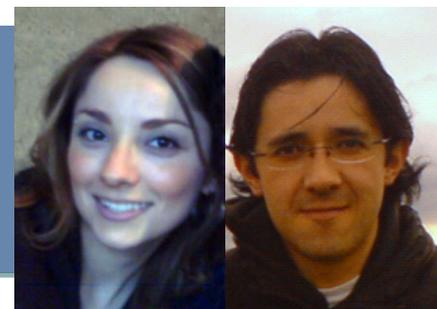


La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación



Marcela Amaro Rosales ¹

Mario Alberto Morales Sánchez²

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo analizar el estado actual de la Biotecnología en México, se presentan una serie de datos a partir de los cuales se infiere cual ha sido la trayectoria de dicha tecnología en el país, retomando las categorías propuestas por el enfoque de los Sistemas Sectoriales de Innovación (SSI). A partir de lo anterior se analizan algunos actores relevantes y se presentan ciertas tendencias generales. Al ser una tecnología emergente existen aún muchos vacíos de información, ya que estos se encuentran en construcción, de manera que el panorama aquí presentado no es exhaustivo y carece aún de datos que puedan ofrecer una visión completa del proceso de desarrollo de la biotecnología en México.

Palabras claves: Sistemas Sectoriales de Innovación, biotecnología en México

Abstract

The purpose of this article is to analyze the current state of biotechnology in Mexico. It shows a serie of data that allow deducing the biotechnology trajectory in México, taking into account the categories proposed by the Sectoral Systems of Innovation (SSI) approach. From the above we analyze some relevant actors and discuss some general trends. As an emerging technology there are still many gaps on information, as this is under construction. Thus the landscape presented here is neither exhaustive nor complete; it is necessary to work in the recover of valuable data that permit to obtain a complete view of the development process of biotechnology in Mexico.

Keywords: Sectoral Systems of Innovation, biotechnology in Mexico,

¹ Maestra en Economía y Gestión de la Innovación. Estudiante del Doctorado en Ciencias Sociales UAM-X. marxelaser@gmail.com

² Maestro en Economía y Gestión de la Innovación. Estudiante del Doctorado en Economía FE-UNAM. alberto_rork@yahoo.com

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Introducción

Sin duda la biotecnología ha desatado en el mundo una serie de interrogantes muy diversas debido a la relación directa con la vida y sus posibles modificaciones. Esto se ha plasmado en algunos espacios de discusión, en los cuales han participado distintos agentes sociales, sin que se cuente aún con posiciones definitivas o conclusiones determinantes, ya sea acerca de los riesgos y/o beneficios para los seres vivos o para el medio ambiente. Pero directa o indirectamente esto ha influido en las decisiones de los gobiernos, ya sea para promover el desarrollo de dicha tecnología o bien para tener cautela en temas delicados, como lo son las aplicaciones y usos relacionados con la salud humana o la alimentación.

Al mismo tiempo que el desarrollo de la llamada “biotecnología moderna” y las acciones de políticas públicas que han implementado o deberían implementar algunos países al respecto, también ha cobrado importancia internacional la discusión sobre el papel de la ciencia y la tecnología para el desarrollo económico de las naciones. Al respecto se han generado amplias discusiones centradas en la dinámica de crecimiento y la dirección que deben tener las políticas públicas, sobre todo por el énfasis puesto por algunas organizaciones como la OCDE o la CEPAL acerca de la importancia de invertir en sectores emergentes intensivos en conocimiento,

que pueden representar oportunidades reales de desarrollo económico.

En este artículo se toma como premisa que el desarrollo científico y tecnológico es uno de los motores fundamentales del crecimiento económico. Se parte de la idea de que una revolución tecnológica es más que el surgimiento de nuevas industrias y tecnologías; es una modernización total de la vida económica, social y política. Cada revolución tecnológica trae consigo un nuevo “paradigma tecno-económico” que representa un nuevo sentido común aplicable a todo el sistema productivo (Pérez, 2009), por lo que a pesar de la incertidumbre existen países dispuestos a anticiparse y correr riesgos, apostando a la inversión en nuevas tecnologías que pueden ser el elemento clave o detonador de la próxima revolución tecnológica. Es justamente en este contexto donde la Biotecnología ha cobrado importancia en el mundo, dado que puede representar oportunidades en el futuro. Autores como Pérez (2009) y organismos internacionales como la OCDE y la CEPAL han sido enfáticos en considerar a la biotecnología como parte de un conjunto de tecnologías emergentes, y pronostican una gran posibilidad de que juntas conformen la sexta revolución tecnológica, o bien que actúe como uno de los elementos capaces de dinamizar a las economías en el futuro.

Las posibilidades de crecimiento y los beneficios sociales que la biotecnología puede implicar han

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

motivado la creación e impulso de políticas públicas para su fomento y desarrollo. Cada país o región ha establecido una direccionalidad distinta de sus políticas, algunas han puesto especial énfasis en el desarrollo de capacidades científicas; otros en la explotación y uso de las capacidades previamente desarrolladas y en su reconversión; o bien en el fortalecimiento de las relaciones universidad-industria para la generación de *start ups*. De manera que los resultados han sido diferenciados no sólo por las diversas estrategias que se han seguido y por las distintas áreas que se han decidido fomentar³, sino también por los distintos marcos regulatorios e institucionales que existen en cada país (leyes, reglamentaciones, derechos de propiedad, entre otros), y el grado de profundidad de las modificaciones o adecuaciones que se hayan implementado para el desarrollo del sector.

En este artículo se presenta un panorama general de la biotecnología en México, basado en las categorías de análisis propuestas por el Sistema Sectorial de Innovación (SSI), dado que es una de las herramientas teóricas usadas comúnmente para el análisis de los sectores tecnológicos, así como para el estudio de las interacciones que llevan a cabo los diversos agentes que componen cada sector.

³ La biotecnología moderna es una actividad multidisciplinaria que involucra a la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la genómica y la inmunología entre otras. Esta a su vez puede dividirse en diversos tipos de biotecnología, tales como la farmacéutica, la agrícola-alimentaria o medio ambiental entre otras.

A lo largo del artículo se busca dar respuesta a preguntas tales como: ¿Existe un sistema sectorial biotecnológico en México? ¿Cuáles son los principales agentes del cambio técnico que contribuyen a la innovación tecnológica en la biotecnología?

La hipótesis de este artículo es que, en el caso de la biotecnología en México, existen un conjunto de actores que han desarrollado capacidades científicas con potencialidad de aplicación tecnológica, dentro de lo que se podrían considerar los primeros pasos hacia la conformación de un *sistema de innovación en el sector biotecnológico*. Sin embargo, la falta de articulación entre los diversos actores y la ausencia de una estrategia integral impulsada por el Estado, ha provocado que dichas capacidades no se desarrollen adecuadamente ni se difundan hacia otros sectores, por lo que hasta ahora ha existido un impacto reducido en la economía y en la sociedad.

Sistemas Sectoriales de Innovación (SSI)

Desde la tradición económica neoclásica, la competitividad de los países se encuentra determinada por la abundancia o escasez relativa de los recursos disponibles y por el intercambio de los mismos en un mercado competitivo. El desarrollo económico es el resultado de la especialización

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

productiva en los nichos de mercado más competitivos, cuyo excedente es utilizado para la adquisición de los bienes y servicios que no son producidos en el país. Sin embargo, hoy en día este tipo de especialización no garantiza ni competitividad ni desarrollo.

Cada vez tiene más aceptación la premisa de que la competitividad y el desarrollo se encuentran ligados con la formación de capacidades cognitivas en la sociedad. El conocimiento se ha convertido en el principal activo de valoración en las economías nacionales (Foray, 2004), por lo que su generación, asimilación y difusión es una tarea central para el desarrollo de la economía nacional y de los distintos sectores que la conforman.

Desde luego que el conocimiento no es un recurso que existe de antemano en una sociedad, o que se pueda adquirir en el mercado. Al ser una característica inherente de los individuos, la adquisición de conocimiento no se encuentra regida por las leyes del mercado; implica, por el contrario, una inversión considerable para la generación y mantenimiento de capacidades sociales.

Pero el conocimiento no sólo es importante porque mejora las capacidades de los individuos, sino fundamentalmente porque es posible aplicarlo para la solución de problemas prácticos. Concretamente, la aplicación del conocimiento en la esfera

productiva trae consigo el desarrollo de innovaciones que potencialmente mejoran la competitividad de las empresas, sectores y economías en cuyo seno se han gestado.

Por tal motivo, el fomento de sectores intensivos en conocimiento como el biotecnológico, implica no sólo la existencia de capacidades cognitivas previas en los agentes que los integran, sino de un marco institucional propicio para que los nuevos desarrollos puedan difundirse y tengan un impacto considerable en el conjunto de la sociedad.

Dentro de este contexto que los Sistema de Innovación (SI) cobran relevancia. La conformación de un SI parte del supuesto de que el conocimiento, es el recurso más importante de la vida económica moderna, y el fundamento indispensable para la generación de innovaciones.

El SI puede caracterizarse como un conjunto de agentes sociales de diversa índole (empresas, institutos de educación, agencias gubernamentales, instituciones de apoyo, entre otros), y relaciones que existen entre ellos (Nelson y Rosenberg, 1993; Freeman, 1987). Dichos elementos interactúan mediante la producción, difusión y uso de conocimiento útil desde el punto de vista económico. Un SI se concibe entonces como el conjunto de agentes, instituciones, articulaciones y prácticas

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

sociales vinculados a la actividad innovadora al interior de un país (Lundvall, 1992).

Este concepto implica que existe una relación necesaria entre las diversas instituciones con que cuenta un país o región la dinámica innovadora. La utilización del conocimiento para la generación de innovaciones no es un hecho aislado que ocurra en ciertas organizaciones, antes bien es un producto social, resultado de las interacciones antes descritas.

El contexto institucional en el que surgen las innovaciones es muy importante ya que determina la cantidad y calidad del conocimiento disponible (el tamaño y prestigio del sector educativo, por ejemplo), la dirección que se le imprimirá al conocimiento disponible (por ejemplo ¿deben realizarse pruebas genéticas en plantas o en humanos?) y, quizá lo más importante, si los conocimientos generados traerán algún tipo de beneficio social (el dilema entre beneficio público y privado estipulado por North, 1981).

Del mismo modo, se destaca la importancia que han tenido ciertos hábitos y normas de conducta cultural en la actividad generadora de conocimiento para la innovación, cuya principal forma de adquisición es el aprendizaje (Dosi, 1988). El conocimiento difiere en forma crucial con respecto a otros recursos, ya que es predominantemente interactivo y por lo tanto

es parte de un proceso social asociado a un contexto institucional y cultural.

Como se ha dicho, una de las aportaciones más completas para el estudio de la innovación en distintos niveles es el cuerpo teórico de los sistemas de innovación, por lo que en el siguiente apartado se presentan los principales conceptos que lo sustentan.

El concepto moderno de Sistema de Innovación tiene un origen en autores como Freeman (1987) y Lundvall (1992). Para el primero, un SI es simplemente un conjunto de instituciones públicas y privadas cuyo principal propósito es el impulso para el desarrollo de nuevas tecnologías. Para el segundo, el concepto de SI es más amplio al estar relacionado con el aprendizaje, por lo que todos aquellos aspectos de la estructura económica que estén orientados hacia el aprendizaje son parte del SI. Otros autores posteriores como Niosi (2002) establecen que un sistema de innovación es un conjunto de instituciones interrelacionadas que producen, difunden y adaptan conocimiento tecnológico.

Por su parte, para Dahlman & Frischtak (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”. Un sistema de innovación se constituye por un conjunto de instituciones y agentes que contribuyen

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

al desarrollo y difusión de nuevas tecnologías. Además de que se establece un marco gubernamental que dota de políticas para influir 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).

Como puede apreciarse, existe cierto consenso académico respecto a la definición de un SI y de los elementos que lo constituyen. No obstante, lo que es importante destacar es que todas estas concepciones parten del supuesto de que la existencia de un sistema institucional de soporte a la innovación es indispensable para que un sector económico logre desarrollarse y, en términos más generales, un SI nacional es indispensable para alcanzar el desarrollo.

El concepto de Sistemas de Innovación ha sido diversificado, dependiendo de la característica relevante. La connotación “nacional” sirve para ejemplificar la dinámica que existe dentro de un país, la “regional” brinda elementos para estudiar los elementos característicos bajo cierto espacio geográfico. Mientras que lo sectorial y tecnológico sirve para particularizar si se habla de una industria o sector sin importar las características de localización. Pero en general, se parte de las mismas premisas discutidas anteriormente, bajo ciertas consideraciones particulares.

Retomando los elementos descritos anteriormente, se considera que un *Sistema Sectorial de Innovación* (SSI) está compuesto por un grupo de agentes, desde aquellos que se relacionan directamente con el mercado como los que no, así como de las interacciones que realizan estos agentes para la creación, producción y venta de productos característicos de un sector económico específico.

Un sistema sectorial tiene una base de conocimientos, tecnologías, insumos potenciales o existentes de la demanda. Los agentes son individuos y organizaciones en diversos niveles de agregación, en particular los procesos de aprendizaje, competencias, estructura orgánica, las creencias, comportamientos y objetivos (Malerba, 2004).

Los principales elementos que componen al sistema son: las *empresas*; las *organizaciones* como las universidades, el gobierno, etc.⁴ encargadas de coordinar el uso del conocimiento; la infraestructura de conocimiento (infraestructura física y organizacional de soporte) y finalmente la *política* orientada a la innovación regional encargada de proveer una serie de incentivos para incrementar el esfuerzo innovador, políticas de difusión de la tecnología, programas de promoción, etcétera.

⁴ Es necesario mencionar que para algunos autores no existen diferencias entre organizaciones e instituciones, por lo que algunos le denominan indistintamente. La discusión del capítulo 2 considera la diferenciación entre ambas, por lo cual aquí se nombran como organizaciones.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Además de los elementos que componen al sistema, los principales mecanismos de cohesión interna son:

- *Aprendizaje interactivo* y se refiere al proceso de generación de conocimiento compartido por los actores innovadores como las empresas y las organizaciones, a través de rutinas organizacionales y convenciones sociales.
- *La Producción de conocimiento* que implica un proceso constante de retroalimentación entre los actores del sistema.
- *Integración Social*. Esto refleja el papel que desempeñan las relaciones personales y las redes que se forman, y que sólo puede darse a través del compartir un contexto institucional, social y cultural ya que se construyen valores propios.

Un Sistema Regional de Innovación en consecuencia se caracteriza por enfocarse prioritariamente en el estudio del desempeño de los agentes que constituyen un sector económico específico, y las interrelaciones que se establecen entre ellos. Obviamente, agentes nacionales como las universidades públicas intervienen en el desarrollo de diversos sectores económicos, pero cuando se estudia un sistema regional interesa la actividad de este tipo de agentes sólo en cuanto que afecta el desempeño del sector específico.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, puede afirmarse que en el mundo actual cada vez adquiere más fuerza el conocimiento y la innovación como herramientas para el desarrollo tanto humano como nacional; de manera que es necesario formular la pregunta ¿qué deben hacer los países en desarrollo para lograr condiciones económicas favorables para la generación, utilización y difusión del conocimiento, con impactos positivos para el conjunto de la sociedad?

Una posible respuesta es que el uso intensivo de conocimiento con fines productivos implica el trabajo conjunto de distintos actores sociales y económicos. En particular, los nuevos escenarios marcan claramente una tendencia a la formación de redes de colaboración para la generación de conocimiento con potencial innovador, en las que participan agentes de diversa índole, sustentados por una red organizacional y un ambiente institucional propicio.

En el siguiente apartado explica brevemente la estructura del sector biotecnológico en México desde la perspectiva de lo expuesto anteriormente.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

La Biotecnología en México

La Biotecnología agrupa a una serie de nuevas tecnologías básicas o genéricas⁵. Existe una larga historia de lo que ha sido el desarrollo de la biotecnología y en términos generales expresa cualquier técnica que utiliza organismos vivos para crear nuevos productos, para mejorar los rendimientos de plantas o animales, o para desarrollar microbios con fines específicos⁶. Su definición incluye los métodos tradicionales de cultivo de plantas, ganadería y procesos de fermentación conocidos desde la antigüedad; pero en la actualidad al referirnos a la biotecnología moderna, se precisa que consiste en el uso industrial del ADN recombinante (ácido desoxirribonucleico), la fusión de células o las nuevas técnicas de bioprocesado o con la interpretación, intercambio y modificación de los genes. Y esto es precisamente lo que causa gran controversia, dada la estrecha relación con las distintas expresiones de la vida.

En este artículo lo que interesa son los efectos de la biotecnología en el plano económico; así podemos distinguir algunos aspectos como: el desarrollo de nuevos productos que en muchos casos es menos costoso, lo que a su vez acelera la generación de

otros productos; las mayores posibilidades de manipulación de organismos y sus productos permite diseñar procesos más eficientes en cuanto al uso de energía y materias primas, lo que permite a su vez, bajar los costos de producción, además de reducir los riesgos e incertidumbres al integrar la producción primaria con el procesamiento. En el largo plazo permite el florecimiento de nuevos patrones de producción sostenibles en el tiempo (Jaffé y Trigo, 1993).

La Biotecnología podría convertirse en el siguiente paradigma económico, sin embargo aún es precipitado proponerlo. Se debe recordar que una revolución tecnológica trastoca la mayoría de las actividades económicas y organizativas de la sociedad, lo que no ha ocurrido aún en este caso. Aún no es claro cuál podría ser ese elemento catalizador que redefina las formas de producir ya establecidas, o cuál es la tecnología que se difunda profundamente. Pero esto no limita reconocer la relevancia económica que ha cobrado este sector en los últimos años.

A continuación se hace referencia a una serie de datos que proporcionan una idea general del estado de la biotecnología o sector biotecnológico⁷ en el

⁵Tales como la ingeniería genética, la fusión celular, el mapeo genético, la hibridación de ácidos nucleicos, la amplificación de genes, surgidas todas ellas de los avances de la biología molecular y celular.

⁶ www.eufic.org 12 de agosto de 2010

⁷ En este artículo se considera a la Biotecnología como un sector, aunque se reconoce que no cuenta con las características comúnmente aceptadas para definirla como tal, dado que es una tecnología que tiene aplicaciones de forma transversal en diversos sectores, pero por conveniencia

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

país. Se muestran datos sobre lo que puede considerarse como los actores que componen actualmente el sistema sectorial de innovación biotecnológica en México.

a) Políticas Públicas

La biotecnología ha sido considerada una de las cinco áreas estratégicas del conocimiento señaladas por el Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT), dentro del Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECITI) 2001-2006. Y dentro del PECYT 2007-2012 se estableció como uno de los Programas de importancia nacional para el desarrollo del país, así surgió la iniciativa del Programa para el desarrollo de la Bioseguridad y la Biotecnología.

Se establecen varias líneas de acción reconociendo que la biotecnología ha sido desarrollada principalmente en centros e instituciones de investigación pública; por lo que es necesario fomentar la *articulación y la vinculación* entre estos centros de investigación y las empresas, para lograr el desarrollo de tecnología competitiva a nivel internacional, al menos en algunos campos (PECITI 2001-2006), además de fortalecer y ampliar la red de laboratorios de detección de organismos genéticamente modificados de las diferentes

metodológica se ha definido como tal, sin olvidar que esto aún se encuentra a debate.

instancias gubernamentales y *extender los lazos* con los laboratorios de las instituciones educativas y de investigación (PECYT 2007-2012).

Los documentos mencionados anteriormente avanzan sobre todo en lo referente al diagnóstico, se logra el establecimiento de objetivos y estrategias; pero por su grado de generalidad en muchas ocasiones dichos objetivos no se traducen en un marco regulatorio claro para la acción concreta de los agentes involucrados. En términos generales, se puede decir que la propuesta del Estado es incompleta en lo que respecta a la promoción y formulación de incentivos que impulsen conductas favorables para el desarrollo de la Biotecnología en México

b) Centros Públicos de Investigación e Industria Doméstica de Soporte

En la industria doméstica de soporte se localizan todas aquellas organizaciones y grupos especializados de proveedores de bienes intermedios y bienes de capital, además de todas aquellas instituciones que de alguna manera mantienen relación y faciliten el desarrollo de la biotecnología, como son los Consejos de Ciencia y Tecnología Estatales, las distintas Sociedades como la de Toxicología (SMT) o la Sociedad Mexicana de Biotecnología (SMB), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) los Centros Públicos y Privados de Investigación, la Academia Mexicana de

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Ciencias (AMC) y la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM). Así como una serie de organizaciones entre los que localizamos a las Red Mexicana de Bibliotecas Agropecuarias (REMBA), la Sociedad Mexicana de Control Biológico, el Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN).

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología impulsó el desarrollo de un conjunto de 27 instituciones de investigación que abarcan los principales campos del conocimiento científico y tecnológico. Según sus objetivos y especialidades se agrupan en tres grandes áreas: 10 de ellas en ciencias exactas y naturales, 8 en ciencias sociales y humanidades, 8 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 relacionada directa o indirectamente con la biotecnología, a continuación se presentan éstos.

Cuadro 1. Centros Públicos de Investigación CONACYT relacionados con la Biotecnología

Área	Centro
Ciencias Exactas y Naturales	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD)
	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C (CIBNOR)
	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C (CICESE)
	Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C (CICY)
	Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT)

Área	Centro
	Instituto de Ecología A.C. (INECOL)
	Instituto Potosino de Investigación Científica (IPICYT)
Desarrollo Tecnológico	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC)
	Centro de Tecnología Avanzada A.C. (CIATEQ)
	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)
	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C (CIDETEQ)
	Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

Fuente: CONACYT 2009.

http://www.conacyt.mx/centros/Index_Centros.html

c) Instituciones de Educación Superior

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), después 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, sin que signifique que son las únicas que realizan dicho tipo de investigación, pero si las de mayor envergadura.

En la UNAM se localiza el Instituto de Biotecnología (IBT), este cuenta con los siguientes departamentos de investigación:

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

- a. Departamento de Biología Molecular de Plantas
- b. Departamento de Genética del Desarrollo y Fisiología Molecular
- c. Departamento de Ingeniería Celular y Biocatálisis
- d. Departamento de Microbiología Molecular.
- e. Departamento de Medicina Molecular y Bioprocesos.

Además de contar con el Centro de Ciencias Genómicas, el Instituto de Bioquímica, el Instituto de Biología y con facultades relacionadas al área como Biología y Química⁸.

El IPN cuenta con el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), el Centro de Biotecnología Genómica (CBG) y el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI)⁹.

El CINVESTAV¹⁰ cuenta con campus en Coahuila, Monterrey, Tamaulipas, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Zacatenco, Coapa y Yucatán. Pero sin duda el de Guanajuato desarrolla la investigación más relevante en biotecnología ya que allí se estableció el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBIO) y que goza de un amplio prestigio por su investigación en líneas como:

la ingeniería genética, la biotecnología de plantas y la bioquímica.

Mientras que la UAM¹¹ 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 también áreas de investigación destacadas en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos¹² (UAEM) que cuenta con el Centro de Investigación en Biotecnología, el Centro de Investigaciones Biológicas y el Centro de Investigaciones Químicas.

Finalmente el Tecnológico de Monterrey¹³ (ITESM) también cuenta con el Centro de Biotecnología donde se trabajan las líneas de ingeniería en bioprocesos, biotecnología farmacéutica médica, químico biológica y biotecnología de alimentos.

Cabe destacar el hecho de que existen universidades estatales (Guanajuato, Guadalajara, Baja California, Sonora, Yucatán, entre otros) que cuentan con

⁸ <http://www.unam.mx> ; www.ibt.unam.mx/

⁹ <http://www.ipn.mx/wps/wcm/connect/IPN%20HOME/ipn/estructura+principal/ciencia+y+tecnologia/ciencia+y+tecnologia>

¹⁰ <http://www.cinvestav.mx/>

¹¹ <http://www.uam.mx/>

¹² <http://www.uaem.mx/investigacion/>

¹³ http://www.itesm.edu/wps/portal?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/migration/itesmv22/tecnologico+de+monterrey/investigacion/centros/por+campus/monterrey/centro+de+biotecnologia+cb.inv+itesmv2

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

laboratorios o centros de investigación en Biotecnología, pero la mayoría se encuentra en formación o son pequeños, aunque la investigación que realizan es de muy alto nivel.

d) Formación de capital humano

El desarrollo de la biotecnología requiere de recursos humanos altamente calificados en las áreas de biología, química, medicina, etcétera. Un indicador importante son los investigadores que se dedican a la biotecnología como tal y aquellos que se forman en dichas áreas mencionadas y que potencialmente pueden aportar al desarrollo de la biotecnología, aquí se consideran tanto a los estudiantes de maestría como doctorado en áreas a fin.

En México, la formación de recursos humanos muestra un incremento notable en el número de graduados a nivel doctoral y en especialidades en el área de ciencias de la vida, incluidas las ciencias agrícolas, ciencias naturales y exactas, ciencias de la salud, ingenierías y tecnología. Esto puede ser positivo para el desarrollo de la biotecnología, dado que la investigación en esta área requiere de especialistas de diversas áreas. En la actualidad, los grupos de trabajo son multidisciplinarios inclusive, en algunos laboratorios es necesario contar con matemáticos y especialistas del área de ciencias sociales, ya que esto permite una retroalimentación

completa que cubre distintas áreas del desarrollo de la ciencia (Amaro, 2008).

A pesar de la cantidad de graduados de doctorado en ciencias exactas y naturales, los graduados en ingeniería y tecnología aún son pocos al igual que los del área de ciencias de la salud, lo que demuestra la importancia de fomentar la especialización de estos recursos. Una política adecuada de ciencia y tecnología se encargaría de promover aquellas áreas de interés para la economía nacional, sin embargo, no existen criterios que fomenten a ciertos posgrados por encima de otros.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Cuadro 2. Graduados de programas de doctorado por área de la ciencia, 1990-2005

Año	Ciencias exactas y naturales	Ingeniería y tecnología	Ciencias agropecuarias	Ciencias de la salud	Ciencias sociales y administrativas	Educación y humanidades	Total
1986	53	7	5	8	46	13	132
1987	45	12	3	11	53	13	137
1988	54	13	4	21	63	26	181
1989	71	17	4	35	51	12	190
1990	66	9	3	36	55	32	201
1991	75	15	8	45	68	14	225
1992	85	27	11	39	81	21	264
1993	79	36	10	37	75	14	251
1994	98	44	22	44	82	34	324
1990	66	9	3	36	55	32	201
1991	75	15	8	45	68	14	225
1992	85	27	11	39	81	21	264
1993	79	36	10	37	75	14	251
1994	98	44	22	44	82	34	324
1995	125	37	32	61	113	35	403
1996	143	52	44	71	125	75	510
1997	170	96	36	99	172	128	701
1998	201	99	64	107	186	176	833
1999	217	143	82	102	165	117	826
2000	290	159	100	122	230	172	1,073
2001	346	160	92	116	223	142	1,079
2002	357	222	91	140	304	141	1,255
2003	345	293	110	145	396	159	1,448
2004	472	282	110	228	391	234	1,717
2005p/	451	360	90	246	421	221	1,789
Total	3,520	2,034	905	1,638	3,087	1,715	12,899

(*) Se refiere al número de personas que han obtenido el título de Doctor. p/ Cifras preliminares

Fuente: elaboración propia.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Otro de los indicadores relevantes en la formación de capital humano es el referente a los miembros del Sistema Nacional de Investigadores, ya que brinda idea de que parte de los investigadores en México realizan o potencialmente pueden realizar investigación biotecnológica y se mantienen como sujetos activos en la formación de capital humano en biotecnología. En el área de Biología y Química,

Medicina y Ciencias de la Salud e Ingeniería pueden considerarse como áreas potenciales. En el área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias el número de investigadores ha aumentado sostenidamente, lo que nos habla de un proceso constante e importante de investigación en esta área.

Cuadro 3. Miembros del SNI por área de la ciencia, 1997-2006p

Año	Ciencias Físico Matemáticas y de la Tierra	Biología y Química	Medicina y Ciencias de la Salud	Humanidades y Ciencias de la Conducta	Ciencias Sociales	Biotecnología y Ciencias Agropecuarias	Ingeniería	TOTAL
1997	1,436	1,314	650	1,118	673	463	624	6,278
1998	1,571	1,406	703	1,172	675	530	685	6,742
1999	1,621	1,435	721	1,266	738	642	829	7,252
2000	1,569	1,435	765	1,269	810	700	918	7,466
2001	1,612	1,436	846	1,362	920	856	986	8,018
2002	1,771	1,661	927	1,552	1,096	1,011	1,182	9,200
2003	1,878	1,767	1043	1,700	1,233	1,131	1,437	10,189
2004	1,968	1,776	1,168	1,798	1,369	1,257	1,568	10,904
2005	2,074	1,891	1,343	1,964	1,608	1,441	1,775	12,096
2006p/	2,278	2,179	1,427	2,170	1,854	1,588	1,989	13,485

p/ Cifras preliminares.

El total puede no coincidir debido a que el reporte se generó después de los resultados de reconsideración.

Fuente: Conacyt, Base de datos del SNI, 1997-2006.

También es importante destacar que existen instituciones que no reportan claramente la incidencia que tienen en la formación de recursos humanos en la biotecnología, pero que se infiere que juegan un papel importante, por ejemplo los

Institutos Nacionales de Salud que no reportan programas de licenciatura y/o posgrado, pero sí participan en la formación de recursos humanos, al incorporar a tesisistas en sus equipos de investigación

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

y a través de impartir cursos en diferentes programas (Zapata, 2003).

Además de que debe mencionarse que en el trabajo realizado previamente (Zapata, 2002), se identificaron 100 programas en el campo de la biotecnología y disciplinas afines: 58 de maestría y 42 de doctorado (Zapata, 2003).

e) Infraestructura

La mayor parte de las organizaciones que realizan investigación en biotecnología reportan un proceso constante de adecuación y mejora de su equipo para llevar a cabo su operación. Si bien, la infraestructura con la que se cuenta que va desde laboratorios, reactivos y equipo especializado es aún insuficiente, la calidad es aceptable. El problema radica en que muchos de los equipos utilizados en el campo de la biotecnología y disciplinas afines se hacen obsoletos

rápidamente, lo cual dificulta la modernización y competitividad de las instituciones (Zapata, 2003).

La infraestructura con la que se cuenta en México es mayormente pública y de uso común para los investigadores de dichas instituciones. En algunos casos, el uso es compartido entre algunas comunidades científicas de manera informal y en otras se han desarrollado mecanismos de renta de equipo e infraestructura de los centros públicos o universidades a las empresas o a otros grupos de investigación.

A continuación se listan las instituciones que cuentan con algún tipo de equipo o infraestructura necesaria para la investigación biotecnológica o bien para las pruebas de ciertas tecnologías potenciales, aunque destaca el hecho de la falta de plantas piloto, lo que en muchos casos se convierte en un obstáculo a la investigación.

Cuadro 4. Infraestructura Pública en Biotecnología

Universidades y Laboratorios Universitarios	Centros Públicos y otros
Instituto de Biotecnología (UNAM)	Hospital Civil de Guadalajara
Centro de Ciencias Genómicas (UNAM)	Instituto Nacional de Salud Pública
Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (CINVESTAV)	Parque de investigación e innovación tecnológica (NL)
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unida Querétaro (CINVESTAV)	Centro de Investigaciones Biológicas de Noreste, S.C. (CIBNOR), CONACYT
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Irapuato (CINVESTAV)	Productora Nacional de Biológicos Veterinarios (PRONABIVE)
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Ciudad de México (CINVESTAV)	Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)
Instituto Tecnológico de Celaya (TECELAYA)	PEMEX
Instituto de investigación en biología experimental (Univ.Gto)	Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y	INIFAP

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Universidades y Laboratorios Universitarios	Centros Públicos y otros
Agropecuarias	
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (UdeG)	IMSS
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y diseño del Estado de Jalisco	ISSTE
Centro de Investigación en Biotecnología (UAEM)	Centro de Capacitación Sanitaria (CECASA)
Centro de Incubación de Empresas y Transferencia Tecnológica (UANL)	Centro de Ciencias de Sinaloa (CCS)
Centro de Biotecnología (ITESM)	Centro de Investigación Científica de Yucatán, S.C. (CICY), CONACYT
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (UABC)	Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID FYMA)
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI), IPN	Centro de Tecnología Avanzada, A.C. (CIATEQ), CONACYT
Facultad de Medicina (FM), UNAM	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Unidad Michoacán y Unidad Oaxaca (CIDIR), IPN
Facultad de Química (FQ), UNAM	Sociedad Mexicana de Toxicología (SMT)
Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB), UNAM	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), CONACYT
Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH)	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), CONACYT
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI), IPN	
Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB)	
Universidad Tecnológica de Torreón (UTT)	
Universidad Iberoamericana (UIA)	
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnología Avanzadas (UPIITA) IPN	
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa y Xochimilco	

Fuente: elaboración propia con datos de *Borderless Biotech & Mexico's Emerging Life Sciences Industry*. Crossborder Group Inc. Junio 2007 y PECyT 2001-2006

f) Reglamentación

El desarrollo de una nueva tecnología genera incertidumbre sobre los posibles usos y riesgos que esta pueda tener. En la mayoría de los casos es difícil prever todas las implicaciones y sobre todo la manera en que trastocará la forma de vida en su conjunto. Sin embargo y a pesar del ambiente de

incertidumbre en el cual se desarrollan las nuevas tecnologías, existe cierto conocimiento susceptible de ser usado en la formulación de reglamentaciones y leyes que delimiten y establezcan el desarrollo tecnológico con un enfoque de bienestar común y responsabilidad social.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

En México existen distintas iniciativas referentes a la reglamentación de la Biotecnología, si bien en comparación con algunos países desarrollados donde el avance en el tema es significativo, las propuestas en México aún muestran deficiencias, pero la envergadura del tipo de tecnología y las posibles implicaciones han fomentado la discusión entre algunos sectores de la sociedad, sobre todo aquellos que mantienen una relación estrecha o con la investigación biotecnológica o con el uso de la misma.

Actores como la Academia Mexicana de Ciencia (AMC) y sobre todo algunos de sus participantes, han jugado un papel relevante en la discusión y propuestas surgidas para el país. Un primer intento es el presentado en el libro “Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI; retos y oportunidades” coordinado por el Dr. Bolívar Zapata y publicado por el Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en el 2002, en el cual se muestra una descripción de las capacidades desarrolladas y sobre todo se proponen una serie de lineamientos para la consolidación de la biotecnología en el país. Dicha publicación motivo un continuo trabajo de análisis y discusión en torno al tema, que se complementó con un seminario sobre Biotecnología y Legislación en el Senado de la República que se tradujo en una *Iniciativa de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados* (ILBOGMS), que más tarde fue aprobada (2003).

Junto con la aprobación de la Ley se llevaron a cabo actividades como foros, simposios y reuniones entre distintos actores involucrados en la biotecnología, esto generó un proceso de discusión y retroalimentación que produjo distintos resultados que a continuación serán expuestos.

En la mayoría de los casos cada una de las instituciones cuenta con su propia infraestructura, sin embargo existen unidades centrales de apoyo técnico que dan servicio a distintos laboratorios (internos y externos). Entre ellos se localizan¹⁴:

- a. La Unidad de Microarreglos de DNA de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM (Instituto de Fisiología
- b. Laboratorio Universitario de Estructura de Proteínas en el Instituto de Química de la UNAM, integrado por varias dependencias universitarias
- c. La Coordinación General de Servicios Experimentales del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Unidad DF (CINVESTAV-DF), cuenta con laboratorios centrales para análisis de ácidos nucleicos, bioterio, citometría de flujo, colección nacional de cepas microbianas, microscopía confocal y electrónica
- d. La Unidad de Microscopía Electrónica que la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad

¹⁴ Tomado de Zapata, 2003

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Iztapalapa (UAM-I) comparte con el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología (INE)

- e. La Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI)
- f. El Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, del IPN (CICATA/IPN)
- g. La Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB/IPN)
- h. El Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INNSZ)
- i. Instituto de Biotecnología de la UNAM (IBT/UNAM)
- j. El Laboratorio de Alta Tecnología Genómica, integrado entre el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno/UNAM (CIFN) y el IBT, que cuenta con tres equipos de secuenciación de DNA (96 capilares) y equipo de cómputo para el manejo de las bases de datos en genómica, localizadas en las dos instituciones.
- k. Los Institutos de Fisiología Celular e Investigaciones Biomédicas.

g) Empresas

Existe una distinción entre aquellas empresas que hacen uso de alguna técnica biotecnológica y aquellas que desarrollan procesos o productos basados en la biotecnología. En México todavía es difícil diferenciar entre ambas categorías, ya que la

mayor parte de los informes presentados no hacen una clara distinción. Sin embargo y tentativamente se puede separar a aquellas grandes empresas que suponemos aplican alguna técnica de aquellas que desarrollan procesos y productos biotecnológicos.

La presencia de empresas multinacionales permea el área de aplicación entre las que se encuentran las siguientes:

Cuadro 5. Grandes empresas con aplicaciones y uso de la Biotecnología en México

Nombre de la Empresa	Área o Sector
Coca- Cola Femsa	Bebidas
Grupo Modelo	Bebidas
Pepsico	Bebidas
Nestle	Alimentos
Femsa Cervezas	Bebidas
Grupo Industria Lala	Bebidas y Alimentos
Kimbrey Clark de México	
Grupo Sabritas	Alimentos
Sigma Alimentos	Alimentos
Grupo Bachoco	Alimentos
British American Tobacco	Cigarros
CIGATAM	Cigarros
Gamesa	Alimentos
Desc. Sector Químico	Química
Grupo Bimbo	Alimentos
Pfizer	Química y salud
Roche Corp.	Química y salud
Merck Sharp & Dome	Química y salud
Bayer de México	Química y salud
Grupo Novartis	Química y salud
Schering Plough	Química y salud
Farmacias del Ahorro	Química y salud
Grupo Herdez	Alimentos
Glaxo Smith Kline	Química y Salud
Grupo Celanese	
Aventis Pharma	Química y Salud
Seminis (Monsanto)	Frutas y Hortalizas
Novartis Farmacéutica	Química y salud
Híbridos Pioneer	Agrícola y producción de

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Nombre de la Empresa	Área o Sector
	semillas
Bristol Myers Squibb	Química y salud
Dow Agroscience	Producción y venta de agroquímicos
Boehringer Ingelheim Promeco	Química y salud
Nacional de Drogas	Química y salud

Fuente: Construido a partir del PECITI (2001-2006) y Solleiro *et.al* 2008

En general, las empresas nombradas anteriormente son grandes empresas o dependientes de alguna multinacional. Pero se han localizado otras de capital nacional con un trayecto importante en la biotecnología y que desarrollan actividades en distintas áreas. A continuación se muestra un listado de algunas empresas mexicanas que hacen uso de la biotecnología o desarrollan procesos de I&D relacionados. Aunque cabe mencionar que aún es difícil definir las como empresas biotecnológicas como tal, ya que de acuerdo al trabajo de campo e investigación que hemos realizado tratando de determinar las actividades de las empresas aquí citadas referimos que algunas de ellas se han fusionado o bien no hemos localizado mayor información sobre algunas otras, por lo que tenemos un estimado que de las empresas listadas, aproximadamente el 50% existen y están relacionada con la biotecnología. De manera que se hace la aclaración que estos datos se encuentran aún en construcción y corroboración, no son definitivos ni concluyentes del estado de las empresas biotecnológicas en México.

Cuadro 6. Empresas de capital nacional que desarrollan Biotecnología en México

Sector	Empresa
Agropecuario	Agrobiológicos de Sinaloa, S. A. de C. V. (AGROBIONSA).
	GRUPO SAVIA(Savia, S. A de C.V.)
Agrícola	Agrobiológicos del Noroeste S.A de C.V. (AGROBIONSA)
	AGRAQUEST DE MEXICO, S.A DE C.V.
	BIOFABRICA SIGLO XXI S.A DE C.V.
	AGROMOD S.A. de C.V.
	Biogenética Mexicana S.A.de C.V
	BIOEXTRACTO S.A de C.V.
	BIOTEC Latinoamericana S.A.de C.V
	BIOTECNIC S.A de C.V
	BIOTEKSA, S.A de C.V.
	BIOTECNO S.A de C.V.
	BUCKMAN LABORATORIOS (filial de la transnacional)
	GRUPO AGRÍCOLA "JOEL" S.P.R. DE R.L. DE C.V.
	Investigación Aplicada, S.A. de C.V. (IASA)
	Empresas La Moderna, división de Agrobiotecnología
	Evergreen Invernadero
	Fertilizantes Orgánicos Lomhus S.de R.L.M.I.
	GEN Agrocultivos
	Grupo Bioquímico Mexicano S.A.de C.V.
	Grupo Biotecnológico MARSAN S.A. de C.V.
	INVERNAMEX S.A. de C.V
	KOPPERT México S.A. de C.V.
	Laboratorios Agroenzymas S.A. de C.V.
	Laboratorios BIOQUIMEX S.A. de C.V
	Maltos y Asociados S.A. de C.V.
	Productos Ecológicos S.A LAPRE
	PROQUISA S.A. de C.V
	QUÍMICA FOLIAR S.A de C.V.
	Química Agrícola del Noroeste. S.A. de C.V.
	QUIMIA S.A. de C.V
	MASECA S.A. de C.V.
Ganadero y Animal	ABS México S.A de C.V
	BIO-ZOO S.A de C.V
	ALTECH de México S.A. de C.V.
	Avimex. Salud Animal
Análisis de	American QUALITY Lab S.A. de C.V.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Sector	Empresa
Alimentos	BAYER Diagnósticos S.A. de C.V.
	Bufete Químico S.A. de C.V.
	Corporación PR ALLIED S.A. de C.V.
	Métodos Rápidos S.A. de C.V.
	NATVER S.A. de C.V.
	Nuevos Desarrollos Industrial y Comercial TECNOLIM
Medio Ambiente	BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL, S.A. DE C.V.
	ECCACIV
	ALLWASTE Servicios Industriales de Control Ecológico S.A. de C.V.
	ECO Ingeniería S.A. de C.V.
	ECO Red S.A. de C.V.
	ETEISA S.A. de C.V.
	Grupo Arthuriana Lancelot. S.A. de C.V.
	POLYBAC Corporation México
	Protectora Ecológica
TECODESA y Asociados S.A. de C.V.	
Sector Salud y Farmacéutico	Investigación Aplicada IASA S.A. de C.V.
	DCL. S.A. de C.V.
	Laboratorios PISA S.A. de C.V.
	LEMERY S.A. de C.V.
	Instituto Bioclon S.A. de C.V.
	Investigación aplicada IASA S.A. de C.V.
	MEXAMA S.A. de C.V.
	Productora Nacional de Biológicos Veterinarios PRONABIVE
	Bios Nova
	VETOQUINOL México
	BIRMEX
	PROBIOMED S.A. de C.V.
Orgánica	Ácidos Orgánicos La Florida S.A. de C.V.
	Biotecnología Orgánica, S.A. de C.V.

Fuente: elaboración propia con datos de La Biotecnología en México. Informe elaborado por Trikarty e Hiperion Biotech para Genoma España 2005, RENIECYT 2009, Corona 2006, Solleiro 2008.

Como puede verse en el cuadro anterior, 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, sobre todo aquellas que tienen que ver con modificaciones a granos, semillas, hortalizas,

frutales y con el desarrollo de bioplaguicidas. En segundo lugar se localizan algunos laboratorios nacionales muy exitosos en el área de la química y la farmacéutica y son precisamente estos: Instituto Bioclon S.A. de C.V. y PROBIOMED S.A. de C.V. los únicos ganadores hasta el momento del Premio Nacional de Ciencia y Tecnología en México (2005 y 1999 respectivamente) por sus aportes a la Biotecnología en Salud.

Las empresas que se localizan en el área de Medio Ambiente en general se dedican a ciertos tipos de servicios especializados para el uso y tratamiento de aguas y residuos. Mientras que los que tienen que ver con Análisis de Alimentos, se relacionan con pruebas y test para algunos nuevos productos.

En términos generales, existe una marcada diferencia entre aquellas empresas que hacen uso de las técnicas y procesos biotecnológicos, que en su mayoría son las grandes transnacionales y aquellas de capital nacional que desarrollan de manera incipiente algún proceso. Son pocas aún las que cuentan con departamentos de I&D propios, ya que la mayoría recurre por medio de relaciones informales a la asesoría de expertos en el área. Hasta ahora no se cuenta con información clara y oportuna del número de colaboraciones y la consolidación de relaciones entre estas empresas y las universidades. Existen unos pocos casos exitosos que dan cuenta de esto, pero que no pasan de ser las excepciones y no

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

la generalidad. Por lo que se infiere que la mayoría de empresas que se han listado arriba sólo hacen uso y realizan pequeñas mejoras incrementales a ciertos procesos o productos relacionados con la biotecnologías; aún no existe una capacidad innovadora y mucho menos una dinámica sectorial de innovación que impulse a todos los agentes.

Conclusiones

El desarrollo de la biotecnología en el país implica la creación de un conjunto de capacidades, siendo posiblemente la de vinculación una de las más importantes en distintas organizaciones, principalmente en las empresas y en las universidades. El Estado debe desempeñar un papel activo en la promoción, orientación y consolidación tanto de los procesos productivos como de los mismos procesos de vinculación. Por lo tanto, la principal función del Estado mexicano en lo que respecta al desarrollo del sector, debe proporcionar certeza jurídica e institucional para el buen desempeño de los participantes. En el mismo sentido, es necesaria también la formulación de una serie de políticas gubernamentales que estimulen y posibiliten esta acción, involucrando tanto al sector público como al privado en su creación y monitoreo.

Por su parte, la infraestructura tecnológica para el desarrollo del sector biotecnológico en el país está

integrada por las organizaciones de I&D, por las actividades de formación de recursos humanos especializados, por el financiamiento a la ciencia y al desarrollo tecnológico y comercial, por la información técnica y comercial disponibles en las organizaciones, y por el desarrollo de la propiedad intelectual.

Estas organizaciones requieren articularse y coordinarse, lo que puede realizarse mediante políticas y estrategias compartidas y conjuntas, y por el diseño e implementación de leyes, reglas de normatividad y mecanismos específicos para ello. De tal manera que al reconocerse la importancia del desarrollo de la Biotecnología en el país, y de las fortalezas y debilidades con las que se cuenta, sea una prioridad estatal y de los diversos sectores en coordinación avanzar de la etapa de diagnóstico a la de implementación práctica, de manera que las propuestas no se queden sólo en el papel y puedan escalar en la verdadera acción de la política pública, es decir no sólo mediante la creación de actividades de fomento, sino primordialmente de ejecución.

Al indagar de manera general en la conformación del ambiente, se observa claramente la presencia de los distintos actores que podrían conformar un Sistema Sectorial de Innovación en Biotecnología. Existen universidades y centros públicos de investigación con un alto nivel de desarrollo en la investigación biotecnológica en distintas áreas, a pesar de que en

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

comparación con otros países aún son pocos. También existe una importante generación de recursos humanos altamente calificados a nivel nacional.

Las empresas que utilizan algún tipo de técnica o recurso biotecnológico, tanto internacionales como nacionales, empiezan a ser cada vez más visibles, algunas de ellas han logrado situarse en nichos muy específicos de mercado, o han sabido aprovechar espacios en ciertos mercados, como el de los llamados biogénicos. Sin embargo, se puede apreciar una falta de capital de riesgo e instrumentos financieros que promuevan la generación de *start ups*, además de que no existe una estructura financiera que apoye y soporte en particular a este sector.

La política ha tratado de integrar a los actores, ha hecho un diagnóstico sobre el sector y sus condiciones, sin embargo no se ha establecido una verdadera red que genere procesos virtuosos que no se expresen sólo en ciertos casos excepcionales, sino que repercuta en el conjunto del sector.

En este artículo se presentó un panorama amplio acerca de cuáles son los principales actores de lo que podría llamarse un insipiente sistema sectorial de innovación en el sector biotecnológico. Esto es así debido a que bajo el contexto teórico expuesto anteriormente de lo que constituyen los sistemas

sectoriales de innovación, queda claro que no existen aún los nodos de interacción firmemente establecidos, por lo que es prematuro considerar que el sector biotecnológico en México se encuentre bien constituido.

Bibliografía

Amaro, M. (2008), "El rol de los incentivos en los procesos de cooperación Universidad-Empresa. Un estudio de caso en el sector biotecnológico mexicano". Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Xochimilco.

Antal, E. (2008), "Interacción entre política, ciencia y sociedad en biotecnología. La regulación de los organismos genéticamente modificados en Canadá y México", *Revista Norteamérica CISAN-UNAM*, 3, (1).

Crossborder Group Inc. (2007), *Borderless Biotech & Mexico's Emerging Life Sciences Industry*.

Corona, L. (1990), "Elementos para una estrategia latinoamericana de desarrollo científico y tecnológico", *Comercio Exterior*, 40 (2), 150-155.

Coomb, R. (1996), "Core Competencies of the Corporation", *Harvard Business Review*, 68 (3).

Dahlman, C. y Frischtak, C.R. (1993), "National Systems Supporting Technical Advance in Industry: The Brazilian experience". En R. Nelson (comp.) *National Systems of Innovation*. EUA: Oxford University Press.

Dosi, G. (1982), "Technological Paradigms And Technological Trajectories: A Suggested Interpretation Of The Determinants And Directions Of Technical Change", *Research Policy*, 11 (3).

Dosi, G., et al., (1988), *Technical Change And Economic Theory*. Londres: Pinter Publishers.

Dutrénit, G. y Oliveira, A. (1992), "Las asociaciones en participación, camino para modernizar el campo", *Comercio exterior*, 42 (6), 563-571.

La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación

Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (1995), "The triple helix-university-industry-government relations: A Laboratory for knowledge-based economic development", *EASST Review*, 14 (1), 14-19.

Freeman, C. (1987), *Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan*. Londres: Pinter.

Foray, D. (2000/2004), *Economics of Knowledge*. London: The MIT Press.

Jaffe, W.R. y Trigo, E. (1993), "Agrobiotechnology In The Developing World. Trends Issues And Policy Perspectives", *Biotechnology R&D Trends: Science Policy for Development*, Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 700.

Lundvall, B. (1992), *National Systems of Innovation*, Londres: Pinter Publisher.

Malerba, F. (2004), *Sectoral Systems of Innovation*, Cambridge: Cambridge University Press.

Nelson, R. y Rosemberg, N. (1993), "Technical Innovation and National System. Introductory Chapter". En R. Nelson (comp.), *National Systems of Innovations*. EUA: Oxford University Press.

Niosi, J. et al (2002), "National Systems Of Innovation Are 'X-Efficient' (And X-Effective). Why Some Are Slow Learners". *Research Policy*, 31, 291-302.

North, D. (1981). *Structure and Change in Economic History*. Nueva York: WW Norton.

OECD (1989), *Biotechnology, Economic And Wider Impacts*. Paris.

Pérez, C. (2009), "Innovación y crecimiento. Comprender la dinámica y el cambio de las oportunidades para América Latina". En A. Martínez, P.L. López, A. García y S. Estrada (coord.), *Innovación y Competitividad en la Sociedad del Conocimiento* (pp. 21-43). México: Plaza y Valdés.

Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001-2006. Poder Ejecutivo Federal, México.

Programa Especial de Ciencia y Tecnología e 2007-2012. Tomo II, Poder Ejecutivo Federal, México.

Trikarty e Hiperion Biotech para Genoma España (2005), *La Biotecnología en México*.

Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT) 2009, disponible en CONACYT www.conacyt.mx

Solleiro, et al. (2008), *Informe: Capacidad de la Biotecnología Agropecuaria y acuícola en México*. Documento Privado

Zapata Bolívar, F. (coord.) (2002), *Biología Moderna para el Desarrollo de México en el Siglo XXI: Retos y Oportunidades*. México: Fondo de Cultura Económica-CONACYT.

Zapata Bolívar, F. (coord.) (2003), *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la Biotecnología en México*. México: CONACYT, AMC y UNAM.

Páginas de Internet

<http://www.unam.mx/> , www.ibt.unam.mx/

<http://www.ipn.mx/wps/wcm/connect/IPN%20HOME/ipn/estructura+principal/ciencia+y+tecnologia/ciencia+y+tecnologia>

<http://www.cinvestav.mx/>

<http://www.eufic.org>

<http://www.uam.mx/>

<http://www.uaem.mx/investigacion/>

http://www.itesm.edu/wps/portal?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/migration/itesmv22/tecnol_gico+de+monterrey/investigaci_n/ce tros/por+campus/monterrey/centro+de+biotecnologia+cb.inv+itesmv2