 2009); *b*) capacidades de innovación y estrategias de I+D (Woertes, 2011); *c*) capacidad de emprendimiento de la empresa, orientación al aprendizaje y estrategias de I+D e innovación (Wu, 2013; Brannbacka, Carsrudb, Renkoc, Stermark, Aaltonen y Kiviluoto, 2009); *d*) actores y productos de innovación en biotecnología (Kang y Park, 2012); *e*) trayectorias tecnológicas, orientación al mercado y esquemas de toma de riesgo (Kirkman y Oglivie, 2014; De Luna, Verona y Vicari, 2010); *f*) trayectorias tecnológicas, conocimiento interno de la empresa, estructura organizacional y alianzas estratégicas (Zhang, Baden-Fuller y Mangematin, 2007; *g*) orientación hacia el mercado, del emprendurismo y capacidades tecnológicas en innovación (Renko, Carsrud y Brannback, 2009).

La literatura asume las mediciones de capacidades como un *proxie* de los desempeños en innovación y del grado de avance en relación a las actividades socioproductivas de cierto campo de conocimiento o sector tecnológico de un país o región dada. Sin embargo, las nociones de capacidades siguen estando restringidas al conocimiento y a la adquisición, uso, adaptación, mejora, generación y comercialización de nuevas tecnologías: habilidades más técnicas y económicas que político-institucionales.

Con este fin, el esquema analítico propuesto en el trabajo evalúa las capacidades de ciencia, tecnología e innovación (CTI) para vincularlas a las explicaciones desarrolladas en torno a la no-

ción de capacidades. Una mayoría de investigaciones sobre CTI se han centrado en analizar productos y procesos tecnológicos. Dentro de este argumento, las empresas tienen éxito cuando pueden desarrollar sus destrezas de absorción y tecnológicas (Cohen y Levinthal, 1990; Lall, 1992).

En este marco analítico y temático, el trabajo propone determinar la influencia que tienen distintos tipos de capacidades de las empresas sobre su probabilidad de innovar, entendida a partir de la introducción de nuevos productos biotecnológicos al mercado en los últimos cinco años.

*El trabajo presenta el siguiente orden*

La primera sección desarrolla el marco teórico-conceptual del trabajo, con especial interés en las nociones de regímenes, trayectorias y paradigmas tecnológicos, todas con particular atención a las dinámicas del sector biotecnológico. La segunda sección describe las dinámicas cognitivas, tecnológicas y de competencia del paradigma biotecnológico y, seguidamente, el funcionamiento del sistema sectorial de innovación biotecnología en México. La tercera sección articula el análisis de las capacidades y desempeños de innovación de las empresas biotecnológicas realizado. Se enfatiza la propuesta de categorización y agrupación en tipos de capacidades –productivas, de gestión, de absorción y tecnológicas– de las actividades de I+D+i relevadas de las cuales se derivan el sistema de hipótesis de investigación de nuestro modelo. La cuarta sección presenta el análisis estadístico realizado a través de un modelo *logit* que propone buscar los factores causales en términos de capacidades de la empresa que influyen –o no– sobre la probabilidad que la empresa innove, esto es, que haya introducido al mercado nuevos productos biotec-

nológicos en los últimos cinco años. Se sintetizan aquí los resultados obtenidos desde una perspectiva que, con fundamento en la teoría, parte del supuesto de que la innovación se relaciona con las capacidades que operan las empresas. Esto permite reflexionar sobre los vínculos entre capacidades, desempeño innovador, paradigmas y trayectorias, oportunidades tecnológicas y dinámicas de relacionamiento entre actores y esquemas de inserción en CV del sector biotecnológico. Las conclusiones retoman los principales resultados de la sección precedente y orienta posibles puntos críticos y estructurales de debates en torno a las posibilidades de cambio estructural en la economía nacional y las latinoamericanas desde medidas de políticas productivas, industriales y de CTI.

*Esquema teórico-conceptual: regímenes,  
trayectorias y paradigmas tecnológicos*

Este trabajo adopta una perspectiva que estudia la naturaleza del cambio tecnológico, atendiendo al carácter sectorial de estos procesos cognitivos, organizacionales e innovadores interrelacionados. Principalmente desde los conceptos de regímenes, trayectorias y paradigmas tecnológicos y diseños dominantes (Cimoli y Dosi, 2005: 245).

En primer lugar, el concepto de trayectorias tecnológicas busca explicar patrones dinámicos del cambio tecnológico que distinguen a los sectores. La trayectoria tecnológica se define como el patrón de actividad de resolución de problemas –heurísticas– en el marco de un paradigma tecnológico. La noción supone que, una vez que se selecciona y establece un sendero de desarrollo, éste asume una dinámica propia que define las potenciales direcciones de estas heurísticas (Dosi, 1982: 152).

La definición de paradigmas tecnológicos es punto analítico de partida para comprender la noción de trayectorias. El concepto de paradigmas implica tres ideas sobre la tecnología: *a)* una definición respecto a qué es tecnología y cómo sus cambios también implican la representación de las formas específicas de conocimiento en el cual se basa una actividad particular; *b)* una heurística específica y visiones de cómo hacer las cosas y mejorarlas que implican marcos cognitivos colectivamente compartidos y *c)* modelos de artefactos y sistemas que, a lo largo del tiempo, se modifican y mejoran y que poseen ciertas características técnicas y económicas (Cimoli y Dosi, 1995: 245-246).

Dos supuestos centrales son inherentes al concepto de trayectorias tecnológicas: la existencia de procesos de dependencia de sendero (*path-dependence*) y la existencia de un carácter sectorial de la innovación. Los procesos de acumulación tecnológica se presentan así limitados por paradigmas tecnológicos y dependientes de ciertas trayectorias tecnológicas (Castellaci, 2007).

El concepto de paradigma tecnológico funciona como mecanismo explicativo respecto al modo en que ciertas tecnologías –en ciertos estadios de su desarrollo–, determinan oportunidades y límites a la innovación (Pavitt, 1984). Desde la idea de paradigma es así posible enfatizar el desarrollo dinámico de un sistema tecnológico, atendiendo a elementos como el potencial de crecimiento de tecnologías radicales cuya explotación adopta ciertas trayectorias en distintos sectores tecnológicos (Castellaci, 2007).

La propuesta de Dosi (1982: 154) plantea al paradigma tecnológico como un concepto paralelo al de paradigma científico de Kuhn (2013): asume que la trayectoria tecnológica es la forma normal de la actividad de resolución de problemas determinada por un paradigma. En este contexto, las trayectorias tecnológicas establecidas

no se abandonan hasta que ciertas anomalías cuestionen la utilidad de tecnologías y procesos productivos guiados por heurísticas de decisión que funcionaron en el pasado (Teece, 2008: 510).

La noción de trayectorias tecnológicas se asocia con la realización progresiva de las oportunidades tecnológicas asociadas a cada paradigma que, en inicio, puede ser medido en términos de cambios de las características tecno-económicas fundamentales de los artefactos y procesos productivos. Tres ideas son constitutivas del concepto de trayectorias tecnológicas. Primero, cada paradigma limita y constriñe las tasas y la dirección del cambio tecnológico por sobre los incentivos del mercado. Segundo, como consecuencia de lo anterior, pueden observarse regularidades e invariabilidad en el patrón del cambio técnico, aún bajo distintas condiciones de mercado. Las disrupciones observadas en todo caso están correlacionadas con cambios radicales en las bases de conocimiento (o paradigmas). En tercer lugar, el cambio tecnológico es parcialmente orientado por repetidos intentos para enfrentar desequilibrios tecnológicos que la misma tecnología crea (Cimoli y Dosi, 1995: 246).

En este contexto, las perspectivas sectoriales de la innovación buscan diferenciar las estructuras de mercado y dinámicas tecnológicas en las actividades de innovación de los distintos sectores (Malerba, 2004: 17-19). Ante la emergencia y difusión de un nuevo paradigma tecnológico en un sistema económico, las respuestas de las industrias difieren en la medida en que son capaces de explotar las trayectorias tecnológicas imperantes en ese paradigma. Tales diferencias permiten explicar la subida y la caída de diferentes sectores industriales y tecnologías (Nelson y Winter, 1977: 60).

El enfoque de sistemas sectoriales de innovación se apoya en estas concepciones del cambio tecnológico sustentadas en los conceptos de paradigma y trayectorias tecnológicas. La visión de

sistemas sectoriales permite concebir las actividades de los actores, pero además, otros actores determinantes de los procesos sectoriales de la innovación: proveedores, usuarios, clientes y consumidores; universidades y centros públicos de investigación; organizaciones financieras –bancos, mercados de capitales y financiamiento interno–; el gobierno y sus políticas públicas de innovación, ciencia y tecnología. Estos actores se encuentran conectados en redes y clústeres de innovación, producción y distribución que integran complementariedades en conocimiento, capacidades y especialización (Malerba y Nelson, 2011: 1650-1651).

## **Desarrollo y trayectorias en biotecnología**

### *Dinámicas cognitivas, tecnológicas y de competencia del paradigma biotecnológico*

El desempeño del sector biotecnológico a nivel nacional –comprendido como cadena de valor o como sistema sectorial de innovación– depende de las acciones conjuntas que emprenden los agentes del sector, de la configuración sectorial de las estructuras de mercado –incubadoras, fondos de inversión, capital semilla, capitales de riesgo, mercados de capitales, instrumentos bancarios– y de las dinámicas tecnológicas –el modo en que las tecnologías básicas afectan la naturaleza, fronteras y organización de los sectores, las bases sectoriales de conocimiento y los procesos de aprendizaje–. En el marco de estas características tecno-económicas sectoriales, la empresa biotecnológica como organización internaliza conocimientos de distintas fuentes del sistema y estructura su actividad innovadora desde vinculaciones a nivel local, regional o global (Malerba, 2004).

El desarrollo y las dinámicas actuales del paradigma biotecnológico ha estado marcado por cuatro cambios fundamentales: *a)* en su base cognitiva, *b)* en el régimen de aprendizaje, *c)* en su estructuración institucional y *d)* en la aparición de un nuevo tipo de agentes innovadores.

A nivel cognitivo, las biotecnologías modernas han estado marcadas por la nueva base generada por las llamadas revoluciones del ADN y la genética molecular, el advenimiento de la biología molecular y avances significativos en la fisiología, la farmacología, la enzimología y la biología celular (McKelvey *et al.*, 2004: 89). Estos cambios impactaron primero al campo de la farmacéutica y luego también, a partir de estos, significativamente, al sector productivo agro-biotecnológico.

Este cambio cognitivo en términos de paradigmas tecno-económicos implicó una transformación en el régimen de aprendizaje biotecnológico: surgieron distintos procedimientos de aprendizaje y descubrimiento, una nueva estructura de búsqueda, nuevas definiciones de problemas a resolverse y el uso de nuevas heurísticas y rutinas para resolver esos problemas (*ídem*: 91-92).

Adicionalmente, tres profundos cambios institucionales re-estructuraron al sector biotecnológico: *a)* la decisión de la Suprema Corte de Estados Unidos en 1980 de extender la protección a organismos vivos; *b)* el acta Bayh-Dole de ese mismo año que autorizó a instituciones de ciencia y tecnología a patentar sus resultados de investigaciones públicas, favoreciendo la exploración de esos resultados a través de asociaciones con privados, la creación de empresas por parte de investigadores o el licenciamiento exclusivo a empresas privadas; y *c)* la directriz de la Oficina de Patentes y Marcas estadounidenses de 1987 de poder patentar cualquier organismo vivo pluricelular (excepto humanos) en tanto

se consideraba que la identificación y la clasificación de las propiedades y funciones de un gen eran condición suficiente para reclamar el invento de ese gen. Esto marca que, desde la década de 1980, prevalezca un modelo global de negocios e innovación en el sector al estilo estadounidense. Un esquema basado en una fuerte investigación científica pública licenciada a empresas privadas y creación de nuevas empresas, con fuertes derechos de propiedad intelectuales establecidos y con un alto protagonismo de los inversores de riesgo para financiar nuevas empresas (Sztulwark, 2012).

Los cambios anteriormente referidos modificaron la estructura organizacional de las actividades de innovación, rediseñando los patrones de división del trabajo, las estructuras de incentivos y los mecanismos de selección de los agentes del sector. En este marco, la manifestación más trascendente en el sector tiene que ver con la aparición de un nuevo tipo de agentes: las empresas biotecnológicas especializadas o nuevas empresas biotecnológicas que, junto a las grandes empresas verticalmente integradas son los dos tipos de actores empresariales dominantes del sector.

Con respecto a las empresas biotecnológicas especializadas, se concentran en el desarrollo del potencial comercial de desarrollos en CyT de investigadores de universidades y hospitales. La función de este esquema de empresas ha sido el de trasladar el conocimiento fundamental generado en el sector científico público y transformarlo en técnicas y productos comercialmente útiles (McKelvety *et al.*, 2004: 92). No obstante, para muchas de estas empresas transcurren años y hasta décadas para pasar de un descubrimiento a un producto comercializable, pues suelen carecer de los recursos necesarios para fabricar, distribuir y comercializar sus invenciones. Su modelo de negocios depende de obtener financiamiento del capital



de riesgo, de la venta de licencias de conocimiento especializado a grandes empresas o, del desarrollo de investigación para las mismas, bajo contratos o alianzas conjuntas. Para estas empresas, es difícil llegar al mercado por sí mismas en cuanto deben cumplir con dos requisitos complejos en un sector con fuertes barreras de entrada y pocos grandes jugadores dominantes: *a)* recursos para cubrir costos de regulación e I+D y *b)* una infraestructura de marketing que incluye contactos con una base de clientes y un sistema de administración para vincular a la empresa a sus clientes (Wield, *et al.*, 2010).

En el modelo dominante de la gran empresa verticalmente integrada, ésta se involucra en la mayoría de las actividades para desarrollar y comercializar un nuevo producto o proceso biotecnológico, incluyendo I+D, producción, distribución y marketing. Estas empresas que reciben ingresos de la venta de productos de la biotecnología y del desarrollo de sus propios productos, proporcionan además un mercado para los descubrimientos de las empresas biotecnológicas especializadas (OECD, 2009: 164-167). En la última década, estas ETN han diferido en el grado en que invirtieron en tecnologías de OGM de reemplazo de tecnologías previas o como una adición a otras trayectorias tecnológicas y líneas de productos, existiendo también variaciones conforme al sector de aplicación de las empresas biotecnológicas modernas. Dentro de estas diferencias, una trayectoria común de las grandes empresas ha sido la ampliación de su base de conocimiento –esfuerzos por aumentar sus capacidades de investigación y absorción– y por una intensa profundización de sus vínculos con la comunidad científica financiada públicamente con base en una estrategia centrada en la consolidación como actores activos de la arena científica y no simples observadores pasivos y usuarios (McKelvey *et al.*, 2004: 94-95).

Las empresas responden a señales del entorno para adquirir, adaptar y mejorar tecnologías, con el fin de desarrollar sus capacidades tecnológicas y ventajas competitivas. En esas decisiones influyen la estructura de incentivos, los mercados de factores, los recursos y las instituciones con las que interactúa la empresa. En este sentido, la innovación se define como proceso interactivo que vincula agentes de mercado y de no-mercado. El conjunto de agentes, instituciones y normas en el que se apoyan los procesos de incorporación conforman el sistema de innovación que coordina el sector de CTI. Y, por ende, determinan el ritmo de generación, adaptación, adquisición y difusión de conocimientos tecnológicos en los esquemas productivos. El aprendizaje tecnológico y la competitividad se constituyen así como procesos sistémicos. En cuanto el desempeño del sistema de innovación depende de sinergias y externalidades afincadas en redes dinámicas entre las empresas y las instituciones que coordinan la interacción de actores e incentivos (Calza, *et al.*, 2009).

En este contexto, ocurre una combinación de relaciones horizontales y verticales que pauta la dinámica de vinculaciones en el sector biotecnológico. Por una parte, la dependencia de la biotecnología hacia su base científica y un *know-how* común (Joly y de Looze, 1996) lleva a que la formación de redes de colaboración estructuradas a partir del apoyo de programas públicos para el sector de investigación –fondos a proyectos, infraestructuras y formación de capital humano– sea un factor de impulso a la biotecnología (Webber, 1995). Por otra parte, la evolución del sector biotecnológico muestra un fenómeno conflictivo opuesto: la creciente importancia de la compra y absorciones de empresas biotecnológicas especializadas por parte de grandes empresas verticalmente integradas desde la década de 1980 que han favorecido la confor-

mación de grandes actores que concentran la mayoría del mercado, especialmente en el sector farmacéutico y agro-biotecnológico.

### *El sector biotecnológico en México*

Como se señaló en el apartado previo, las estructuras de mercado y dinámicas tecnológicas del sector biotecnológico tienen una especificidad sectorial propia, pero también otra propiamente macro-institucional y nacional. Una buena parte de las trayectorias biotecnológicas son influidas por decisiones surgidas de una deliberación política y opciones nacionales de desarrollo supra-sectoriales (Coriat y Weinstein, 2004: 331-339).

A la vez, el sector biotecnológico cuenta con actores, redes e instituciones específicas que coordinan el sector y toman decisiones conjuntas. En relación a los actores, por una parte, la heterogeneidad de las empresas caracteriza a la biotecnología en cuanto sector tecnológico, según sus competencias, conductas, características de la base de conocimiento, experiencia y procesos de aprendizaje, interacciones y trayectorias innovativas. También son constitutivos de un sector, organizaciones no-empresariales como universidades, organizaciones financieras, autoridades locales o agencias gubernamentales. Estas organizaciones tienen roles diferenciados según los sectores tecnológicos. Así, por ejemplo, el capital de riesgo y el sector universitario han sido clave en biotecnología. Por su parte, las redes formales o informales, de integración vertical u horizontal, conformadas a partir de relaciones de mercado o de no-mercado, también son rasgos de un sector (Malerba, 2004: 17-26).

Esta vinculación conceptual entre entorno institucional y desempeño innovador de las economías nacionales refuerza la conceptualización de la innovación como proceso interactivo. El

que involucra a todos los actores significativos de un sistema de innovación: empresas, universidades, institutos de investigación públicos y privados, gobiernos locales, federales y sociedad civil. Y donde el elemento distintivo es la colaboración de los agentes para la construcción de redes (Cimoli, 2005).

El sector biotecnológico en México es un sector dominado ampliamente por empresas transnacionales (ETN) con fuertes barreras de entrada para las empresas nacionales especializadas en biotecnología. El panorama productivo sectorial muestra que el mayor número de empresas relacionadas con el campo de la biotecnología utilizan procesos de fermentación tradicionales. Las empresas nacionales derivadas de la biotecnología moderna son muy pocas y se basan principalmente en tecnología de DNA recombinante. Es muy marcada la heterogeneidad entre las ETN, que utilizan sistemáticamente técnicas y procesos de biotecnología, y las empresas nacionales que desarrollan de forma incipiente y excepcional algún proceso de I+D, suelen carecer de departamentos de I+D y, primordialmente, recurren a asesorías informales externas sobre sus actividades de innovación (Amaro y Morales, 2010: 1241-1243).<sup>2</sup>

Excepto el sector medioambiental y el de alimentos, la industria nacional no utiliza casi ninguna biotecnología (González y Quintero, 2008). El sector privado cumple un rol limitado en I+D, contratando al sector público algunas investigaciones, y casi sin

2 Mientras que las empresas de las áreas de farmacia y alimentos suelen contar con una mayor antigüedad y presencia de ETN, en el sector agro-biotecnológico las ETN no constituyen la mayoría cuantitativa. Existen muchas pequeñas empresas en el sector agro que orientan sus esfuerzos a la generación de fertilizantes, plaguicidas y bioactivos de origen vegetal o microbiano, en especialidades minerales y biológicas de impacto en el desarrollo vegetal y en el control fitosanitario. Además, la creciente demanda de productos orgánicos en los países de mayor desarrollo económico y el alto costo de los fertilizantes sintéticos y minerales, ha generado una creciente demanda de insumos biológicos, como alternativas a compuestos tóxicos, para su aplicación en agricultura y horticultura (CIBA-IPN, 2010: 368-370).

desarrollo de actividades propias, las ETN suelen utilizar paquetes tecnológicos generados en su sede matriz. Las empresas que hacen I+D en México se localizan casi exclusivamente en el sector semillas. Allí, por ejemplo, Monsanto es un actor clave en el desarrollo de investigaciones en semillas de maíz y girasol (Stads, *et al.*, 2008).

En relación al número de empresas, un primer dato surge del estudio de CIBA-IPN. El que en 2010 identificó 375 empresas vinculadas al uso de productos y procesos relacionados a la biotecnología en México.<sup>3</sup> De ellas, menos de 20% (67) se basan en la biotecnología como su núcleo de negocios. Se estima que sólo la mitad de ellas (30-35) se han desarrollado con base en tecnologías e innovaciones propias (CIBA-IPN, 2010: 366). La estimación muestral de INEGI en base a su encuesta tecnológica ESIDET de 2010, muestra la presencia de 406 empresas que hicieron uso de técnicas de biotecnología moderna en los años 2010-2011.<sup>4</sup> OECD (2018) estima en 154 el número de empresas activas en biotecnología.

Finalmente, el ejercicio de relevamiento realizado en 2015 que dio lugar a este estudio, detectó la presencia de 53 empresas que

---

3 Del total de esas 375 empresas 36% se desempeñan en el sector farmacéutico, 21% en el agro-biotecnológico, 11% en el sector de servicios y proyectos; 8% en fermentaciones y productos biológicos, 6% en el sector pecuario y 5% en el sector ambiental (CIBA-IPN, 2010: 366).

4 En relación a las tecnologías utilizadas, este estudio señala que 46.1% de todas las empresas utilizan bioprocesos, 40.6% cultivo de ingeniería celular y de tejidos, 34.7% utilizan tecnologías de código genético, 27.8% unidades funcionales, 10.1% nano-biotecnología, 7.6% bioinformática, 6.2% organismos subcelulares y 8.1% otros. Considerando el sector de aplicación, 51.72% se encuentran en el sector de salud humana, 29.06% en la industria, 21.18% en alimentación, 20.2% en medioambiente, 13.3% en salud animal y acuicultura y 2.2% en otros (INEGI, 2015). Estos datos tienen sesgos considerables: el más importante es relevar empresas con alguna actividad biotecnológicas y no empresas biotecnológicas como tales. Esto permite que, por ejemplo, una empresa de bebidas que realiza algún tipo de fermentación entre en esta categoría (Morales y Amaro, 2017: 53).

desarrollan productos biotecnológicos en México. Este dato puede estar subestimado porque el método de relevamiento no alcanzó a ser exhaustivo (Morales y Amaro, 2017: 54). Sin embargo, no difiere mucho de las 30-35 empresas biotecnológicas detectadas en México en el año 2010 cuyo núcleo de negocios reside en tecnologías e innovaciones propias.

La estructura relacional de la biotecnología que combina ciencia universitaria, capital de riesgo, capacidades productivas y de marketing de las empresas globales y habilidades de empresas especializadas, rara vez se encuentran en una sola configuración nacional o regional. Esto lleva a que la coordinación institucional del sector cobre un papel determinante. Esta configuración institucional entendida como modo de articulación de los actores de la innovación, ha sido un obstáculo para el desarrollo de la biotecnología en México.

Por una parte, existe un importante y creciente capital humano en biotecnología en el país: ha aumentado el número de investigadores en el área. En 2016, 2850 investigadores del área de biotecnología y Ciencias Agropecuarias pertenecían al Sistema Nacional de Investigadores –SNInv– de Conacyt (Conacyt, 2018). El aumento de investigadores en biotecnología se complementa con el aumento de la matrícula de los alumnos en todos los niveles: entre 2008 y 2012, las licenciaturas en carreras de biotecnología pasaron de 3142 alumnos matriculados a 10998 y los posgrados de 842 a 1363 (Morales y Amaro, 2017: 58).

Cuatro instituciones desarrollan la investigación con mayor impacto científico-tecnológico en biotecnología: UNAM, UAM, Cinvestav e IPN. Por el número de investigadores, la antigüedad de sus grupos académicos, la infraestructura y el equipamiento de

análisis con el que cuentan, conforman la infraestructura más importante de la biotecnología en México.<sup>5</sup>

Otro gran sistema de investigación en biotecnología se ha desarrollado a partir de los Centros Conacyt, los que por su modelo de organización, diversidad disciplinaria y posgrados en red; constituyen un segundo sistema de impacto nacional en distintas áreas de la biotecnología.<sup>6</sup>

También algunas universidades, institutos tecnológicos y universidades politécnicas conforman grupos de impacto en la biotecnología, aunque más orientados a la docencia y la formación de recursos humanos a nivel de licenciatura y posgrado. Finalmente, destaca el rol del Colegio de Posgraduados, el Instituto de Investigaciones de la Secretaría de Agricultura –INIFAP– en distintos campos experimentales, y la creciente relevancia del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología (SNITT) de la SAGARPA y las Fundaciones PRODUCE (CIBA-IPN, 2010).

En términos de trabajo publicado, la producción científica es baja: dos tercios de dicha producción fueron generados por la UNAM, el IPN, la UAM y algunos centros Conacyt (Niosi *et al.*, 2013). El registro de patentes del sector científico también ha sido modesto; solo 50 patentes mexicanas de biotecnología (asociadas con los sectores agrícola, industrial y de salud) se registraron en la oficina de patentes de Estados Unidos (USPTO) entre 2009 y 2014. Una encuesta de patentes de biotecnología para el período de 2009 a 2014 de Mo-

5 Se ubican aquí múltiples organizaciones de la UNAM, IPN y UAM. Véase el detalle de estas organizaciones en el apartado II del capítulo 5 de este trabajo.

6 Del Sistema de Centros Conacyt se vinculan con la biotecnología las siguientes organizaciones: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD); Centro de Investigaciones del Noroeste S.C. (CIBNOR); Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B.C. (CISESE); Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY); el Instituto de Ecología A.C. (INECOL); Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC); Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ); y el Instituto Potosino de Investigación Científica (IPICYT).

rales y Amaro (2016: 31-32) reveló que 50 patentes de biotecnología registradas en la USPTO pertenecen a propietarios mexicanos: 61.4% fueron registradas por centros de investigación públicos, la mayoría de ellas dirigido por la UNAM. De manera similar, solo 1% de las patentes de biotecnología registradas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) fueron presentadas por agentes mexicanos, más de la mitad de ellas por la UNAM (45%) y Cinvestav (10%).<sup>7</sup>

En términos de infraestructura, alrededor de 45 organizaciones cuentan con algún equipamiento necesario para la investigación en biotecnología o para pruebas de ciertas tecnologías potenciales, aunque se nota la falta de plantas piloto (Amaro y Morales, 2010: 1238).

## **Sobre el vínculo entre capacidades e innovación en el sector biotecnológico**

### *Capacidades: gestión, de absorción y de innovación*

Se señaló en la introducción del trabajo la relevante presencia de investigación sobre productos y procesos tecnológicos innovadores, a partir de la siguiente asunción conceptual: las empresas alcanzan éxito innovador cuando desarrollan sus capacidades de absorción y tecnológicas.

No obstante, aunque el desarrollo de aprendizajes organizacionales para la adquisición de ambas capacidades pueden ser procesos deseables, algunas empresas no se encuentran en la frontera

7 Por ejemplo, de las patentes farmacéuticas registradas en México por las empresas en esos años, 89% son de empresas extranjeras con un registro internacional anterior que, en promedio, se obtuvo 5.6 años antes en otro país. Es decir, las empresas farmacéuticas extranjeras patentan en México productos que desarrollaron hace años en otro lugar. Por lo tanto, el registro de la patente en el mercado local obedece más a una estrategia comercial que al desarrollo de capacidades de innovación. Esta situación distorsiona el mercado local porque fomenta la competencia oligopólica basada en la comercialización de productos, pero no su desarrollo innovador (Morales y Villavicencio, 2015: 156-158).



tecnológica, ni concentran sus esfuerzos en desarrollar estas capacidades. Sin embargo, sí tienen un desempeño económico positivo que les permite su capacidad de perpetuidad, así como a lo que los autores neoschumpeterianos llamarían beneficios extraordinarios. Desde un enfoque evolutivo, las capacidades productivas, de gestión, de absorción y de innovación constituyen un conjunto de actividades organizacionales que son impulso tecnológico y de negocios. Estas capacidades explican los esfuerzos de la empresa para operar emprendimientos tecnológicos y su capacidad de coordinación de relaciones internas, convirtiendo sus transacciones económicas para cubrir con las brechas del mercado (Zawislak, Tello Gamarra, Alves, Barbieux y Reichert, 2014: 129-130).

Estas capacidades están presentes en todas las empresas. No obstante, varían según determinadas especificidades industriales y sectoriales, así como también de la posición de la empresa en la cadena de valor. La comprensión del rol de las capacidades en el desempeño económico o innovador parte del supuesto de que los colectivos como empresas, organizaciones y naciones son más que la suma de sus partes y que, también, son depositarios de conocimiento, instituciones y recursos, es decir, capacidades que influyen significativamente en sus esfuerzos –y los resultados de estos esfuerzos– con respecto a la creación de valor económico (Fagerberg y Srholec, 2017: 2).

En este contexto, las capacidades organizacionales dan cuenta del conocimiento vinculado al saber cómo *-know-how-*. Esto es, entendiendo que las capacidades habilitan a las organizaciones a desarrollar actividades vinculadas a la creación de un producto tangible o la provisión de un servicio y el desarrollo de nuevos productos y servicios. Hay, de este modo, vinculaciones entre el concepto de habilidades con el de rutinas organizacionales: las ca-

pacidades implican actividad organizada y el ejercicio de la capacidad suele ser repetitivo en muchos casos. Las rutinas incluyen los componentes básicos de las capacidades con una naturaleza repetitiva y dependiente del contexto, aunque no son los únicos componentes básicos de las capacidades (Dosi, Faillo y Marengo, 2008: 1165-1167; Cohen *et al.*, 1996).

El acceso al conocimiento no es suficiente a nivel individual, organizacional o nacional para desarrollar por sí mismo su transferencia exitosa en cuanto actividad de complejidad. También es requerido tener las capacidades necesarias para comprenderlo, absorberlo y explotarlo. La construcción de estas capacidades puede ser exigente, costoso y consumir mucho tiempo (Fagerberg y Srholec, 2017: 4).

En este trabajo se distinguen tres tipos de capacidades relevantes para transformar el conocimiento a nivel organizacional al generar valor económico a partir de su transferencia y mediante actividades innovadoras en términos de introducción al mercado de nuevos bienes, productos y servicios, o de mejora significativa de bienes, productos o servicios ya existentes.

Las capacidades de gestión organizacional constituyen la primera categoría de capacidades relevantes a considerar en el estudio. Retomando la visión sobre capacidades dinámicas de Teece, Pisano y Shuen (1997: 522) este trabajo asume que la ventaja competitiva de las empresas es influida por la capacidad de gestión de la organización, en función de su posición específica de activos y los senderos disponibles para ello. Entre esos activos, los vinculados al mercado y su estructura determinan el posicionamiento de la empresa respecto a su entorno y dan cuenta de las capacidades de gestión de la organización empresarial. La posición de la empresa en el mercado es importante y define parcialmente la

posición de la empresa en su entorno externo. Parte del problema radica en definir el mercado en el que una empresa compite y le da un significado económico. Más importante aún, la posición del mercado en regímenes de rápidos cambios tecnológicos es a menudo extremadamente frágil. En parte, esto se debe a que en estos entornos los tiempos son distintos y el vínculo entre cuota de mercado e innovación no existe. La posición de la empresa en el mercado de bienes y servicios ilustra parcialmente aspectos del desempeño de la empresa y tienen vínculos con las competencias y capacidades de la empresa.

En segundo lugar, se definen las capacidades de absorción a partir de la visión de Cohen y Levinthal (1990: 128). Quienes vinculan a las capacidades de absorción con la habilidad de una empresa para reconocer el valor de una información nueva y externa, y para asimilarla y aplicarla con fines comerciales. El concepto refiere así a la capacidad de una empresa para absorber información y conocimiento que, producido fuera de ella, se concibe como clave para el desarrollo de su desempeño innovativo. Capacidad que se desarrolla en relación al tipo de trayectoria organizacional histórica recorrida por la empresa.

Finalmente, se retoma la noción de capacidades de innovación propuesta por Fagerberg (2003). Este concepto asume que cada innovación es una nueva combinación de ideas, capacidades, habilidades y recursos existentes. De modo que la mayor variedad de esos factores en una organización supone mayores probabilidades de realizar nuevas combinaciones de los mismos; esto es: mayores posibilidades de producir innovaciones más complejas. Actualmente las empresas requieren estar al tanto de los desarrollos de sus competidores, y buscar nuevas fuentes de ideas. La mayor habilidad de una empresa para interactuar con una fuente externa –y

desarrollar procesos de transferencia-, aumenta la presión de las empresas directamente competidoras por alcanzarla. Esto, potencialmente, puede aumentar el desarrollo de un sistema de innovación nacional, regional o sectorial.

Es importante en términos metodológicos y heurísticos señalar que las capacidades innovadoras definen un aspecto diferente a los productos catalogados en el análisis como innovadores, en cuanto atañen a niveles analíticos y explicativos de diferente orden. Por una parte, la capacidad innovadora refiere a las habilidades organizacionales de la firma para ampliar su base cognitiva y para diseñar e implementar estrategias de I+D como pueden ser iniciativas de patentamiento, adopción de nuevas ideas y creatividad o desarrollo de productos biotecnológicos. Mientras que los productos innovadores son considerados en el estudio como aquellos nuevos productos biotecnológicos introducidos al mercado en los últimos cinco años. Esta definición no limita el carácter innovador del producto al alcance territorial-geográfico de novedad que tenga repercusión internacional, nacional, regional o local.

### **Conceptualización del vínculo capacidades-innovación en el sector biotecnológico: antecedentes**

La temática de estos tres tipos de capacidades y su relación con la innovación han estado presentes recientemente en la literatura económica evolutiva para el análisis del desempeño innovador de empresas del sector biotecnológico. A continuación se presentan, de forma no exhaustiva, antecedentes analíticos e imputaciones causales altamente significativos en relación al vínculo capacidades e innovación en el sector biotecnológico y atañen así directamente a la propuesta de este capítulo.

Todtling, Lehner y Kaufmann (2009), plantean que los tipos de innovación dependen del tipo de interacciones de conocimiento en que entran las empresas. Tomando como variable dependiente los resultados de innovación –medidos como introducción de productos nuevos a la empresa y al mercado–, los autores analizan la influencia de los insumos de conocimientos de la empresa a nivel interno –existencia de un departamento interno de I+D, empleo de investigadores y posesión de patentes– y externo –relaciones de investigación a nivel de contratos de I+D, redes de cooperación y socios de innovación: clientes, proveedores, organizaciones de servicios de negocios, universidades, organizaciones de transferencia tecnológica y organizaciones universitarias de apoyo a la innovación–. Los resultados encontrados muestran que las empresas que introducen innovaciones más avanzadas confían más en I + D y en patentes, y que cooperan más a menudo con universidades y organizaciones de investigación. Además, se identificó el empleo de investigadores como un factor clave que mejora las interacciones de conocimiento de las empresas con las universidades.

Por su parte, Woerter (2011) analiza los factores que determinan las estrategias de I+D de la empresa biotecnológica. El autor diferencia cuatro tipos de estrategia de I+D de la empresa: *a)* una combinación de I+D interna con cooperación en I+D; *b)* la empresa realiza I+D interna y a la vez compra I+D externa; *c)* una mezcla entre I+D interna, I+D cooperativa y compra de I+D realizada externamente y *d)* la sola realización de I+D interna.

El análisis econométrico de Woerter permite constatar que los conceptos relacionados con la capacidad de absorción, los efectos de *spillovers* y la apropiabilidad, la importancia de las diferentes fuentes de conocimiento, el entorno competitivo, los costos y los aspectos técnicos; así como la incertidumbre tecnológica, son fac-

tores esenciales para determinar la decisión de una empresa de elegir una forma específica de organizar la I+D. En relación a las capacidades de absorción medidas a partir de la presencia de empleados con educación de nivel terciario, Woerter no encuentra datos concluyentes para constatar que, como sugeriría la teoría, una mayor proporción de este personal calificado en las empresas aumenta la capacidad y disponibilidad de fuentes para cooperaciones externas de I+D.

En relación a los factores que explican el desempeño organizacional innovador de la empresa, Wu (2013) intenta diferenciar las formas en que la capacidad de emprendimiento de la empresa, su orientación al aprendizaje y las estrategias de I+D e innovación impactan sobre el desempeño organizacional. El análisis de datos o biotecnología obtenidos de 254 empresas biotecnológicas de Taiwán, permiten al autor concluir que la orientación al aprendizaje, el carácter emprendedor de la empresa y las estrategias de innovación en I+D son factores determinantes del desempeño organizacional innovador. La orientación del aprendizaje y carácter emprendedor de la empresa influyen en la elección e implementación de la estrategia innovadora de I+D de la empresa.

Kang y Park (2012), dan un fuerte peso a la noción de capacidades de absorción para comprender la relación entre la vinculación entre actores y productos de innovación biotecnológica. Los autores indagan sobre las variables relacionadas con la interacción y cooperación y el desempeño en biotecnología. De forma que, tomando como variable dependiente al desempeño innovador –número de patentes– busca explicar el desempeño innovador según: apoyo gubernamental a la I+D –participación en proyectos de I+D financiados por el gobierno–, gasto en I+D –porcentaje de I+D respecto a ventas–, capital humano en I+D –empleados con doctora-

do en relación al total de empleados-, colaboraciones nacionales e internacionales –asociaciones con instituciones de investigación y universidades- y asociaciones locales e internacionales –asociaciones con otras empresas-.

El análisis realizado a partir del estudio de pequeñas y medianas empresas (pymes) de biotecnología de Corea del Sur muestra que las alianzas previas se asociaron significativamente con la producción de innovación de las pymes biotecnológicas y los vínculos internacionales fueron mucho más fuertes que las conexiones nacionales. Los datos obtenidos muestran también que el apoyo del gobierno a través del financiamiento de proyectos afecta directa e indirectamente la innovación de las empresas al estimular la I+D interna y las colaboraciones nacionales en fases iniciales y finales de la innovación. Los hallazgos del estudio, aun cuando limitados al caso coreano y su particular trayectoria histórica institucional reciente, ponen de manifiesto la importancia de la financiación gubernamental de I+D y la creación de redes con universidades extranjeras e instituciones de investigación, así como con socios intermedios.

De Luna, Verona y Vicari (2010), relacionan en su estudio los lazos causales entre orientación al mercado, desempeño organizacional y efectividad de la I+D. Su estudio toma como variables dependientes a la efectividad de I+D –alcance de los objetivos de I+D como nuevos proyectos, nuevas patentes, generación de nuevo conocimiento científico y atracción de nuevos científicos- y al desempeño organizacional de la empresa –percepción de la empresa de su desempeño en relación al logro de sus objetivos fijados, sus principales competidores y su desempeño en el conjunto de la industria-. Las variables independientes que buscan explicar las anteriores incluyen: orientación del cliente –producción de conoci-

miento relevante a los negocios de los clientes y formas de aprendizaje conjunto-, orientación del competidor -sistematización de información sobre sus competidores-, coordinación interfuncional -grado de colaboración entre las unidades internas de la empresa, incluida la de I+D para la definición de objetivos y prioridades de nuevos proyectos- e integración del conocimiento -nivel de uso de mecanismos de integración formal para integrar conocimiento científico y de mercado en biotecnología-. Los resultados alcanzados a partir del análisis de datos de 50 empresas italianas de biotecnología muestran que la coordinación interfuncional tiene un efecto principal positivo, el efecto de la orientación al cliente se ve moderado por la integración del conocimiento y la orientación de la competencia no tiene ningún efecto en la efectividad de la I+D.

Zhang, Baden-Fuller y Mangematin (2007) proponen que el conocimiento interno de la empresa y su estructura organizacional influyen sobre su formación de alianzas estratégicas. Se toma a las nuevas alianzas estratégicas formadas por una empresa en un año particular como variable dependiente. Las variables independientes incluyen: la amplitud de la base de conocimientos -patentes diferenciadas por subclases-, centralidad de la estructura organizacional de la I+D -siendo la centralidad de la estructura de I+D de la empresa cuando ningún laboratorio de I+D están debajo de ninguna división de negocio y descentralizado si la empresa no poseía laboratorios centrales bajo el *corporate headquarter*-. Los resultados obtenidos del estudio de 2647 alianzas estratégicas en el sector biotecnológico en Estados Unidos y Europa entre 1993 y 2002, corroboraron las hipótesis de los autores. Cuanto más amplia es la base de conocimiento tecnológico de la empresa, más probable es que forme alianzas tecnológicas. Del mismo modo, una estructura de organización de I+D más centralizada tiene el mismo



efecto. También los resultados destacan la existencia de un efecto de sustitución entre estos dos constructos.

La siguiente Tabla 1 sintetiza los principales resultados y de forma estilizada permite delimitar las proposiciones analíticas que permiten construir nuestro modelo de análisis desarrollado en la siguiente sección.

## **V. Materiales y métodos**

*Planteo del modelo para calcular la probabilidad  
de que empresas biotecnológicas innoven en  
función de sus capacidades*

Este trabajo define como su objeto de estudio al sistema productivo y de CTI asociado a la biotecnología, con énfasis en el enfoque de sistemas de innovación, cadena de valor y procesos de cooperación entre actores del sector biotecnológico. Para ello se adoptó como unidad estadística y de relevamiento a las empresas biotecnológicas (Gutman y Lavarello, 2013; Bianchi, Stezano y Torres, 2014) en un cuestionario aplicado a 53 empresas en el año 2015, en la confluencia de cuatro proyectos grupales de investigación señalados en la primera nota al pie de este capítulo.

**Tabla 1**  
**Vínculos causales entre capacidades e innovación establecidos**  
**en estudios previos sobre empresas biotecnológicas**

Autores	Variable Dependiente	Variables independientes	Efecto
Todtling, Lehner y Kaufmann, 2009	<b>Resultados de innovación:</b> introducción de nuevos productos para la empresa o para el mercado	<b>Capacidades de absorción:</b> vínculos de conocimiento con socios externos	Positivo
		<b>Capacidades de innovación:</b> capacidades internas de I+D+i	Positivo
Woerter, 2011	<b>Capacidades de gestión:</b> estrategias de I+D de la empresa	<b>Capacidades de absorción:</b> cantidad de empleados de nivel terciario contratados por la empresa	Datos no concluyentes
Wu, 2013	<b>Resultados de innovación:</b> patentes, diferenciación de productos, posición en el mercado respecto a los competidores	<b>Capacidades de innovación:</b> elección e implementación de estrategia de I+D como patentamiento, adopción de nuevas ideas y creatividad, desarrollo y ejecución de productos biotecnológicos	Positivo
Kang y Park, 2012	<b>Desempeño innovador:</b> número de patentes	<b>Capacidades de absorción:</b> colaboraciones nacionales e internacionales y asociaciones locales e internacionales	Moderadamente positivo en vínculos nacionales y significativamente en internacionales
De Luna, Verona y Vicari, 2010	<b>Efectividad de I+D</b> (alcance de objetivos de I+D como nuevos proyectos, patentes, conocimiento científico y atracción de personal calificado) y <b>desempeño organizacional de la empresa</b> (percepción interna respecto al logro de objetivos, posición ante competidores y desempeño en el total del sector)	<b>Capacidades de gestión</b> (1): orientación del cliente	Moderado por la integración del conocimiento científico y de mercado biotecnológico
		<b>Capacidades de gestión</b> (2): orientación del competidor	Sin efecto
		<b>Capacidades de gestión</b> (3): coordinación interfuncional	Positivo
		<b>Capacidades de gestión</b> (4): integración del conocimiento científico y de mercado biotecnológico	Modera el efecto de la orientación del cliente
Zhang, Baden-Fuller y Mangematin, 2007	<b>Capacidades de absorción:</b> alianzas estratégicas formadas por una empresa en un año particular	<b>Capacidades de innovación:</b> amplitud de la base de conocimientos	Positivo
		<b>Capacidades de gestión:</b> centralización de la estructura de I+D	Positivo

Fuente: elaboración propia.

Para la conformación del modelo, inicialmente este trabajo busca las variables que determinan que una empresa innove (es decir, una empresa que declare haber introducido nuevos productos biotecnológicos al mercado en los últimos cinco años) o no. Para efectos del ejercicio estadístico, con fundamento en las teorías de innovación reseñadas previamente, se asume que la innovación se relaciona con las capacidades que operan las empresas. La Tabla 2 muestra las preguntas del cuestionario de referencia desde las cuales se categorizan las capacidades.

Llama la atención que las variables asociadas a las preguntas son nominales: esto es, la empresa tiene o no cierta capacidad. Se realizó el ejercicio de emplear variables escalares –como el porcentaje de insumos de importación al que recurren las empresas para producir, el porcentaje sobre ventas destinado a I+D–. Sin embargo, la dispersión de datos nulifica su capacidad explicativa de la actividad innovadora.<sup>8</sup> Esta dispersión puede relacionarse con el hecho de que los entrevistados prefieren mantener confidencialidad sobre variables de ese tipo.

Entre los vínculos de cooperación de las empresas con agentes externos –otras empresas e instituciones de ciencia y tecnología– y las fuentes externas de conocimiento para las empresas hay una amplitud de opciones, dada la diversidad de agentes y fuentes existentes a las que acuden.

.....  
8 Por ejemplo, empresas que declaran una inversión en I+D de 1% de las ventas, u otra que declara 100%.

**Tabla 2**  
**Capacidades y variables asociadas**

Capacidades	Pregunta	Tipo variable
Productivas	Produce el principal producto biotecnológico	Nominal
	Comercializa el principal producto biotecnológico	Nominal
De gestión	Se incrementó el portafolio de negocio	Nominal
	Se abrieron nuevas líneas de negocio	Nominal
Absorción	Ha establecido y mantenido vínculos de cooperación	Nominal
	Fuentes de conocimiento externo a la empresa	Nominal
	Vínculos de cooperación con actores externos empresariales	Nominal
	Vínculos de cooperación con instituciones de ciencia y tecnología	Nominal
	Proveedores como fuente de conocimiento para innovar	Nominal
Innovación	La empresa tiene departamento formal de I+D	Nominal
	La empresa ha patentado	Nominal
	Fases de desarrollo y ejecución de productos biotecnológicos	Nominal

Fuente: elaboración propia.

Considerando que las variables medidas son cualitativas dicotómicas (particularmente la variable dependiente que plantea que empresa innova o no), el trabajo en base a los elementos analíticos y teóricos previamente formulados, permite formular un modelo logístico en los términos siguientes:

$$L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \beta_1 + \beta_2 X_i$$

$$Pr(P_i = 1) = P_i \text{ para una empresa que innova}$$

$$Pr(P_i = 0) = (1 - P_i) \text{ para una empresa que no innova}$$

De modo que si una empresa innova ( $P=1$ ), se espera que se le relacionen  $X_i$  capacidades, en términos probabilísticos (la probabilidad de que la capacidad  $X_i$  favorezca la innovación).

## ii) Depuración de variables previa a la especificación del modelo

Antes de especificar los resultados del modelo, se realizaron dos ejercicios:

- a) El cálculo de la prueba *chi cuadrada* para independencia de variables, en la que se estableció la dependencia o independencia de variables innovación y la respectiva capacidad.
- b) El cálculo de correlación bivariada de Pearson.

La Tabla 3 muestra el resultado de la prueba *chi* para las capacidades que tienen relación con la innovación, al no más de 0.05 de probabilidad. De las nueve capacidades, dos se relacionan con capacidades de producción; cinco capacidades que están en función del nivel de madurez tecnológica de las empresas, particularmente las relacionadas con los niveles mayores; dos capacidades más, la vinculación con empresas para realizar actividades de innovación

(I+D) y la adquisición de conocimiento proveniente de proveedores para la generación de nuevos productos, que pueden agruparse como capacidades de absorción. De acuerdo con el ejercicio, tener departamento formal de I+D, realizar investigación básica, o tener patentes, o contar con líneas y portafolios de negocios no son variables relacionadas con la innovación.

**Tabla 3**  
**Prueba chi cuadrada para independencia de variables**

	Innovación	
	<i>Chi</i>	Asintótica
Produce biotecnológico principal	14.400	0.000
Comercializa biotecnológico principal	14.400	0.000
Sistema final completo, probado y demostrado	13.713	0.000
Desarrollo tecnológico intramuros	13.333	0.000
Primer lote de productos en el mercado	10.276	0.001
Desarrollo prototipo intramuros	8.889	0.003
Vinculación con empresas para realizar I+D	5.763	0.016
Investigación aplicada intramuros	4.675	0.031
Conocimiento proveniente de proveedores	4.302	0.038

Fuente: elaboración propia.

Una réplica del ejercicio de relación entre variables se presenta en la Tabla 4. En este caso, se muestra la correlación bivariada de Pearson. Como en el caso de la prueba *chi cuadrada*, se repiten las capacidades correlacionadas con la innovación. Las primeras seis significativas a 0.01 y las tres restantes a 0.05.

**Tabla 4**  
**Correlación de Pearson para la innovación**

Produce biotecnológico principal	0.600*
Comercializa biotecnológico principal	0.600*
Sistema final completo, probado y demostrado	0.586*
Desarrollo tecnológico intramuros	0.577*
Primer lote de productos en el mercado	0.507*
Desarrollo prototipo intramuros	0.471*
Vinculación con empresas para realizar I+D	0.380**
Investigación aplicada intramuros	0.342**
Conocimiento proveniente de proveedores	0.328**
* Significativo a 0.01	
** Significativo a 0.05	

Fuente: elaboración propia.

Los ejercicios reportan que la innovación de las empresas relevadas en el trabajo de campo se relaciona con capacidades de investigación e integración de una oferta biotecnológica que esencialmente son desarrolladas por la misma empresa, y que no necesariamente implican un alto grado de sofisticación organizativa –visto en la irrelevancia de contar con un departamento de investigación y desarrollo; o de desarrollar un portafolios y líneas de negocio asociadas a la innovación–, pero sí el dominio de las bases tecnológicas de la bio, complementada con vinculaciones con el ambiente externo, pero con un grado de relacionamiento menor.

### **Resultados de la regresión *Logit***

Para efectos de realizar el ejercicio de regresión, se tomaron como referencia las siguientes variables explicativas: a) si la empresa

produce su principal producto biotecnológico, como indicador de poseer capacidad de producción; *b*) si el nivel de madurez tecnológica alcanza para integrar el sistema final completo, evaluado a través de pruebas y demostraciones –equivalente al nivel de desarrollo TRL 8–, como equivalente a que la empresa posee capacidades de innovación, y *c*) si las empresas se vinculan con otras para realizar actividades de innovación (I+D), como equivalente de una empresa que tiene capacidades de absorción.

Los criterios de elección de las variables son los siguientes: dentro de su propia clasificación entre las capacidades señaladas en la Tabla 3, son las que mostraron mayor relación con la innovación (tablas 3 y 4). La búsqueda por el conjunto de variables que mejor pudieran explicar la innovación arroja esas tres como las que en lo individual y en su conjunto aportan información sobre la innovación entre empresas biotecnológicas.

De acuerdo con los resultados del modelo, las empresas que producen su propio biotecnológico principal tienen una probabilidad dos a uno de innovar frente a las que no producen su propio biotecnológico. Sin embargo, el estimador puede ser poco fiable, dado el nivel de significancia (0.1).

En ese sentido, los estimadores de las otras variables indican que:

- a*) Las empresas cuyo nivel de madurez tecnológica les permite integrar sistemas completos probados y demostrados tienen una probabilidad de 3.2 veces a uno de innovar.
- b*) Las empresas que se vinculan con otras empresas para realizar actividades de I+D tienen una probabilidad 2.9 veces a uno de innovar.



**Tabla 5**  
**Resultados de la regresión Logit. Variable dependiente: innovación**

Variables	Estimación	Error estándar	Wald	Significancia
c	2.868	1.330	4.650	0.031
Produce biotecnológico principal	2.000	1.217	2.702	0.100
Sistema final completo, probado y demostrado	3.248	1.339	5.884	0.015
Vinculación con empresas para realizar I+D	2.965	1.544	3.685	0.055

Fuente: elaboración propia.

## Resultados y análisis

En primer lugar, los resultados del ejercicio estadístico realizado en torno a la vinculación entre capacidades de innovación y la capacidad de introducir productos innovadores ratifica resultados de investigaciones previas realizadas en el sector biotecnológico. Las capacidades de innovación, medida –en este caso– a través de un indicador *proxie* relacionado a la capacidad y alcance de madurez tecno-productiva influye sobre los resultados de innovación alcanzados por la empresa biotecnológica como muestran en sus estudios Todtling *et al* (2009) y Wu (2013).

Las competencias y habilidades de innovación aluden a aproximaciones de productos, procesos, mercado y organización. La capacidad de innovar de la empresa es el factor de mayor influencia sobre el desempeño innovador de una empresa (Rajapathirana

y Hui, 2018) y sobre la orientación de las actividades empresariales de I+D. Ese desempeño y orientación fueron definidos en este trabajo como la capacidad de una empresa de introducir un producto, proceso o servicios nuevo.

Como muestra el trabajo de Wu (2013), es central en el sector biotecnológico el rol que cumplen las estrategias de construcción de conocimiento como fuente de ventaja competitiva para la empresa. La capacidad de innovación tiene un impacto decisivo en las posibilidades de innovar. Esto hace suponer que las empresas con capacidades de innovación más desarrolladas definirán sus estrategias de competitividad e innovación dando relevancia a aspectos organizacionales como el intercambio y la gestión de conocimiento, que si no tuvieran tales habilidades. La capacidad de innovación proporciona así una visión de las áreas y activos potenciales de la empresa, permite la aplicación de recursos y la transformación de conocimientos y habilidades en productos, procesos y sistemas beneficiosos. De este modo, la capacidad de innovación de la empresa es posteriormente responsable de generar resultados de innovación altamente creativos (Rajapathirana y Hui, 2018).

En segundo lugar, los resultados obtenidos del análisis estadístico arrojaron resultados similares a análisis previos (Zhang *et al.*, 2007; Todtling *et al.*, 2009; Woerter, 2011; Kang y Park, 2012): es positiva la influencia de las capacidades de absorción de las empresas sobre su probabilidad de innovar. La capacidad de absorción de una empresa, desde la visión de Cohen y Levinthal (1989), es una condición previa importante para aprovechar con éxito el conocimiento generado externamente. Esto es: el conocimiento generado por competidores, proveedores, clientes o instituciones públicas de investigación. Se supone que las empresas con personal bien educado y actividades permanentes de investigación tienen

una mayor capacidad de absorción que las empresas que carecen de tales características. Esto los convierte en un socio valioso para la cooperación y puede ser una fuerza impulsora para buscar socios de cooperación competentes. La alta capacidad de absorción aumenta el poder de negociación para apropiarse de los resultados de la investigación, minimiza el costo de analizar el entorno en busca de socios adecuados y ayuda a desempeñar un papel central en una red de I+D (Woerter, 2011). E igualmente, a identificar oportunidades y adquirir información de mercado (Zhai *et al.*, 2018).

En función de lo anterior, la noción de capacidades de absorción puede comprenderse, en primer lugar, como una medida de la habilidad organizacional para acumular y movilizar conocimiento (Zhang *et al.*, 2007). En segundo lugar, empresas con mayores capacidades de absorción son capaces de procesar con mayor destreza el conocimiento externo útil y una mejor integración de los conocimientos distribuidos internamente. Esto sitúa a las empresas en mejor posición para lanzar nuevos productos, perfeccionar sus procesos o iniciar nuevas prácticas de gestión, mejorando sus resultados innovadores (Zou, Ertug y George, 2018).

En función de lo anterior, puede considerarse que el conocimiento es la noción común que integra a ambas capacidades: de innovación y de absorción. La vinculación entre innovación y conocimiento es asunto central en las visiones neoschumpeterianas y las teorías evolutivas de la economía y varios conceptos y conceptualizaciones: sistemas de innovación (nacionales, regionales y sectoriales), clústeres locales y derramas de conocimiento, redes de innovación. Lo común a ellas es el supuesto que la creación de nuevo conocimiento es un proceso resultante de la interacción de conocimiento tácito y codificado (Nonaka y Takeuchi, 1995). Proceso que se ve favorecido por las interacciones personales en un

contexto institucional común que facilita la transferencia de conocimiento tácito (Todtling *et al.*, 2009).

La capacidad de innovación está relacionada con la capacidad de la empresa de generar conocimiento a nivel interno. La creación interna de conocimiento tiene ventajas irrefutables para el rendimiento de la innovación. En primer lugar, la acumulación interna de conocimiento proporciona un mayor control y coordinación sobre el proceso de innovación al reducir la dependencia del entorno externo. En segundo lugar, el conocimiento generado internamente se asimila más fácilmente y se integra en los patrones de organización de la empresa, la cultura y los sistemas; con el fin de crear nuevas capacidades. En tercer lugar, el conocimiento tácito sobre las técnicas y los productos creados a través de la interacción entre los miembros de la organización tiene un alto contenido de experiencias y rutinas que son específicas de la empresa y que el mercado no puede replicar o imitar fácilmente. En cuarto lugar, la creación de conocimiento interno facilita la absorción de nuevos conocimientos del entorno externo (Fores y Camison, 2016).

Los resultados obtenidos permiten ponerlos en prueba para constatar la pertinencia y plausibilidad de proposiciones analíticas presentes en la literatura científica especializada sobre el tema. La primera refiere a la importancia combinada del conocimiento interno que construye la empresa y del externo que absorbe (Teece, 1986), particularmente detectable en redes de innovación y alianzas estratégicas empresariales de I+D. Como señalan Caloghirou, Hondroyiannis y Vonortas (2003) las posibilidades de éxito en las asociaciones de I+D aumentan si la investigación cooperativa se acerca a los esfuerzos internos de I+D de cada uno de los socios.

La segunda proposición alude a una característica propia del sector biotecnológico. La industria de la biotecnología es un sector

intensivo en ciencia y los recursos necesarios en el proceso de innovación, como el conocimiento científico, la tecnología emergente, la información especializada y los equipos, están muy dispersos entre las organizaciones (Kang y Park, 2012). En la medida que la innovación biotecnológica descansa en distintos tipos de insumos, fuentes y lazos organizacionales de conocimiento, en el sector biotecnológico cobra mayor importancia los insumos científicos surgidos de la I+D interna y de los vínculos ciencia-industria característicos de las innovaciones de carácter más avanzado (Todtling *et al.*, 2009).

La tercera proposición alude al nulo efecto encontrado en torno a las capacidades de gestión. La influencia de los enfoques de mercado y estrategias organizacionales vinculadas a nuevas líneas de negocio sobre la capacidad de innovación de una empresa, en el caso de los sectores y contextos de alta tecnología todavía está sujeto a debate. Por una parte, algunos estudios sobre el impacto de la orientación de mercado de la empresa y de las competencias de marketing de la empresa en los procesos de innovación elogian los beneficios de la presencia de una orientación de mercado en el desarrollo de innovaciones en dominios de alta tecnología (De Luca, Verona y Vicari, 2010). Por otro lado, la evidencia Christensen (2006) ha mostrado cómo la atención gerencial en el mercado objetivo y los clientes dominantes influye en la asignación de recursos en el proceso de innovación. Pero como señalan De Luca *et al* (2010), también se muestra que esta capacidad está negativamente asociada con la capacidad de la empresa para co-evolucionar con la dinámica de la tecnología.<sup>9</sup> A mayor relevancia de las capacidades de gestión, menores capacidades de absorción e innovación.

9 Esta capacidad de co-evolución de la estructura organizacional de la empresa de adaptación a la dinámica tecnológica sectorial se asemeja a la habilidad de crear nuevo conocimiento. En este trabajo, este proceso de construcción de conocimiento se ha dado a entender como la conjunción de capacidades de innovación y de absorción previamente discutida.

También la relación entre capacidades de gestión –entendida como orientación al mercado desde la formación de nuevas líneas de negocio– y la probabilidad de una empresa biotecnológica de generar una innovación está influida por la influencia del sector tecnológico considerado. La influencia es notoriamente mayor hacia negocios más tradicionales a los modelos comerciales de consumo o industriales. En el caso de las empresas de alta tecnología, debido a la duración y complejidad de la exploración científica, su capacidad de innovación no está plenamente representada por indicadores como la tasa de introducción de nuevos productos y el rendimiento del proceso innovador. Estos indicadores captan tanto la importancia de la innovación como la competencia general de la empresa en el proceso de innovación, pero hacen poca o ninguna mención específica de las actividades científicas centrales de I+D. Estas condiciones son particularmente significativas en el caso de la industria de la biotecnología (De Luca *et al.*, 2010: 302). Lo anterior permite comprender el alcance explicativo del nulo efecto de las capacidades de gestión.

### **Conclusiones: perspectiva de políticas sectoriales e investigación futura**

Este apartado reflexiona a modo de sumario los principales resultados discutidos previamente.

En primer lugar, es imperioso destacar dos limitaciones que no invalidan los resultados presentados en este estudio, pero limitan su alcance. La primera limitación alude a la dificultad presente para diferenciar subsectores biotecnológicos, tomando en consideración las diferencias tecnológicas, de generación de conocimiento y condiciones de competitividad predominantes básicamente entre el sec-

tor farmacéutico, el agrícola y el industrial. La segunda limitación, como se señaló en el apartado precedente, refiere a la causalidad –aún no imputada concluyentemente– entre capacidades de gestión e innovación: sería útil en estudios futuros que continúen y que los indicadores de capacidades de gestión se amplíen y sofisticuen.

En relación a los resultados alcanzados en el estudio, es conveniente iniciar esta reflexión final con un grupo de conclusiones de relevancia teórico-analítica. El que está referido a la influencia del conocimiento sobre las empresas que se involucran en procesos de innovación en el sector biotecnológico. Los resultados alcanzados en el trabajo ratifican la visión evolutiva respecto al modo en que los cambios en la estructura organizacional de la empresa se ligan con sus capacidades tecnológicas: conforme aumentan las capacidades de la empresa respecto a las de las competidoras, sus posibilidades de selección en procesos de competencia aumentan. Del mismo modo, el análisis realizado plantea que el portafolio de capacidades significativas para la competitividad de la empresa es amplio y aleatorio. De lo anterior, se desprende una premisa fundamental de política pública para el sector biotecnológico: la necesidad de diagnosticar sistemáticamente y con perspectiva de política pública a las capacidades sectoriales biotecnológicas nacionales. En cuanto existe un punto de inflexión donde las posibilidades de seguir explotando capacidades relevantes para la trayectoria tecnológica asociada a ellas se reducirán (Gutman y Lavarello, 2014: 26-32).

Los aislados casos de éxito de empresas biotecnológicas en América Latina muestran que, en todos los casos, el Estado ha cumplido algún papel favoreciendo instituciones y estructuras organizacionales tendientes a: i) favorecer la acumulación empresarial de capacidades tecnológicas vía procesos de aprendizaje o el

aprovechamiento de oportunidades tecnológicas, ii) cierto nivel de creación de mercados protegidos para asegurar entornos de selección viables para industrias o subsectores industriales con rasgos infantiles y fuerte base científica (Gutman y Lavarello, 2017).

El presente análisis sobre el sector biotecnológico en México puede verse como el corolario de un proceso pautado por el escaso interés del gobierno federal y las empresas nacionales por invertir y promover capacidades tecnológicas locales. Este sendero ha limitado la capacidad de absorber y aprovechar las biotecnologías más avanzadas (Gonsen, 1998). Ante distintas fases de una trayectoria tecnológica en un paradigma, es posible encontrar distintos regímenes de innovación y condiciones de entrada a nuevos agentes en el sector (Klepper, 1997). Según lo anterior, las empresas de países en desarrollo enfrentarían distintos contextos de competencia conforme al grado de consolidación de sus tecnologías y la fase de la trayectoria del paradigma tecnológico analizado. En este sentido, 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 biotecnológico.

Comparadas con las empresas líderes del mercado mundial, las de los países en desarrollo tienen distintas posibilidades para diversificar sus bases cognitivas a través del desarrollo de conocimientos biotecnológicos en sus departamentos de I+D y para acceder a fuentes externas de conocimiento a través de colaboraciones con universidades y centros de investigación. 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 empresas líderes del sector (Stezano, 2018).



La evolución de la industria biotecnológica en México, tras la liberalización comercial, cerró posibles caminos de desarrollo con base en capacidades previas acumuladas. La trayectoria del sector alude a un fenómeno de des-aprendizaje. El alto contenido tácito del conocimiento biotecnológico, 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, supuso una pérdida de capacidades, habilidades y conocimientos acumulados para el país (Gonsen, 1998). A la luz de los resultados obtenidos en este trabajo, puede concluirse que esta trayectoria sectorial de discontinuidad y ausencia de aprendizajes ha permanecido casi intacta en, al menos, las últimas dos décadas.

## Referencias

- Amaro, M. & Morales, M. (2010), *La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación*, Ideas CONCYTEG, 5 (64), pp. 1224-1246.
- Anandajayasekeram, P., & Gebremedhin, B. (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; Stezano, F. y C. T. (2014), *Apuntes metodológicos para estudios sobre biotecnología en América Latina*, Buenos Aires.
- Brännback, M., Carsrud, A., Renko, M., Östermark, R., Aaltonen, J., & Kiviluoto, N. (2009), Growth and profitability in small privately held biotech firms: preliminary findings, *New Biotechnology*, <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2009.03.006>

- Caloghirou, Y., Hondroyiannis, G., & Vonortas, N. S. (2003). The performance of research partnerships, *Managerial and Decision Economics*, 24(2-3), 85-99. <https://doi.org/10.1002/mde.1087>
- Calza, E., Cimoli, M., & Laplane, A. (2009), El proceso de aprendizaje en el diseño e implementación de las políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI). *Pensamiento Iberoamericano*, 2(5), 43-68. Retrieved from <https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2014/07/PensamientoIbero5.pdf>
- Castellacci, F. (2007), *Technological regimes and sectoral differences in productivity growth*. *Industrial and Corporate Change*, 16(6), 1105-1145. <https://doi.org/10.1093/icc/dtm033>
- Cimoli, M. (2005), Redes, estructuras de mercado y shocks económicos. Cambios estructurales de los sistemas de innovación en América Latina. En M. Casalet, M. Cimoli, G. Yoguel (eds.), *Redes, Jerarquías y Dinámicas Productivas*, pp. 119-151, FLACSO-OIT-Miño y Davila.
- Cimoli, M., & Dosi, G. (1995), Technological paradigms, patterns of learning and development: An introductory roadmap. *Journal of Evolutionary Economics*, 5(3), 243-268. <https://doi.org/10.1007/BF01198306>
- Cohen, M. D., Burkhart, R., Dosi, G., Egidi, M., Marengo, L., Warglien, M., & Winter, S. (1996), Routines and Other Recurring Action Research Issues. *Industrial and Corporate Change*, 5(3), 653-698.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990), Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Conacyt (2018), Mexican National Council of Science and Technology. Official web site. <https://www.conacyt.gob.mx/>

- Coriat, B. & Weinstein, O. (2004), National institutional frameworks, institucional complementarities and public policy. En F. Malerba (ed.), *Sectoral systems of innovation*, pp. 325-347, Cambridge University Press.
- Christensen, C. M. (2006), The ongoing process of building a theory of disruption. *Journal of Product Innovation Management*. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2005.00180.x>
- De Luca, L. M., Verona, G., & Vicari, S. (2010), Market orientation and R&D effectiveness in high-technology firms: An empirical investigation in the biotechnology industry. *Journal of Product Innovation Management*, 27(3), 299–320. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2010.00718.x>
- Dosi, G. (1982), Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147-162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- Dosi, G., Faillo, M., & Marengo, L. (2008), *Organizational capabilities, patterns of knowledge accumulation and governance structures in business firms: An introduction*. *Organization Studies*, 29(8-9), 1165–1185. <https://doi.org/10.1177/0170840608094775>.
- Fagerberg, J., & Srholec, M. (2017), Capabilities, economic development, sustainability, *Cambridge Journal of Economics*, 41(3), 905–926. <https://doi.org/10.1093/cje/bew061>
- Forés, B., & Camisón, C. (2016), Does incremental and radical innovation performance depend on different types of knowledge accumulation capabilities and organizational size? *Journal of Business Research*, 69(2), 831–848. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.07.006>

- Gonsen, R. (1998), *Technological Capabilities in Developing Countries: Industrial Biotechnology in Mexico*, Palgrave Macmillan UK.
- Gutman, G., & Lavarello, P. (2013), Nuevos paradigmas, estrategias de los grupos biotecnológicos líderes a nivel internacional y oportunidades para empresas en Argentina. In F. Stezano (Ed.), *Desafíos internacionales y nacionales para el diseño de políticas en el sector de biotecnología* (pp. 1-9). Mexico City: FLACSO-México.
- Gutman, G., & Lavarello, P. (2014), *Biotecnología industrial en Argentina: estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*, Buenos Aires: Gran Aldea Editores.
- Gutman, G., & Lavarello, P. (2017), El sector biofarmacéutico: desafíos de política para una industria basada en la ciencia. In M. Abeles, M. Cimoli, & P. Lavarello (Eds.), *Manufactura y cambio estructural: aportes para pensar la política industrial en la Argentina* (pp. 243-281). Santiago de Chile: CEPAL-Chile.
- Joly, P.-B., & de Looze, M.-A. (1996), An analysis of innovation strategies and industrial differentiation through patent applications: the case of plant biotechnology. *Research Policy*, 25(7), 1027-1046.  
[https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00891-8](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00891-8)
- Kang, K. N., & Park, H. (2012), Influence of government R&D support and inter-firm collaborations on innovation in Korean biotechnology SMEs, *Technovation*, 32(1), 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.08.004>.
- Kirkman, D. M., & Ogilvie, D. (2014), An examination of entrepreneurial orientation in dedicated biotechnology firms: Context

- matters, *Organisation Management Journal*, 11(2), 84-100. <https://doi.org/10.1080/15416518.2014.927322>
- Klepper, S. (1997), *Industry Life Cycles*. *Industrial and Corporate Change*, 6(1), 145-182. <https://doi.org/10.1093/icc/6.1.145>
- Kuhn, T. S. (1996), *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago. <https://doi.org/10.1119/1.1969660>
- Lall, S. (1992), Technological Capabilities and Industrialisation, *World Development*, 20(2), 165-186.
- Lall, S. (1993), Understanding Technology Development. *Development and Change*, 24(4), 719-753. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.1993.tb00502.x>
- Malerba, F. (2004), *Sectoral systems of innovation: Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe*. *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe* (Vol. 9780521833219). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493270>
- Malerba, F., & Nelson, R. (2011), Learning and catching up in different sectoral systems: Evidence from six industries, *Industrial and Corporate Change*, 20(6), 1645-1675. <https://doi.org/10.1093/icc/dtr062>
- McKelvey, M., Orsenigo, L., & Pammolli, F. (2004), *Pharmaceuticals analyzed through the lens of a sectoral innovation system*. In *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe* (pp. 73-120). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493270.004>
- Morales, A., & Amaro, M. (2016), Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes, *Redes*, 22(42), 13-40. Retrieved from <http://www.unq.edu.ar/advf/documentos/589b6b8b30ca0.pdf>

- Morales, A., & Villavicencio, D. (2015), Convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México. In A. Morales, R. De Gortari, & F. Stezano (Eds.), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos* (pp. 139-164). CDMX: Conacyt, Editorial Los Reyes.
- Morales, M., & Amaro, M. (2017), Panorama general de la biotecnología en México y el mundo. In D. Villavicencio (Ed.), *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México* (pp. 33-68). CDMX: UAM-Xochimilco; IDRC.
- Nonaka I. & Takeuchi, H. (1995), *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford University Press
- OCDE. Organisation for Economic Co-operation and Development-. (2009), *The Bioeconomy of 2030. The Bioeconomy to 2030 Designing a Policy Agenda*, <https://doi.org/10.1787/9789264056886-en>
- OCDE (2018), *Key biotechnology indicators*, OCDE Directorate for Science Technology and Innovation (DSTI). <http://www.oecd.org/sti/inno/keybiotechnologyindicators.htm>
- Pavitt, K. (1984), Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory, *Research Policy*, 13(6), 343-373. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)
- Rajapathirana, R. P. J., & Hui, Y. (2017), Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance, *Journal of Innovation & Knowledge*, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2017.06.002>
- Renko, M., Carsrud, A., & Brännback, M. (2009), The effect of a market orientation, entrepreneurial orientation, and techno-

- logical capability on innovativeness: A study of young biotechnology ventures in the United States and in Scandinavia, *Journal of Small Business Management*, 47(3), 331–369. <https://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2009.00274.x>
- Stads, G.; Moctezuma, G.; Espinosa, J.; Cuevas, V. & Jolalpa, V. (2008), *Agricultural Science and Technology Indicators: Mexico*, ASTI Country Brief, 41.
- Stezano, F. (2018), Industrial and Innovation Policies in the Mexican Biotechnology Sector, *Journal of Industry, Competition and Trade*, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10842-018-0281-8>
- Sztulwark, S. (2012), *Rentas de innovación en cadenas globales de producción*.
- Teece, D. J. (1986), Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy, *Research Policy*, 15(6), 285–305. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(86\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(86)90027-2)
- Teece, D. J. (2008), Dosi's technological paradigms and trajectories: Insights for economics and management, *Industrial and Corporate Change*, 17(3), 507–512. <https://doi.org/10.1093/icc/dtn014>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997), Dynamic capabilities & strategic management, *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.
- Tödttling, F., Lehner, P., & Kaufmann, A. (2009), Do different types of innovation rely on specific kinds of knowledge interactions? *Technovation*, 29(1), 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.05.002>
- Trejo, S. (2010), *La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su facti-*

- bilidad de desarrollo*, Tlaxcala, México. Retrieved from [http://www.gbcbiotech.com/en/imagenes/biotecnologia/33Bio-Tecnologia\\_mexico.pdf](http://www.gbcbiotech.com/en/imagenes/biotecnologia/33Bio-Tecnologia_mexico.pdf)
- Webber, D. J. (1995), The emerging federalism of U.S. biotechnology policy. *Politics and the Life Sciences: The Journal of the Association for Politics and the Life Sciences*, 14(1), 65–72. <https://doi.org/10.1017/S0730938400011783>
- Wield, D., Chataway, J., & Bolo, M. (2010), Issues in the political economy of agricultural biotechnology. *Journal of Agrarian Change*, 10(3), 342–366. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2010.00274.x>
- Woerter, M. (2011), Driving forces for research and development strategies: an empirical analysis based on firm-level panel data, *Economics of Innovation and New Technology*, 20:7, 611–636, DOI: 10.1080/10438591003743738
- Wu, C. W. (2013), Global-innovation strategy modeling of biotechnology industry. *Journal of Business Research*, 66(10), 1994–1999. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.02.024>
- Zawislak, P. A., Zen, A. C., Fracasso, E. M., Reichert, F. M., & Pufal, N. A. (2013), Types of Innovation in Low-Technology Firms of Emerging Markets: An Empirical Study in Brazilian Industry. *Revista de Administração e Inovação*, 10(1), 20. <https://doi.org/10.5773/rai.v10i1.1105>
- Zhai, Y. M., Sun, W. Q., Tsai, S. B., Wang, Z., Zhao, Y., & Chen, Q. (2018), An empirical study on entrepreneurial orientation, absorptive capacity, and SMEs' innovation performance: A sustainable perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/su10020314>
- Zhang, J., Baden-Fuller, C., & Mangematin, V. (2007), Technological knowledge base, R&D organization structure and allian-



ce formation: Evidence from the biopharmaceutical industry. *Research Policy*, 36(4), 515–528. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.015>

Zou, T., Ertug, G., & George, G. (2018), The capacity to innovate: a meta-analysis of absorptive capacity. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 20(2), 87–121. <https://doi.org/10.1080/14479338.2018.1428105>.

# Conclusiones

MARIO ALBERTO MORALES SÁNCHEZ  
MARCELA AMARO ROSALES

El objetivo de este libro es contribuir al análisis y entendimiento de la dinámica empresarial y tecnológica del sector biotecnológico en México; al exponer el resultado de años de investigación por parte de los participantes, quienes –tanto de manera individual como grupal–, hemos establecido diversos tipos de acercamientos al fenómeno de estudio con pluralidad en los enfoques teóricos y metodológicos. Dichos resultados se concentran y profundizan en este trabajo que ha sido financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través del proyecto denominado: “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano”; sin el cual no hubiésemos podido avanzar en el camino que hemos recorrido previamente. El apoyo institucional y financiero de la UNAM ha sido el mecanismo que nos ha permitido contribuir con el objetivo planteado.

Como se mencionó previamente en la introducción de este libro, la biotecnología es un fenómeno que puede ser analizado desde muy distintos ángulos teóricos y metodológicos, pero dada su complejidad, es necesario complementar enfoques más que elegir

entre alguno de ellos. Si bien la biotecnología ha existido a lo largo de la historia de la humanidad, fundamentalmente en la producción de alimentos, es a partir de la aparición de la llamada “biotecnología moderna” con fines industriales, que comenzó a ser objeto de múltiples debates en torno a temáticas muy diversas, que van desde la relación humano-naturaleza, ciencia-tecnología-sociedad, hasta la ética asociada a la ciencia y a la técnica biotecnológica; como la propia determinación de las ganancias asociadas a la modificación de los recursos biológicos y los derechos de propiedad. Obsérvese que todas las aristas alrededor de la biotecnología son sumamente importantes y difíciles de tratar, dadas las fuertes implicaciones que tienen con la vida, la economía y la sociedad en general.

La sociología, la economía, la ciencia política, el derecho y muchas otras ciencias; han aportado diversos análisis sobre los efectos y consecuencias que tiene el desarrollo científico y tecnológico de la biotecnología. Han reconocido que como tecnociencia, su desarrollo y uso no es neutral y está imbricada en un complejo mosaico de relaciones sociales de poder, actores, conflictos y dinámicas. Dicha complejidad también ha implicado posicionamientos políticos en ocasiones contradictorios y enfrentados, donde los agentes que constituyen el sector se encuentran en muchas ocasiones en medio de fuertes debates y polémicas.

Desde la perspectiva económica, la biotecnología es un sector que presenta características distintivas. Su principal insumo productivo es el conocimiento generado en las empresas y en otros organismos del sistema, como universidades y centros de investigación; por lo cual, puede catalogarse como un sector intensivo en conocimiento. Esto tiene al menos dos implicaciones: por un lado, que el conocimiento es un activo que puede valorarse por sí mismo

en el mercado; y por el otro, que las empresas biotecnológicas se valorizan al estar en la frontera del conocimiento científico. Dada esta característica inicial, es fácil deducir que la generación de innovaciones tecnológicas es la estrategia dominante para competir en sectores de esta naturaleza, lo cual provoca tensiones de diversa índole.

Las distintas tensiones que hay dentro y alrededor de la biotecnología, se expresan en una alta incertidumbre asociada a su desarrollo, uso y explotación. La dinámica de cada región o país es tan distinta como la aceptación a sus posibles beneficios o efectos adversos. Cada país ha elegido una forma diversa de posicionarse y movilizar sus políticas públicas; por ejemplo, Estados Unidos ha sido un fuerte impulsor del desarrollo biotecnológico en el sector farmacéutico y agroalimentario. Mientras que algunos países europeos han decidido ser más cautos y han privilegiado la regulación, ya sea del desarrollo de productos o de su consumo.

Sin embargo, también hay países que no han tomado decisiones claras al respecto. Es el caso de México, donde, como lo explica Daniel Villavicencio en el capítulo 2, no ha existido un posicionamiento claro por parte del gobierno mexicano, ya que, a pesar de contar con una serie de regulaciones en torno a la biotecnología, como la Ley de Bioseguridad de Organismo Genéticamente Modificados (LBOGM) o la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) los resultados han sido ampliamente criticados, ya que por un lado se ha argumentado que la LBOGM fue un mecanismo que más que regular, buscaba impulsar el desarrollo biotecnológico en el país (Chauvet, 2015), aunque en términos reales el marco institucional ha fallado como estructura reguladora ya que no existe coordinación ni mecanismos de control, así como tampoco ha sido un incentivo

al desarrollo del sector. Lo que ha existido hasta hoy es una política implícita que no cuenta con objetivos, metas, ni algún tipo de definición en torno a las prioridades de desarrollo biotecnológico y determinación de sus límites. Esto contribuye con un ambiente de incertidumbre que no permite a los agentes locales establecer estrategias de largo plazo; que provocan que las grandes empresas transnacionales aprovechen los vacíos y descoordinación institucional para su beneficio. Aunado a lo que se plantea en el capítulo 2, se agrega el hecho de que actualmente con el gobierno de Andrés Manuel López Obrador, se ha expresado una clara posición negativa sobre los Organismos Genéticamente Modificados (OGMs) lo que se ha cristalizado con la propuesta de modificación a la LBOGM, levantando una serie de fuertes críticas al no ser un cambio consensuado ni puesto a discusión entre los diversos actores del sistema. Además de observarse una tendencia a disminuir la presencia de la CIBIOGEM.

Por su parte, otro de los problemas centrales que enfrenta el sector es la falta de vinculación entre las capacidades académicas que se generan en universidades y centros de investigación y la formación de capacidades en empresas locales. Al ser la biotecnología un sector intensivo en conocimiento, sus principales insumos provienen de la actividad científica. México cuenta con una base de capacidades científicas importante que puede ser canalizada hacia actividades empresariales de alto impacto innovador. No obstante, como plantean Flores Jasso y Avendaño Vázquez en el capítulo 3, uno de los principales problemas para que ocurra una vinculación exitosa entre la academia y la industria es la falta de un lenguaje común que permita alinear los incentivos de los agentes involucrados, en gran medida debido lo que se menciona anteriormente, una falta de políticas públicas activas que tiendan a crear

una sociedad basada en el conocimiento. Una parte importante de el cambio requerido radica en proporcionar las herramientas e incentivos necesarios para que los agentes científicos se interesen en los procesos de innovación tecnológica, lo cual implica acercarlos a las actividades de mercado que favorezcan la valoración de sus conocimientos científicos. Una política que ordene las actividades de los tres pilares fundamentales de un entorno de innovación –academia, sector empresarial y políticas gubernamentales– es necesario para que México entre de lleno en la dinámica del desarrollo del sector, sin embargo, como se ha comentado, aún no existe un esfuerzo en esta dirección por parte de los hacedores de política.

Este libro cierra su proceso en un momento crucial donde se observan cambios institucionales relevantes, los cuales tendrán efectos aún no observados, sobre todo en la actuación de cierto tipo de agentes como las empresas. Si a esto se suma la tendencia que se presenta en el capítulo 4 dentro del contexto global determinado por la concentración a través de fusiones y adquisiciones, el panorama puede ser desalentador en el contexto de proceso de cambio tecnológico que demanda hoy más que nunca del desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas. Tal y como lo plantea Amaro y Sandoval, es necesario repensar las estrategias que las empresas nacionales pueden seguir en un espacio dominado por grandes corporaciones; además de definir cuál es la mejor forma de posicionarse. Una de las maneras de disminuir la brecha tecnológica, es construir trayectorias alternativas, eslabonamientos hacia los insumos, imitación creativa o bloques regionales o sectoriales; tal y como lo muestran los análisis presentados en el capítulo 5 y 6 de Stezano y Amaro respectivamente, donde analizan las particularidades y opciones de las empresas, tanto en el sector farmacéutico como en el agroindustrial. En el primer caso, Stezano plantea la

importancia de las empresas transnacionales (ETN) en los espacios nacionales como organizadoras de alianzas con los grupos locales sin que eso represente una verdadera ventaja a mediano y largo plazos para las empresas nacionales, lo que profundiza las diferencias en la división del trabajo y la posición subordinada en las cadenas globales de valor (CGV). Si bien concluye que las condiciones existentes son pocas, sugiere que el proceso de imitación creativa puede ser un mecanismo oportuno en medio de tanta desigualdad. En el caso del sector agroindustrial y alimentario, se argumenta que este puede ser una opción viable para la biotecnología en México, dado que, a diferencia del sector farmacéutico, existen espacios de oportunidad que pueden representar opciones para las organizaciones de productores agrícolas y para las empresas agroindustriales y alimentaria; aunque no se debe pasar por alto la polarización inherente del sector, lo que puede representar una fuerte barrera al desarrollo tecnológico. Esto no significa que no existan opciones, significa que las estrategias deben ser muy bien pensadas y diferenciadas dependiendo del tipo de actor del que estemos hablando.

De lo anterior se desprende que una parte fundamental para el desarrollo del sector en México, es la formación de capacidades tecnológicas en las empresas locales que les permitan identificar y establecer nichos de mercado de alto valor agregado, o competir con las grandes corporaciones en subsectores muy específicos. Por tal motivo es imperante realizar un análisis de las capacidades con las que cuentan las empresas locales. Un análisis de esta naturaleza es una tarea muy compleja debido a la falta de información y a la volatilidad que muestran las empresas en el sector. A pesar de ello en este libro se realiza un primer esfuerzo inédito en la medición de capacidades tecnológicas en las empresas del sector con base en la

encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México, en el contexto de la Red temática de Conacyt: *Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad*, la cual permite obtener información acerca de las características generales de las empresas dedicadas a actividades biotecnológicas y de sus capacidades en términos de absorción de conocimiento, vinculación, investigación y desarrollo de productos. En los capítulos 8 y 9 se presentan los resultados de medición de capacidades.

En primer lugar, Díaz y Morales han encontrado características muy importantes de las empresas del sector. La primera de ellas es que la mayor proporción de empresas se dedica a la generación de proteínas moleculares, por lo que se encuentran en una fase muy inicial de desarrollo tecnológico, más ligada al desarrollo científico que a la generación de productos y procesos. Otra característica importante es que existe muy baja dependencia de insumos extranjeros, por lo que su volumen de importación en el sector es muy bajo. Este hecho resulta interesante debido a que en México no existe un mercado suficientemente especializado en insumos biotecnológicos, por lo que las empresas locales realizan procesos para los cuales no es necesario contar con ellos. En cuanto a los principales fuentes de conocimiento sorprende descubrir que la mayor parte de las empresas mexicanas obtiene conocimiento de fuentes internas por lo que los principales insumos cognitivos son generados por ellas mismas, este es un dato relevante ya que como se ha mencionado en diversos capítulos el conocimiento es un insumo fundamental en este tipo de sectores. Este dato sugiere que no existen flujos de conocimiento adecuados para que las empresas aprovechen los esfuerzos realizados por otros agentes para la generación de nuevas tecnologías, existen, por tanto, fallas en las capacidades de absorción de las empresas, lo cual puede



deberse a un entramado institucional que no genera los incentivos suficientes para el aprovechamiento adecuado del conocimiento social. La mayoría de empresas que obtienen conocimiento de fuentes externas lo hacen de universidades y otros centros públicos de educación, pero muy pocas utilizan conocimiento generado por otras empresas; por lo tanto, la mayor proporción de empresas que se vinculan, lo hacen con instituciones de ciencia y tecnología, y estos son, en su mayoría, vínculos formales de colaboración. Este es un dato relevante ya que existen capacidades para formalizar convenios de colaboración con otros agentes, de generalizarse este hecho podrían desarrollarse las sinergias necesarias para el robustecimiento formal de un sistema sectorial de innovación, no obstante, por el bajo volumen de empresas que conforman el sector, la vinculación es aún insuficiente. Finalmente, en cuanto a las fuentes de financiamiento, la mayor parte de las empresas financian sus proyectos con recursos propios, mientras que una proporción muy baja recurre a fuentes de financiamiento externas; lo cual es una limitante muy significativa para la expansión del sector, ya que las experiencias internacionales han demostrado que el capital financiero ha jugado un papel muy importante en el financiamiento de las nuevas tecnologías.

Tomando en cuenta estas características, el análisis estadístico realizado por Oliver y Stezano en el capítulo 8 muestra que existe una mayor probabilidad de éxito innovador en la medida en que las empresas mexicanas tienen mayor capacidad de absorber conocimiento de fuentes externas. En un contexto en el que las capacidades de absorción de conocimiento son limitadas como se estableció anteriormente, no resulta sorprendente que las capacidades de innovación de las empresas nacionales en el sector sean muy bajas. Otro dato a destacar es que, de acuerdo con el análi-

sis estadístico, la probabilidad de éxito innovador en el contexto mexicano no se encuentra relacionado con tener departamento formal de I+D, realizar investigación básica, tener patentes, o contar con líneas y portafolios de negocio; lo cual contradice todas las experiencias internacionales. Se puede concluir –con base en esta información– que gran parte de las actividades tecnológicas realizadas por las empresas mexicanas se realizan en un contexto autárquico muy limitado, en el que el conocimiento no fluye de manera adecuada, por lo que la probabilidad de éxito innovador es muy baja. Dadas estas características, la madurez de las empresas es un factor que influye notablemente en la tasa de éxito innovador, es decir, una vez que las mismas han probado tener éxito en el mercado, es más factible que cuenten con capacidades tecnológicas y de innovación. Nuevamente, este es un hecho limitante para el desarrollo del sector, ya que la actividad de las empresas nacientes se encuentra restringida y sin posibilidades de ser impulsadas por políticas públicas de apoyo.

Recapitulando los argumentos anteriores, puede plantearse que el sector biotecnológico en México se encuentra aún en una etapa incipiente de desarrollo, con una clara falta de políticas públicas que confieran incentivos adecuados para la vinculación y trabajo colaborativo entre los diversos agentes que lo conforman; y con bajas capacidades tecnológicas en las empresas nacionales, producto –entre otros factores–, de la falta de generación y absorción de conocimiento susceptible de transformarse en soluciones innovadoras. Los diversos análisis presentados en este libro pueden parecer poco alentadores ante el panorama mundial de constante y vertiginoso desarrollo tecnológico en este sector, sin embargo, es necesario considerar que, con base en un diagnóstico certero, se podrán establecer mejores mecanismos, instrumentos y

herramientas de política pública para su desarrollo. Este libro busca contribuir de manera activa al debate actual en torno al sector, con la toma de decisiones a través de un análisis profundo y claro de la biotecnología en México.













*La Biotecnología en México. innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* fue editado por la Facultad de Economía de la UNAM y se terminó de imprimir el 23 de agosto de 2019 en Tiempo Extra Impresores, Club Pachuca núm. 22 Col Villa Lázaro Cárdenas, Del. Tlalpan, C. P. 14370, Ciudad de México. Se usaron fuentes Book Antiqua 10/15 y 8/11; 336 páginas impresas en offset en papel bond cultural de 90 gramos, en tamaño 21 x 14 cm, encuadernación cosido y pegado en hot melt. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Juan M.M. Puig Llano, Eladio Periañez César y María Fernanda Romero Rodríguez. Tiraje: 500 ejemplares

