



RIDAA
Repositorio Institucional
Digital de Acceso Abierto de la
Universidad Nacional de Quilmes



Universidad
Nacional
de Quilmes

Amaro Rosales, Marcela

Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México : análisis y caracterización de sus principales componentes



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Amaro Rosales, M., Morales Sánchez, M. A. (2016). Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes. *Redes*, 22(42), 13-40. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/1114>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

SISTEMA SECTORIAL DE INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO: ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES*

*Marcela Amaro Rosales** y Mario Alberto Morales Sánchez****

RESUMEN

Con base en el concepto de sistema sectorial de innovación, en este trabajo se analiza la estructura del sector biotecnológico en México a través de los principales agentes que lo constituyen y sus interacciones. El principal objetivo es analizar las diversas interrelaciones y la dinámica en el proceso de desarrollo de diversos tipos de capacidades en el sector biotecnológico. Además de examinar el entramado institucional que da forma a la gobernanza del sistema.

Los resultados de esta investigación permiten afirmar que México aún se encuentra en proceso de conformación de las políticas orientadas a la ciencia, tecnología e innovación en materia de biotecnología, y persisten problemas de coordinación entre los diversos niveles de gobernanza. No obstante, el país cuenta con determinadas características propicias para el desarrollo de capacidades en el sector. Las principales conclusiones se sustentan en la información disponible en bases de datos nacionales y en una serie de entrevistas realizadas a diversos agentes relacionados durante los

* Esta investigación forma parte del proyecto PAPIIT IN307116 “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano”, financiado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

** Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Xochimilco. Correo electrónico: <marcela.amaro.rosales@gmail.com>.

*** UNAM. Correo electrónico: <almoralesanchez@gmail.com>.

últimos cinco años, entre los que se incluyen responsables de la política de ciencia, tecnología e innovación a nivel nacional, empresarios, investigadores, organismos intermediarios, encargados de oficinas de transferencia tecnológica y cámaras empresariales.

PALABRAS CLAVE: BIOTECNOLOGÍA — SISTEMA DE INNOVACIÓN —
CAPACIDADES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS Y DE INNOVACIÓN ECONÓMICO —
SUSTITUCIÓN DE IMPORTACIONES

INTRODUCCIÓN

La biotecnología moderna es una actividad multidisciplinaria sustentada en el conocimiento de frontera que se desprende de distintas disciplinas científicas como lo son la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la genómica y la inmunología. Estas disciplinas permiten el estudio integral de sistemas biológicos que abarcan desde organismos unicelulares hasta organismos multicelulares como plantas y animales. La biotecnología agrupa a una serie de nuevas tecnologías básicas o genéricas.^[1]

En la actualidad la biotecnología ha cobrado gran importancia debido a la ventaja que representa el potencial uso productivo de los seres vivos y sus derivados en muchas industrias, y particularmente en todas las actividades productivas basadas en procesos biológicos (OCDE, 1989).

Gracias a las posibilidades de aplicación, uso y desarrollo de la biotecnología en diversos sectores industriales, se ha considerado que esta puede representar ventanas de oportunidad en términos económicos y sociales. En México ha sido considerada como una tecnología de alto interés dentro de los planes y programas de ciencia, tecnología e innovación (CTI)^[2] a nivel federal y en algunos casos a nivel estatal. Si bien existe un interés manifiesto por el sector biotecnológico, es importante identificar la estructura que podría sustentar su desarrollo en términos económicos, dado que el impulso de dicha estructura debe contar con características específicas: un importante cúmulo de recursos humanos especializados, organismos regulatorios, empresas con potencial de inversión y mecanismos de financiamiento.

[1] Tales como ingeniería genética, fusión celular, mapeo genético, hibridación de ácidos nucleicos, amplificación de genes, etcétera.

[2] Véanse Poder Ejecutivo Federal, *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001-2006*, México y *Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2007-2012*, t. II, México.

El objetivo de este trabajo es la caracterización del sector biotecnológico mexicano, lo cual se hace reflexionando en torno a la pregunta de cuál es el grado de desarrollo de los factores antes mencionados, así como en qué medida la estructura vigente de incentivos induce la constitución de un verdadero sistema sectorial de innovación (SSI) con base en la interacción de dichos factores.

El trabajo se divide de la siguiente manera: en el primer apartado se discuten las aportaciones de la teoría de los sistemas de innovación (SI) desde una perspectiva sectorial. En el segundo apartado se reflexiona sobre la importancia del fomento y desarrollo de un sector de alta tecnología en contextos económicos como el mexicano. En el tercer apartado se presentan y analizan los principales componentes, dinámica y estructura del SSI biotecnológico en México. En el último apartado se realiza un análisis sobre la integración de los factores tecnológico-cognitivos y de innovación que presenta el sistema, y se hace referencia a las tensiones y conflictos que aún prevalecen en el sistema.

SISTEMAS DE INNOVACIÓN

La idea más difundida del concepto de innovación implica la aplicación y el uso de nuevas ideas, conceptos, productos, servicios y prácticas, con el propósito de incrementar la productividad empresarial (Jorde y Teece, 1990: 76; Nelson, 1993). La innovación se relaciona directamente con el mercado, ya que implica la obtención de ganancias extraordinarias por parte de las empresas; aunque también posee una fuerte vinculación con la ciencia y la tecnología desarrollada por las universidades y otras entidades que realizan investigación, ya que su principal insumo es el conocimiento. De manera que la innovación implica la intersección de los sistemas de ciencia y tecnología (CT) y los procesos de mercado (Metcalfe y Ramlogan, 2008: 435).^[3]

Pero la innovación es más que tecnología y mercado; constituye relaciones sociales inmersas en contextos sociales determinados. Conceptos como innovación inclusiva han cobrado relevancia para analizar y entender realidades como la mexicana, ya que se reconoce que la naturaleza del proceso innovador en países en vías de desarrollo se da en marcos institucionales

[3] Considérese, por ejemplo, la definición que establecen Jorde y Teece (1990): “la innovación es búsqueda, descubrimiento, desarrollo, mejora, aprobación y comercialización de nuevos procesos, nuevos productos y nuevas estructuras organizativas y procedimientos”.

con una fuerte carga de informalidad, con reglas poco claras (Altenburg, 2009: 33) e incentivos que en ocasiones son confusos. Lo anterior es determinante y establece grandes diferencias en la dinámica social de construcción de sectores innovadores, ya que si bien ha sido comúnmente admitido en la literatura sobre innovación que el contexto institucional coevoluciona con el desarrollo tecnológico y que la trayectoria depende de las condiciones iniciales socioeconómicas, ha sido poco reconocido el hecho de que en países en desarrollo es necesario pensar en las necesidades sociales y, por tanto, en innovaciones que resuelvan dichas problemáticas.

En la actualidad es ampliamente aceptado que la innovación es un factor clave en el proceso de desarrollo económico (Nelson, 1993); y que el conocimiento generado a través del aprendizaje colectivo es el recurso más importante en dicho proceso (Lundvall y Johnson, 1994: 25). Por lo tanto, la innovación implica una interacción constante y repetida entre diversos agentes del sistema económico, tales como empresas, estructuras de gobierno y centros de investigación (Villavicencio y López, 2009: 11).

Al ser considerado como un fenómeno complejo, la innovación es resultado de procesos interactivos en los que las empresas utilizan recursos propios y externos a través de la cooperación y coordinación con otros actores de su entorno (Villavicencio y López, 2009: 12). Por lo tanto, la innovación es un proceso social que evoluciona con mayor éxito si las empresas se encuentran insertas en una red de interacciones intensivas entre oferentes y compradores de bienes, servicios, conocimiento y tecnología, incluidas las organizaciones del sector público que promueven la infraestructura de conocimiento (Cimoli, 2000). Autores como Dosi (1994) y Lundvall (1992) destacan el hecho de que el estudio de la dinámica innovadora implica analizar aspectos organizacionales e institucionales, así como normas, hábitos, rutinas y prácticas dentro y fuera del ámbito empresarial (Edquist y Johnson, 1997: 43).

Con base en las premisas anteriores ha surgido la teoría de los SI, la cual considera fundamental la comprensión de los procesos de generación y difusión de conocimiento, así como su transformación en tecnología. Para Dahlman y Frischak (1993) “un sistema de innovación es la red de agentes y el conjunto de políticas e instituciones que afectan la introducción de tecnología nueva para la economía”. Este se constituye por un conjunto de instituciones y agentes que contribuyen al desarrollo y difusión de nuevas tecnologías. Además de establecer un marco gubernamental que dota de políticas que influyen en el proceso de innovación. Es un sistema de instituciones interconectadas para crear y transferir los conocimientos, habilidades y artefactos que componen a las nuevas tecnologías (Carlsson, 2006: 57).

Dicho concepto contempla diversos niveles analíticos. En este trabajo se aplica el enfoque de los ssi, ya que si bien existen otras aportaciones teóricas que permitirían entender la construcción de un sector, se considera que el concepto de ssi sigue siendo útil para analizar lo que sucede con la biotecnología en México, ya que se pueden identificar agentes e interacciones, objetivo fundamental de este trabajo.

Un sector productivo se conforma por determinadas actividades económicas relacionadas con un grupo de productos que satisfacen una demanda determinada y que comparten ciertos conocimientos básicos en cuanto a técnicas productivas, canales de distribución, etc. (Malerba, 2004). El ssi agrupa a todos los agentes que participan en la producción y distribución de productos y servicios dentro de un sector económico, así como su interrelación recíproca y con otros agentes del sistema, como centros de investigación, agencias gubernamentales, etc. Todos estos actores interactúan a través de procesos de comunicación, intercambio, cooperación, competencia, mando, etc., y sus interrelaciones están determinadas por el marco institucional vigente. El ssi se encuentra en un proceso continuo de cambio y transformación a través de la coevolución de sus diversos componentes: conocimiento, tecnología, agentes, interacciones, redes e instituciones (Malerba, 2004).

Una diferencia importante que presenta esta investigación con respecto a otros estudios similares es que la gran mayoría de estos refieren experiencias exitosas descritas *a posteriori*. Sin embargo, en el caso de México la evidencia demuestra la existencia de un ssi incipiente, con capacidades importantes de innovación, pero aún desarticuladas, como se analizará más adelante. Por lo tanto, en el contexto específico del sector biotecnológico en México cobran especial importancia retomar algunos factores contemplados parcialmente en la concepción de ssi, tales como la estructura institucional, la generación de incentivos y las barreras a la innovación.

BIOTECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

Existe un conjunto de estudios que consideran a las diversas tecnologías emergentes, como las tecnologías de la información, la nanotecnología, la genómica y la biotecnología, ventanas de oportunidad potenciales para el fomento económico regional, sectorial y nacional. Autores como Pérez (2004) plantean que estas tecnologías articulan un nuevo paradigma tecnológico en ciernes, que puede impulsar un cambio productivo, industrial y económico a nivel mundial. En el caso particular de la biotecnología,

estudios recientes concluyen que diversas variables como las políticas públicas de CTI, la creación o modificación de incentivos en distintos niveles, el sistema educativo, las leyes, reglamentaciones y los derechos de propiedad, etc., han jugado un rol muy importante en la promoción y el crecimiento de dicha tecnología (Momma y Sharp, 1999; Dohse, 2000; Mehra, 2001; Kaiser y Prange, 2004; Adeoti y Adetola, 2005; Hsu, Shyu y Tzeng, 2005; Niosi y Banik, 2005; Gittelman, 2006; Lynskey, 2006; Van der Valk, Moors y Meuss, 2009).

Como se mencionó anteriormente, la importancia fundamental de la biotecnología desde la perspectiva económica radica en el uso productivo de los seres vivos, sus funciones y derivados, así como su difusión y aplicación a nivel industrial en diversos sectores económicos, y particularmente en todas las actividades productivas basadas en procesos biológicos (OCDE, 1989). El uso económico de la biotecnología implica el desarrollo de nuevos productos que disminuyen costos de producción, obtenidos de las mayores posibilidades de manipulación de organismos y sus derivados; permite además el diseño y operación de procesos más eficientes en cuanto al uso de energía, materias primas, insumos orgánicos, etc., lo que en el largo plazo podría permitir el auge de nuevos patrones de producción sostenibles en el tiempo (Jaffé y Trigo, 1993). Debido a lo anterior se considera que la biotecnología representa oportunidades potenciales de crecimiento económico, dadas las diversas aplicaciones y derrames que puede tener en varios sectores industriales como el alimentario, agroindustrial, pecuario, medioambiental y farmacéutico, entre otros.

El impulso de la biotecnología como sector económico estratégico requiere de la conformación de una estructura institucional que fomente las actividades tecnológicas y de investigación en las diferentes áreas que conforman el sector, además de establecer mecanismos regulatorios claros que ayuden a disminuir la incertidumbre de los agentes involucrados. Si bien en México la biotecnología ha sido considerada como un área estratégica de crecimiento en los recientes programas especiales de cyt, no existe aún una estrategia articulada para su fomento, lo que ha propiciado una evolución desigual de los diversos agentes que conforman el ssi.

LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA SECTORIAL DE INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICO EN MÉXICO

Los agentes relevantes en la conformación de un ssi biotecnológico son, en primera instancia, las empresas con potencial de implementar o finan-

ciar proyectos innovadores; en segundo lugar, los Centros Públicos de Investigación (CPI) que, en conjunto con las Instituciones de Educación Superior (IES), son los principales generadores de conocimiento científico y técnico; así como los encargados de formar y capacitar los recursos humanos en cyT. En tercer lugar, se encuentran las diferentes agencias gubernamentales encargadas de constituir las instituciones que confieren viabilidad al proceso de interacción, mediante la estipulación de reglas, normas y mecanismos de financiamiento que incentivan la actividad de los agentes involucrados.

No obstante, las características y dinámica del ssi biotecnológico en los países desarrollados son distintas a las de los países en vías de desarrollo. Por ejemplo, en México las grandes empresas biotecnológicas rara vez financian investigación básica, por el contrario, son selectivas en la elección de un área particular de oportunidad. En México tampoco se cuenta con una amplia infraestructura que suministre los recursos necesarios a los centros universitarios de investigación para que se sitúen en la frontera de la investigación científica; por lo que son pocos los que cuentan con reconocimiento a nivel internacional. A pesar de que las empresas extranjeras reconocen el potencial de la investigación nacional y la importancia del mercado mexicano, son pocos los proyectos financiados y aun menos la investigación y el desarrollo (I+D) que se realizan en el país.

Debido a lo expresado, el sector biotecnológico en México aún no se encuentra consolidado. Existen ciertas áreas que cuentan con un potencial claro de expansión y con la calidad para competir a nivel internacional, pero todavía es insuficiente la cantidad de recursos –humanos y físicos–, organizaciones e instituciones involucradas. A continuación, se presenta un panorama general de los distintos componentes y agentes que conforman el ssi biotecnológico en México.

Empresas

Las empresas biotecnológicas se dividen en cinco categorías principales: empresas de innovación biotecnológica, de innovación en ingeniería, de manufactura de productos biotecnológicos, de servicios técnicos y analíticos, y consumidoras de productos e ingredientes biotecnológicos. Las empresas dedicadas a la innovación son las que dominan la cadena de valor y las que determinan la tendencia tecnológica a nivel mundial (Amaro, 2014). México cuenta con pocas empresas nacionales de este tipo, debido a que es un estrato que se encuentra dominado por las grandes empresas

internacionales, las cuales tienen la capacidad financiera y tecnológica para desarrollar innovaciones en procesos y productos.

De acuerdo con diversas investigaciones realizadas para el sector, en México se encuentran principalmente, por un lado, empresas que asimilan y adaptan tecnología y, por el otro, empresas consumidoras de productos biotecnológicos. Esta situación podría representar una desventaja en términos del desarrollo de soluciones innovadoras, sin embargo, es factible considerar que existen oportunidades importantes para aprovechar el conocimiento científico y tecnológico existente, especialmente en nichos de mercado para pequeñas y medianas empresas nacionales (Amaro, 2014).

Con base en los datos publicados por Trejo (2010), en México existen alrededor de 303 empresas biotecnológicas en diversos sectores industriales. Las empresas de biotecnología farmacéutica son las que ocupan el primer lugar con el 36%; en segundo lugar, las de agrobiotecnología, con el 21%; biotecnología alimentaria, en tercer lugar, con el 14%; fermentaciones y productos biológicos, con el 8%, pecuaria con el 6% y ambiental con el 5%. De las empresas mencionadas solo una pequeña porción se dedica al desarrollo de biotecnología, ya que la gran mayoría se ubica en la categoría de empresas usuarias o consumidoras de productos o ingredientes biotecnológicos. Esto es comprensible dado que la estructura industrial dominante en el sector es de pequeñas y medianas empresas, las cuales tienen escasa capacidad para realizar I+D.

En México no existe información suficiente sobre el tipo y la actividad de empresas que realizan biotecnología; lo cual se agrava debido a que es un sector muy cambiante con un corto ciclo de vida de algunas de las empresas, sobre todo las micro y las pequeñas. Existen algunos métodos para identificar a dichas empresas, uno de ellos es a través de las patentes que generan. Las patentes representan una muestra importante de empresas con capacidades de I+D. A partir de una búsqueda en las bases de datos de la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO, por sus siglas en inglés) y del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), para el período 2009-2014 se obtuvieron los resultados que se expresan en el cuadro 1.^[4]

Se observa que en el IMPI la empresa que más patentes registra es TGT Laboratories, la cual se ubica en el sector salud, específicamente en terapia genética para diversos tipos de enfermedades. En segundo lugar, se encuentra Laboratorios Silanes, empresa que también tiene el primer lugar en el

[4] La búsqueda realizada implicó la identificación del total de patentes en biotecnología registradas en ambos países. De allí se extrajeron las patentes correspondientes a titulares mexicanos y se identificó la institución de pertenencia.

número de patentes registradas en USPTO, y que pertenece al área de salud humana, con desarrollos tecnológicos importantes en fármacos, nutracéuticos, diagnósticos y antivenenos. Es importante destacar que las dos empresas mexicanas con mayor número de patentes se ubican en el sector de la salud humana.

Entre las empresas que patentan también se encuentran Boehringer Ingelheim Vetmedica, que forma parte de la corporación farmacéutica alemana del mismo nombre, y que cuenta con un área de I+D en salud animal en México especializada en diversas especies de compañía, aves, bovinos y porcinos.

Cuadro 1. Empresas mexicanas en el sector biotecnológico con patentes en IMPI y USPTO (2009-2014)

Empresa	Número de patentes en IMPI	Empresa	Número de patentes en USPTO
TGT Laboratories	4	Laboratorios Silanes	10
Laboratorios Silanes	2	Boehringer Ingelheim Vetmedica	4
METCO	2	Instituto Bioclon	3
PROLEC-GE Industrias	1	TGT Laboratories	3
Boehringer Ingelheim Vetmedica	1	Cosmocel	1
Laboratorio AVI-MEX	1	IASA	1
Empacadora San Marcos	1		
Impulsora Nacional de Innovación Tecnológica	1		
CRYOINFRA	1		
Sigma Alimentos	1		
Asepro Ecología	1		
Alternativas Bioenergéticas	2		

Fuente: Elaboración propia con base en información de USPTO e IMPI (2014).

Si bien las empresas que patentan representan un subconjunto del total de empresas biotecnológicas, puede inferirse que son precisamente las que cuentan con mayores capacidades de innovación. Al considerar que en el país existen alrededor de 300 empresas que tienen alguna relación con la biotecnología y solo el 5% registran patentes, puede concluirse de manera preliminar que hay una baja capacidad de innovación por parte del sector empresarial.

Otra forma de identificar empresas que realizan innovación en el sector es a través de su participación en los fondos de apoyo federal financiado a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Secretaría de Economía y otras instituciones. Se analizaron un total de 2.519 aprobados en años recientes por diversos fondos de financiamiento federal como AVANCE, Fondo de Innovación Tecnológica, Programa de Estímulos a la Innovación, Fondo SAGARPA^[5] y la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM),^[6] de los cuales se ubicaron 176 proyectos que realizan algún tipo de investigación, proceso, desarrollo o producto relacionado con el sector biotecnológico en distintas áreas. De dichos proyectos se localizaron 142 empresas distintas que han aplicado a este tipo de incentivos, que cuentan también con capacidades importantes de I+D. El problema fundamental con esta búsqueda es que, si bien los proyectos se realizaron en alguna área relacionada con la biotecnología, no hay certeza de que la empresa pertenezca al sector; es decir, pueden ser empresas de cualquier sector económico que realizan investigación en biotecnología.

Finalmente, con base en entrevistas y un trabajo de campo que hemos realizado con diversos agentes de la biotecnología en México, podemos concluir que existe un grupo significativo de empresas dentro del sector que desarrollan innovaciones adaptativas o de mejora de procesos, sobre todo en el sector agrícola y alimentario, que se distinguen de otro grupo de empresas menos numeroso en el área de salud humana y veterinaria, las cuales se caracterizan por contar con una mayor capacidad para realizar

[5] Esta información fue obtenida de “Diagnóstico sobre la relación oferta-demanda de los posgrados del sector productivo”, proyecto coordinado por el doctor Daniel Villavicencio, a quien agradecemos su permiso para el uso de dichos datos.

[6] La CIBIOGEM es un órgano del Poder Ejecutivo Federal encargada de establecer políticas relacionadas con el uso seguro de los organismos genéticamente modificados (OGM). Este organismo también financia proyectos de investigación. De 2010 a la fecha ha financiado once proyectos vinculados en su mayoría a diagnósticos sobre diversidad genética, tolerancia, sensibilidad, etc., de diversas especies vegetales mexicanas, como el maíz. Esta información se encuentra disponible en: <<http://www.conacyt.mx/cibiogem/>>.

inversiones en I+D y por establecer relaciones colaborativas con diversas IES o CPI, con la finalidad de competir en mercados dominados por grandes laboratorios internacionales.

Organismos de apoyo y soporte

Entre los organismos de soporte se localizan todas aquellas organizaciones, grupos especializados, proveedores de bienes intermedios y bienes de capital, además de todas aquellas instituciones que facilitan el desarrollo de la biotecnología, como es el CONACYT, los Consejos de Ciencia y Tecnología Estatales, las distintas sociedades científicas, como la Sociedad Mexicana de Toxicología o la Sociedad Mexicana de Biotecnología (SMB), la Asociación Farmacéutica Mexicana, la Asociación Mexicana de Bioquímica Clínica, la Sociedad Mexicana de Biología Celular, la Sociedad Mexicana de Genética, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Sociedad Mexicana de Control Biológico, la Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO), la Asociación Mexicana de Genética Humana A. C., la Asociación Mexicana de Bioquímica Clínica, la Sociedad Mexicana de Fitogenética, la Academia Mexicana de Ciencias y la ya mencionada CIBIOGEM. Así como una serie de organizaciones: la Red Mexicana de Bibliotecas Agropecuarias, la Sociedad Mexicana de Control Biológico, el Instituto Nacional de Medicina Genómica, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, Agrobio México y las diversas cámaras empresariales relacionadas con los sectores de interés para la biotecnología.

Los organismos antes mencionados, algunos de ellos públicos, se encargan de procesos de reglamentación, vigilancia y formulación de políticas públicas que influyen en el sector. Existen también algunas organizaciones privadas, sobre todo aquellas en las que se agrupan empresas interesadas en fomentar o desarrollar la biotecnología. Por otra parte, hay algunas asociaciones privadas que están en desacuerdo con cierto tipo de aplicaciones biotecnológicas, principalmente asociaciones civiles y organizaciones no gubernamentales.

Centros Públicos de Investigación

En México existen capacidades muy importantes de investigación científica básica y aplicada que se desarrollan principalmente en las IES y en los CPI. Dichas capacidades han sido promovidas y fortalecidas a través de distintas políticas públicas a nivel federal y estatal.

La estructura de los CPI en el país se compone de dos tipos de centros: aquellos que dependen de alguna secretaría de Estado y los que pertenecen a CONACYT. Los primeros suman once en total, de los cuales tres tienen relación con la biotecnología agrícola, alimentaria y medioambiental —el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el IMTA y el Colegio de Posgraduados— y dos más pertenecen al área de la salud —el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) y el Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán—, que se destacan por sus importantes investigaciones relacionadas con la biotecnología aplicada a dicho sector.

En lo que se refiere al sistema de centros CONACYT, se compone de 27 instituciones de investigación que abarcan los principales campos del conocimiento científico y tecnológico. Según sus objetivos y especialidades se agrupan de la siguiente manera: diez centros pertenecen al área de ciencias exactas y naturales, ocho a la de ciencias sociales y humanidades, ocho más se especializan en desarrollo e innovación tecnológica y uno en el financiamiento de estudios de posgrado. Algunos de estos centros realizan investigación básica o aplicada vinculada directa o indirectamente con la biotecnología. En el cuadro 2 se ubican los que tienen una mayor relación.

Si bien la existencia de centros de investigación es una condición necesaria para la conformación de un sistema de innovación, no es suficiente porque se requiere de un proceso de articulación con los demás agentes involucrados. Esto implica el establecimiento de objetivos, metas y proyectos conjuntos con la finalidad de resolver problemas específicos, lo que determina la creación de sinergias positivas e instaura una dinámica de aprendizaje y la generación de capacidades tecnológicas y de innovación.

En México este es un tema pendiente, ya que, si bien se cuenta con importantes capacidades científicas y tecnológicas en los CPI, aún no existen mecanismos suficientes para promover relaciones generalizadas con empresas. A pesar de algunos intentos por motivar a los investigadores para que se relacionen con empresas en diversos proyectos, todavía perduran barreras importantes para la vinculación y colaboración, tanto por parte de los CPI como de las empresas. Persisten problemas para establecer líneas de investigación conjunta, problemas burocráticos para la formulación de convenios, poca claridad en el tema de propiedad intelectual, problemas de comunicación y lenguaje, problemas de difusión del conocimiento y, en la mayoría de las ocasiones, hay un desconocimiento mutuo de lo que hace el otro, con lo que se dificulta encontrar pautas de trabajo conjunto (Amaro y Robles, 2013).

Cuadro 2. Centros Públicos de Investigación CONACYT relacionados con la biotecnología

Área	Centro
Ciencias exactas y naturales	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.
	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.
	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada B. C.
	Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. (CICY)
	Centro de Investigación en Matemáticas A. C.
	Instituto de Ecología A. C.
	Instituto Potosino de Investigación Científica
Desarrollo tecnológico	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas
	Centro de Tecnología Avanzada A. C.
	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C.
	Centro de Investigación en Química Aplicada

Fuente: Elaboración propia con base en CONACYT (2015).

Instituciones de Educación Superior

México cuenta con un sistema educativo compuesto por universidades privadas y públicas –tecnológicas, politécnicas, estatales y autónomas–. En la mayoría de ellas se lleva a cabo la formación de recursos humanos a nivel licenciatura y posgrado, pero también se desarrollan actividades de investigación a través de institutos, laboratorios y facultades.

La institución educativa que concentra gran parte de la investigación científica y tecnológica en el país es la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), seguida por el Centro de Investigación y de Estudios

Avanzados (Cinvestav), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y finalmente la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Cada una de estas instituciones cuenta con áreas, departamentos o unidades que realizan investigación en distintas áreas de la biotecnología.

La UNAM cuenta con el Instituto de Biotecnología (IBT), el Centro de Ciencias Genómicas, el Instituto de Bioquímica, el Instituto de Biología y con facultades relacionadas con el área, como la de Biología, la de Química y la de Medicina; todas, de manera directa o indirecta, realizan investigación sobre biotecnología. En el caso del IPN, se encuentra el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, el Centro de Biotecnología Genómica y el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos.

El Cinvestav, también del IPN, es una institución que lleva a cabo importantes investigaciones en biotecnología. Cuenta con campus en Coahuila, Monterrey, Tamaulipas, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Zacatenco, Coapa y Yucatán. Entre ellas se destaca la unidad de Guanajuato, gracias a sus importantes líneas de investigación en biotecnología agrícola y alimentaria, y por contar con el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBO), que tiene un amplio prestigio por su investigación en líneas como la ingeniería genética, la biotecnología de plantas y la bioquímica.

Otra institución educativa relevante es la UAM, que desarrolla investigación mediante sus departamentos del área de Ciencias Biológicas y de la Salud, integrados por el Departamento de Biología, el de Biología de la Reproducción, Biotecnología, Ciencias de la Salud, Hidrobiología, Producción Agrícola y Bioanimal y por el Departamento de Ciencias Naturales e Ingeniería, llamado Procesos y Tecnología. Existen áreas de investigación destacadas en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), como el Centro de Investigación en Biotecnología, el Centro de Investigaciones Biológicas y el Centro de Investigaciones Químicas. Y finalmente el Tecnológico de Monterrey, que cuenta con el Centro de Biotecnología, donde se trabajan las líneas de ingeniería en bioprocesos, biotecnología farmacéutica médica, química biológica y biotecnología de alimentos.

Recursos humanos

El desarrollo de la biotecnología requiere de recursos humanos altamente calificados en las áreas de biología, química, medicina, bioquímica, informática y matemáticas. Sin embargo, es muy complicado identificar con exactitud el total de recursos humanos directamente relacionados con el sector en las distintas áreas de conocimiento. Por tal motivo en este trabajo se utilizan

solo aquellos indicadores que refieren directamente al área de biotecnología, es decir, se consideran a los investigadores que han declarado pertenecer directamente a ella y a los estudiantes ubicados en licenciaturas y posgrados en biotecnología. Es necesario advertir que este procedimiento puede subdimensionar la cantidad real de recursos humanos destinados a esta área.

En primer lugar, se considera el número de investigadores pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). La comunidad de investigadores del SNI se encuentra conformada por científicos de todas las áreas de conocimiento, que han pasado por una evaluación de pares académicos que reconocen su calidad. La importancia del trabajo de los SNI radica en que gran parte de la investigación que realizan se encuentra en la frontera del saber humano y tiene potencialmente múltiples impactos en diversos ámbitos de la sociedad. Aunque no toda la investigación científica y tecnológica en el país es realizada por miembros del SNI, debe considerarse que la estructura del propio programa genera incentivos para que cualquier investigador que realice aportaciones importantes al conocimiento pertenezca a dicho programa y aspire a progresar en la jerarquía. Al ser gratificado con un apoyo económico, cualquier investigador perteneciente a una institución de educación superior que realice investigaciones trascendentes deseará ser miembro del SNI y permanecer en él el mayor tiempo posible.

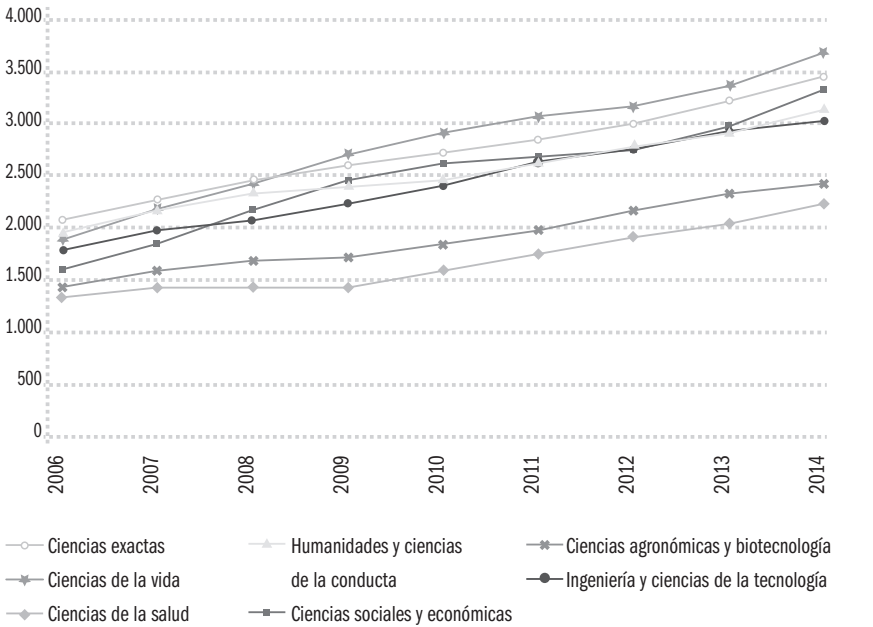
Por tal motivo, puede considerarse que los investigadores SNI contribuyen con un porcentaje muy importante de conocimiento social científico y tecnológico. Aunque resultaría importante contar con una estimación del conjunto de investigadores que no pertenecen al SNI —ya que ellos también generan conocimiento—, no existe ningún instrumento que arroje información al respecto, por lo que no podemos incorporar dicha variable en nuestro análisis.

En el gráfico 1 se observa la evolución de los investigadores del SNI en el área de biotecnología, en comparación con las otras seis áreas que componen dicho sistema. Se aprecia que a lo largo del tiempo ha ido creciendo el número de investigadores en el área de biotecnología, aunque ocupa el sexto lugar de importancia en cuanto a número de investigadores.

Además de considerar a los investigadores del SNI, es importante tener en cuenta el comportamiento de la matrícula de estudiantes a nivel licenciatura (gráfico 2). De acuerdo con la información presentada por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior en México (ANUIES), la matrícula en carreras de biotecnología ha ido al alza. Las tres universidades que concentran el mayor número de matriculados son el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), el IPN y el Instituto Tecnológico de Sonora.

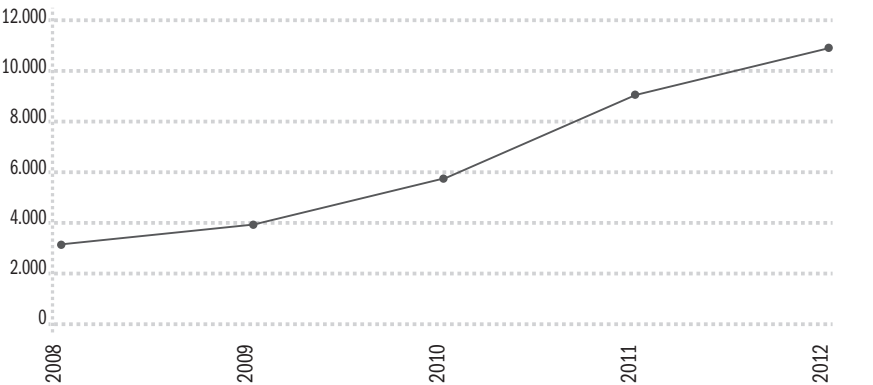
Al analizar la matrícula de posgrado en el área de biotecnología, podemos observar que también ha ido en aumento (gráfico 3). Su constante creci-

Gráfico 1. Total de investigadores del SNI por área (2006-2014)



Fuente: Elaboración propia con base en información de CONACYT (2006-2014).

Gráfico 2. Matrícula en carreras de biotecnología (2008-2012)



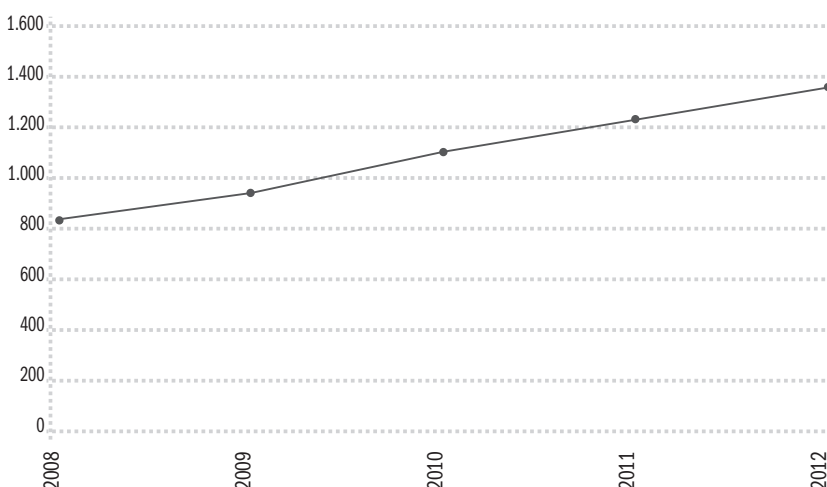
Fuente: Elaboración propia con base en información de ANUIES (2008-2012).

miento puede ser un indicador aproximado de la importancia que ha ido adquiriendo como ciencia emergente. Esto también se traduce en un cúmulo importante de recursos humanos altamente calificados disponibles no solo para el desarrollo científico, también para el desarrollo tecnológico. Sin embargo, el crecimiento de las capacidades científicas no es equiparable al número de empresas que podría demandar este tipo de recursos.

En el gráfico 4 se observa desglosada la matrícula por nivel en el área de biotecnología; esto incluye el grado de especialidad, maestría y doctorado. En ella se observa que en el 2011 en México creció de manera significativa el número de estudiantes a nivel especialidad, mientras que el número de alumnos a nivel maestría y doctorado decreció, a pesar de haber mostrado un crecimiento constante hasta el 2011. Dicho decremento no es exclusivo del sector biotecnológico, se verifica también en el resto de áreas a nivel posgrado durante el mismo período, lo cual implica que la matrícula a nivel país disminuyó en términos generales debido a una disminución del financiamiento federal.

Lo anterior coincide con algunas entrevistas realizadas con empresarios del sector, quienes expresaban la necesidad de licenciados o ingenieros en biotecnología con conocimientos particulares y especializados, pero no con maestría o doctorado, dado que podrían estar sobrecalificados para las necesidades de la empresa. Esto expresa el tipo de empresas biotecnológicas

Gráfico 3. Matrícula total de posgrado en el área de biotecnología (2008-2012)



Fuente: Elaboración propia con base en información de ANUIES (2008-2012).

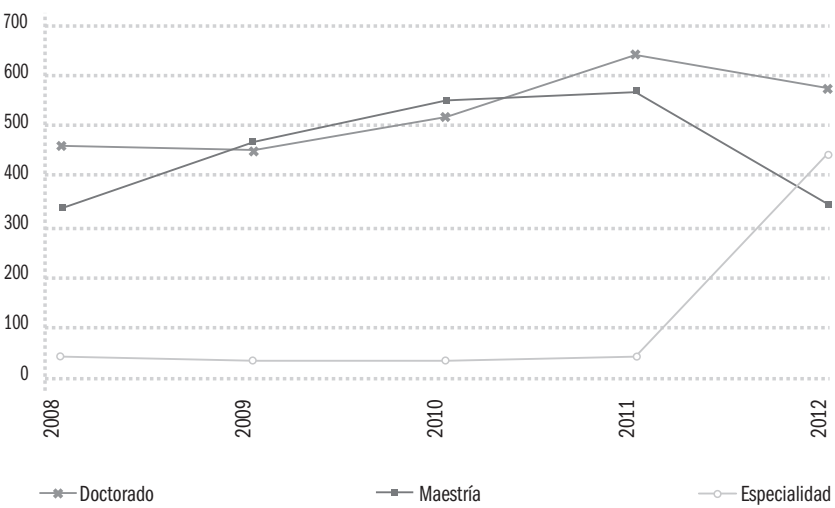
mexicanas, que aún no están en una trayectoria innovadora, sino que en muchos casos sustituyen procesos o productos. No quiere decir que no requerirán en el futuro recursos humanos especializados de mayor calidad –de hecho, se esperaría que suceda eso–, sino que expresa la fase de desarrollo de las empresas.

Patentamiento

Una patente es un derecho de propiedad otorgado por el gobierno de un país, en el que se reconoce al inventor de un proceso o un producto, y al dueño que tiene el derecho exclusivo de explotar económicamente dicho invento. La invención debe tener tres características: ser novedoso, tener aplicación industrial y no ser trivial, lo que significa que debe ser el resultado de un proceso científico o ingenieril (Reyes, 2011: 95).

Las patentes son generalmente utilizadas como un indicador de resultado, ya que se obtiene una vez que ha concluido un largo proceso previo de investigación y desarrollo tecnológico. En sí misma la patente no representa éxito comercial, aunque un alto número de patentes refleja capacidad científica, capacidad tecnológica y de innovación en el área en cuestión.

Gráfico 4. Matrícula por nivel en el área de biotecnología (2008-2012)



Fuente: Elaboración propia con base en información de ANUIES (2008-2012).

Para el caso de México, se realizó una búsqueda en el IMPI y la USPTO en el período 2009-2014 en biotecnología, lo que arrojó los siguientes resultados. De las 85.874 patentes registradas en el sector biotecnológico en USPTO, 50 pertenece a titulares mexicanos, de las cuales el 61,4% son propiedad de universidades o CPI, con una amplia predominancia de la UNAM, en primer lugar, seguido del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas y, en tercer lugar, el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición. Las empresas representan el 38,6% restante y, como se expuso previamente, prevalecen empresas del área de salud humana y veterinaria.

En el IMPI se registraron 9.796 patentes, de las cuales el 1% pertenece a titulares mexicanos. De estas, la mayoría pertenece a instituciones públicas y su distribución se detalla en el cuadro 3.

Marco institucional

Debido a la naturaleza del sector biotecnológico, su relación con los organismos vivos y los resultados que derivan de ellos, ha sido fundamental el desarrollo de un marco institucional compuesto por una serie de leyes y reglamentaciones que permiten disminuir la incertidumbre inherente con el desarrollo de las tecnologías asociadas con dicho sector. Se ha generado a nivel internacional y nacional una serie de protocolos y pruebas que certifican distintas propiedades de los productos biotecnológicos, sobre todo lo referente a la inocuidad y el posible riesgo de los organismos transgénicos. En el caso de México se han adoptado las recomendaciones provenientes del Convenio sobre la Diversidad Biológica de la Organización de las Naciones Unidas, el Protocolo de Bioseguridad de Cartagena de la Organización Mundial de la Salud, la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, la Organización Norteamericana de Protección de Plantas –la cual desarrolla la Norma Regional sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF N° 14)–, la Organización Mundial de Sanidad Animal, la Comisión del Codex Alimentarius y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; además de formularse un propio esquema legal que incluye a la Ley de Sanidad Vegetal, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, la Ley Federal de Variedades Vegetales, la Ley Federal de Derechos de Autor, la Ley de Propiedad Industrial y la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (Amaro y Villavicencio, 2015).

Además de las distintas leyes y reglamentaciones, México cuenta con organismos como la CIBIOGEM, que es la encargada de establecer las políticas relativas a la seguridad de la biotecnología con respecto al uso de OGM,

además de las políticas de producción, importación, exportación, movilización, propagación, liberación, consumo, uso y aprovechamiento de los OGM, sus productos y subproductos. Asimismo, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, que en términos generales se encarga de todo lo relacionado con la salud, asume como una de sus funciones

Cuadro 3. Patentes otorgadas por el IMPI a instituciones públicas nacionales

Instituciones públicas nacionales	Participación (%)
UNAM	45,57
Cinvestav	10,13
UAM	6,33
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco	5,06
Instituto Mexicano del Seguro Social	3,80
IMTA	3,80
IPN	3,80
Instituto Mexicano del Petróleo	3,80
INSP	2,53
Universidad de Guanajuato	2,53
INIFAP	2,53
ITESM	2,53
Universidad Autónoma de Yucatán	1,27
Universidad Autónoma de Nuevo León	1,27
Universidad de las Américas Puebla	1,27
CICY	1,27
Instituto de Investigaciones Eléctricas	1,27
Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz	1,27

Fuente: Elaboración propia con base en información de USPTO e IMPI (2014).

la de supervisar el control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y sus componentes, células de seres humanos, lo que se relaciona directamente con la biotecnología médica. Y, finalmente, la Comisión Nacional de Bioética, órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud, que tiene autonomía técnica y operativa y es responsable de definir las políticas nacionales que plantea esta disciplina.

En el país existe un marco institucional que podría conferir certidumbre a los distintos agentes que componen el sector; sin embargo, con base en el trabajo de campo realizado, es posible afirmar que el marco regulatorio aún es débil, por lo que no es un factor decisivo en conducta de los agentes, sobre todo debido a su poca capacidad para generar incentivos económicos y aplicar sanciones. Lo que se observa es que la mayoría de decretos, normas y leyes, así como las organizaciones encargadas de promulgarlas y ejecutarlas, no han tenido un papel decisivo en el sector, ya sea para fomentar el desarrollo tecnológico o para reglamentarlo. Esta situación genera problemas en diversos sentidos, ya que, si bien existen organizaciones y leyes regulatorias, no representan un marco coherente y ordenado con objetivos comunes.

Puede afirmarse que coexiste un vacío institucional profundo que distorsiona al sistema, debido a que no disminuye la incertidumbre, por el contrario, genera mayores controversias. Lo anterior se debe en gran medida a la carencia de coordinación institucional derivada de la falta de un plan estratégico del sector, resultado también de la inexistencia de políticas públicas articuladas de cyt (Amaro y Villavicencio, 2015: 59).

Políticas públicas

Como se mencionó previamente, existen una serie de estudios que consideran una relación directa entre las transformaciones institucionales y el impacto de estas en la evolución de la biotecnología (Momma y Sharp, 1999; Dohse, 2000; Mehra, 2001; Kaiser y Prange, 2004; Adeoti y Adetola, 2005; Hsu, Niosi y Banik, 2005; Shyu y Tzeng, 2005; Gittelman, 2006; Lynskey, 2006; Van der Valk, Moors y Meuss, 2009). Una parte complementaria del marco institucional es el tema de las políticas públicas, entendidas como una serie de mecanismos que generan incentivos para direccionar la conducta de los agentes hacia un fin determinado y alinean las prioridades nacionales, regionales o sectoriales. En México no existe una política integral dirigido al sector, sino una serie de programas que atienden ciertas particularidades.

México cuenta con un esquema general de políticas públicas que incluye fundamentalmente a la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico de 1999, la de Ciencia y Tecnología, la Ley Orgánica de CONACYT de 2002 y los Programas Especiales de Ciencia y Tecnología que son el principal instrumento para la aplicación de la política de cyt (Amaro, Morales y Villavicencio, 2010). En estos últimos se ha planteado la importancia de la biotecnología para el desarrollo científico, tecnológico y económico del país, y han dado lugar a la iniciativa del Programa para el Desarrollo de la Bioseguridad y la Biotecnología, en el que se establecen una serie de líneas de acción y un diagnóstico sobre el sector, que destaca la importancia de la investigación científica básica, las capacidades desarrolladas por investigadores y recursos humanos en general, la falta de conexión con empresas, industrias y mercado. Por tanto, una de las estrategias primordiales es fomentar la vinculación y consolidar un esquema de políticas públicas. Si bien este diagnóstico es adecuado, no se plantean los mecanismos específicos a través de los cuales se puedan mejorar dichas condiciones.

Ante la carencia de un programa o plan específico para el desarrollo de la biotecnología en el país, se ha implementado una serie de programas que no son específicamente para el sector, pero que están abiertos a cualquier tipo de empresa, CPI o IES y, por tanto, son el principal mecanismo de financiamiento para proyectos de desarrollo tecnológico. Dado que analizar el impacto que tienen estos programas como mecanismos para incentivar la actividad innovadora requiere de un trabajo exhaustivo y ese no es el objetivo principal de este trabajo, solo haremos mención de ellos para contextualizar el soporte institucional del SSI en biotecnología.

CONACYT es el encargado de la operación de los fondos para el desarrollo tecnológico; en el caso de la biotecnología, se puede acceder a los Fondos Mixtos, al Fondo de Innovación Tecnológica, al Programa de Estímulos a la Innovación, Fondo SAGARPA, Fondo Salud y Fondo Avance. Cada uno de ellos tiene sus particularidades y apoya diversas acciones o etapas de proyectos específicos. Como hicimos referencia previamente, existen estudios que analizan el tipo de proyectos, empresas, desarrollos tecnológicos e innovaciones que se desarrollan, y destacan que la mayoría de estas son sustitutivas de importaciones y mejoradoras de procesos y productos. Esto quiere decir que, como tendencia, no se financian proyectos con innovaciones disruptivas.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la biotecnología como sector económico y de innovación implica la creación de distintos tipos de capacidades: científicas, tecnológicas, de absorción, de innovación, organizacionales e institucionales. Al analizar cada uno de los componentes necesarios para el desarrollo del sector en México, bajo la concepción de sistema sectorial de innovación, se observan desigualdades y diferencias considerables; por ejemplo, destaca la existencia de importantes capacidades científicas, pero se contrapone con las incipientes capacidades tecnológicas y de innovación. Desarrollar capacidades tecnológicas requiere de agentes particulares; en el caso de México, existen centros de investigación que realizan una importante labor de investigación científica y aplicada, pero en muchas ocasiones no se cuenta con los mecanismos para poder transferir esa tecnología. O cuando sí se cuenta con los mecanismos, no existe el demandante, de manera que el ciclo no se completa.

Por otra parte, la innovación requiere de un entramado institucional que les permita a las empresas disminuir la incertidumbre asociada al proceso, a través de incentivos y de la eliminación de ciertas barreras; pero también de un marco legal claro que defina el espacio posible y lo prohibido, de manera que contribuya con establecer reglas claras. En México, en el caso de la biotecnología, esta estructura limita a las pequeñas y medianas empresas, ya que no tienen capacidad de superar ciertas barreras establecidas, y beneficia a algunas grandes empresas, que aprovechan su capacidad de negociación y los vacíos institucionales que aún persisten en diversas áreas.

Además del marco institucional, las empresas requieren financiamiento. La biotecnología demanda importantes inversiones en materiales, infraestructura y recursos humanos. En el caso de los recursos humanos, México cuenta con un número importante de personas formadas a nivel licenciatura y posgrado, además de que la calidad es altamente competitiva en el marco internacional. En el tema de la infraestructura, hay elementos que pueden aprovecharse a través de la colaboración universidad-empresa; por ejemplo, los diversos tipos de laboratorios con los que se cuenta. Si se considera que un número importante de empresas en México son pequeñas y medianas, se puede suponer que no cuentan con la capacidad financiera necesaria para hacer inversiones relevantes en I+D, pero es por ello que cobra relevancia el fomento de los mecanismos de vinculación y colaboración, ya que son una manera de librar obstáculos, tanto para las empresas como para las IES, que pueden verse beneficiadas de diversas formas.

Cada uno de los sectores relacionados con el sector biotecnológico, como la agricultura, la farmacéutica, el medio ambiente y la salud, entre otros, tienen particularidades específicas; por ejemplo, algunas enfatizan en los problemas acerca del uso de los productos biotecnológicos, otros en el uso de la tecnología en cultivos y su impacto medioambiental y social en los usuarios potenciales, tanto a nivel productivo (como bienes intermedios) o en los usuarios finales (consumidores).

La complejidad de la biotecnología, su relación con la vida y la diversidad de aplicaciones y usos que puede tener requieren de un Estado activo que se involucre de manera informada y equilibrada en la promoción, orientación y consolidación de las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación, además de promover una dinámica virtuosa que logre vincular a todos los agentes relevantes. Lo anterior, en el caso de que sea de interés económico y social su desarrollo como sector prioritario, tal como se ha planteado en los últimos tres Planes Nacionales de Desarrollo, o en diversas Agendas Estatales de Ciencia y Tecnología, donde se ha identificado como un área de oportunidad. Pero, además de incentivar, es necesario que se regule y legisle considerando el hecho fundamental de que la biotecnología mantiene una estrecha relación con la vida en general y la vida humana en particular, lo cual ha provocado un amplio debate en torno a sus límites y oportunidades. Sin olvidar que, como toda nueva tecnología, conlleva un alto grado de incertidumbre, al no conocer los posibles efectos que pueden tener su desarrollo y uso. Aunque cabe destacar que al igual que en la mayor parte del mundo, en México se desarrolla biotecnología bajo el principio precautorio y de evaluación de riesgos, para disminuir en la medida de lo posible los efectos negativos que pudiese tener. Es por ello que el gobierno debe proporcionar certeza jurídica e institucional para el buen desempeño de los participantes, ya sea para establecer regulaciones y leyes o políticas públicas.

De acuerdo con los datos presentados en este trabajo, en México se cuenta con la infraestructura instalada necesaria para poder desarrollar la biotecnología; no quiere decir que sea suficiente, pero su calidad le permite ser competitiva y satisfacer la demanda actual y potencial.

En el caso de las capacidades científicas, como se ha mencionado previamente, se cuenta con un importante cúmulo de investigadores, estudiantes, centros y universidades que proporcionan habilidades y experiencia de alta calidad. Pero al mismo tiempo destaca su baja conectividad con el sector industrial. Además, las empresas pequeñas y medianas en México enfrentan una serie de problemas asociados a sus características y debilidades como la falta de recursos para invertir en I+D, lo que en conjunto se ha traducido en pobres capacidades tecnológicas y de innovación.

Lo anterior no implica que no haya casos exitosos de empresas nacionales que logran innovar y ser altamente competitivas; sin embargo, esto no es una tendencia, sino la excepción que logra sortear las barreras y aprovechar los incentivos que existen.

Para lograr el desarrollo de un sector como la biotecnología, se necesita no solo la presencia de capacidades científicas y tecnológicas, también de articulación y coordinación, lo que puede lograrse mediante políticas y estrategias compartidas y conjuntas, además del diseño e implementación de leyes, reglas de normatividad y mecanismos específicos que permitan a los agentes involucrados conocer el ambiente institucional.

Si bien en México se ha reconocido la importancia del desarrollo de la biotecnología en el país, y hasta cierto punto se conocen las fortalezas y debilidades con las que se cuenta, aún no se ha podido articular una estrategia adecuada, ya que la gobernanza del sistema no es clara y aún hay una serie de contradicciones que no permiten avanzar organizadamente.

Al indagar de manera general en la conformación del ambiente institucional y organizacional en el país, se observa claramente la presencia de los distintos agentes que podrían conformar un ssi en biotecnología; potencialmente se podrían tener áreas competitivas que solucionen diversos tipos de problemáticas en sectores como el agrícola, la salud o el medio ambiente, y al mismo tiempo favorecer el establecimiento, consolidación o desarrollo de empresas nacionales que se conviertan en motor de cambio. Sin embargo, aún hay una serie de carencias, ya que además de la falta de una política pública o un plan rector, se aprecia la falta de capital de riesgo e instrumentos financieros que soporten a dichas empresas.

Como se mencionó, en este contexto quienes se han beneficiado de la falta de coordinación, regulación y en general de políticas públicas son las grandes empresas, que se aprovechan de los vacíos institucionales. Si bien el gobierno ha hecho un diagnóstico sobre los agentes del sector y sus condiciones, no se ha logrado establecer los mecanismos que generen procesos virtuosos y que no se expresen solo en ciertos casos excepcionales, sino que repercuta en diversos sectores industriales y sobre todo en la sociedad resolviendo problemas.

En este trabajo se presentó un panorama amplio acerca de cuáles son los principales agentes de lo que podría llamarse un incipiente ssi en el sector biotecnológico. Esto es así debido a que, bajo el contexto teórico expuesto anteriormente, de los elementos que constituyen un ssi, en México queda claro que aún no existen los nodos de interacción firmemente establecidos, por lo que es prematuro considerar que el sector biotecnológico en el país

se encuentre constituido; en todo caso hay un par de eslabones, algunos débiles y aún desconectados entre sí, pero, si se lograra establecer un mecanismo de gobernanza, podría considerarse verdaderamente un posible motor de desarrollo tecnológico, social y económico.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeoti, J. y A. Adetola (2005), “Biotechnology R&D partnership for industrial innovation in Nigeria”, *Technovation*, vol. 25, pp. 344-365.
- Altenburg, T. (2009), “Building inclusive innovation systems in developing countries: challenges for IS research”, en Lundvall, B.-Å. *et al.* (eds.), *Handbook of innovation systems and developing countries: Building domestic capabilities in a global setting*, Massachusetts, Edward Elgar, pp. 33-56.
- Amaro Rosales, M. (2013), “Incentivos a la innovación para la biotecnología agroindustrial-alimentaria en México”, tesis doctoral en Ciencias Sociales, especialidad en Economía y Gestión de la Innovación, Xochimilco, UAM.
- (2014), “Retos y oportunidades para el desarrollo de la biotecnología agroalimentaria en México”, *Innovación y Competitividad*, año XIV, N° 54, abril-junio, Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico.
- , A. Morales y D. Villavicencio (2010), “Regulación y perspectiva de la Biotecnología en México”, ponencia presentada en el Congreso de Sistemas de Innovación para la Competitividad, Guanajuato, CONCYTEG.
- Amaro Rosales, M. y E. Robles (2013), “Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana”, *Entreciencias. Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, vol. 1, N° 2, México, UNAM, pp. 183-195.
- Amaro Rosales, M. y D. Villavicencio (2015), “Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México”, *Estudios Sociales*, vol. XXIII, N° 45, enero-junio, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, pp. 35-62.
- Bolívar, F. (2003), *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la Biotecnología en México*, México, CONACYT/AMC/UNAM.
- Carlsson, B. (2006), “Internationalization of innovation systems: A survey of the literature”, *Research Policy*, vol. 35, N° 1, pp. 56-67.
- Cimoli, M. (2000), “Developing innovation systems”, en Cimoli, M. (ed.), *Developing Innovation Systems: México in a global context*, Londres, Continuum, pp. 1-20.

- Dahlman, C. y C. Frischtak (1993), "National systems supporting technical advance in industry: the brazilian experience. National innovation systems – a comparative analysis", en Shavinina, L. (ed.), *The international handbook on innovation*, Nueva York, Oxford University Press, pp. 414-450.
- Dohse, D. (2000), "Technology policy and the regions, the case of the Bio-Region contest", *Research Policy*, vol. 29, pp. 1111-1133.
- Dosi, G. (1994), "A Very Reasonable Objective Still Beyond Our Reach: Economics as an Empirically Disciplined Social Science", en Augier, M. y J. G. March (eds.), *Models of a Man, Essays in memory of Herbert A. Simon*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Edquist, C. y B. Johnson (1997), "Institutions and Organizations in Systems of Innovation", en Edquist, C (ed.), *Sistems of Innovation: Thecnology, Institutions and Organizations*, Londres y Washington, Printer, pp. 41-63.
- Gittelman, M. (2006), "National institutions, public-private knowledge flows, and innovation performance: A comparative study of the biotechnology industry in the us and France", *Research Policy*, vol. 35, N° 7, pp. 1052-1068.
- Hsu, Y., J. Z. Shyu y G. Tzeng (2005), "Policy tools on the formation of new biotechnologyfirms in Taiwan", *Technovation*, vol. 25, N° 3, pp. 281-292.
- Jaffé, W. R. y E. Trigo (1993), "Agrobiotechnology in the developing world. Trends issues and policy perspectives", en Tzotzos, G. T. (ed.), *Biotechnology R&D Trends: Science Policy for Development*, Nueva York, New York Academy of Sciences.
- Jorde, T. y D. Teece (1990), "Innovation and Cooperation: Implications for Competition and Antitrust", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 4, N° 3, pp. 75-96.
- Kaiser, R. y H. Prange (2004), "The reconfiguration of National Innovation Systems – the example of German biotechnology", *Research Policy*, vol. 33, N° 10, pp. 395-408.
- Lundvall, B.-Å. (ed.) (1992), *National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning*, Londres, Pinter.
- y B. Johnson (1994), "The Learning Economy", *Journal of Industry Studies*, vol. 1, N° 2, pp. 23-42.
- Lynskey, M. J. (2006), "Transformative technology and institutional transformation: Coevolution of biotechnology venture firms and the institutional framework in Japan", *Research Policy*, vol. 35, N° 9, pp. 1389-1422.
- Malerba, F. (2004), *Sectoral Systems of Innovation*, Cambridge, Cambridge University Press.

- Mehra, K. (2001), “Indian system of innovation in biotechnology a case study of cardamom”, *Technovation*, vol. 21, pp. 15-23.
- Metcalf, S. y R. Ramlogan (2008), “Innovation Systems and the Competitive Process in Developing Economies”, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, vol. 48, N° 2, pp. 433-446.
- Momma, S. y M. Sharp (1999), “Developments in new biotechnology firms in Germany”, *Technovation*, vol. 19, pp. 267-282.
- Nelson, R. (1993), “Institutions supporting technical change in the United States”, en Nelson, R. (ed.), *National innovation systems a comparative analysis*, Nueva York, Oxford University Press.
- Niosi, J. y M. Banik (2005), “The evolution and performance of biotechnology regional systems of innovation”, *Cambridge Journal of Economics*, vol. 29, N° 3, pp. 343-357.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (1989), *Biotechnology, economic and wider impacts*, París.
- (2008), *Reviews of Innovation Policy*, París.
- (2009), *Reviews of Innovation Policy*, México.
- Pérez, C. (2004), *Revoluciones tecnológicas y capital financiero*, México, Siglo XXI.
- Poder Ejecutivo Federal (2001), *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001-2006*, México.
- (2007), *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2007-2012*, t. II, México.
- Reyes, J. (2011), “Diversidad y complejidad en el sector tecnológico de batallas. Un estudio de patentes, 1980-2010”, tesis de doctorado en Economía, México, UAM.
- Trejo, S. (2010), “Situación de la biotecnología en el mundo”, Secretaría de Economía, Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa y Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (Tlaxcala) del Instituto Politécnico Nacional.
- Van der Valk, T., E. Moors y M. Meuss (2009), “Conceptualizing patterns in the dynamics of emerging technologies: The case of biotechnology developments in the Netherlands”, *Technovation*, vol. 29, pp. 247-264.
- Villavicencio, D. y P. López de Alba (coords.) (2009), *Sistemas de Innovación en México: regiones, redes y sectores*, México, CONACYT/Plaza y Valdés, pp. 9-16.