



Estudios Sociales
45

Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México

Innovation incentives for agro-food
biotechnology in Mexico

*Marcela Amaro-Rosales**

*Daniel Hugo Villavicencio-Carbajal***

Fecha de recepción: noviembre de 2013

Fecha de aceptación: marzo de 2014

*Posdoctorante Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM

Dirección para correspondencia: marcela.amaro.rosales@gmail.com

** Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Resumen / Abstract

En el artículo analizamos la innovación biotecnológica relacionada con los sectores agrícola y alimentario en México. Tomamos en cuenta las políticas públicas, las leyes y las reglamentaciones; la dinámica del sector y del mercado. Asimismo, analizamos la forma en la que las empresas agro-alimentarias pueden aprovechar los insumos de conocimiento científico y tecnológico que ofrece la biotecnología. La principal conclusión es que actualmente el marco institucional regulatorio y la dinámica del mercado establecen más barreras que incentivos para el desarrollo y aplicación de innovaciones biotecnológicas y con ello lograr una mejora en la calidad de los alimentos y un incremento en la competitividad de las empresas y del sector agrícola en el país.

Palabras clave: biotecnología agrícola-alimentaria, incentivos, innovación, instituciones, conocimiento.

In this article we analyze innovations in biotechnology related to the agricultural and food sectors in Mexico. We take into account the public policies, laws and regulations; the dynamics of the sectors and the market. We also analyze the way by which scientific and technological inputs of knowledge offered by biotechnology are exploited by the agro-food companies. The main conclusion is that the institutional and regulatory frame and the market dynamics, represent more barriers than incentives for the development and application of biotechnological innovations, and therefore to improve the quality of food and to increase the competitiveness of the agricultural sector in the country.

Key words: agro-food biotechnology, incentives, innovation, institutions, knowledge.

Introducción

Existen una serie de estudios sobre la emergencia de las nuevas tecnologías, como la nanotecnología o la biotecnología en temas como el fomento, aprovechamiento y consolidación de las anteriores como ventanas de oportunidad. Bajo la premisa de que dichas tecnologías pueden ser aprovechadas de diversas maneras para lograr mejores condiciones, tanto económicas como sociales de la población, motivo por el cual se les ha considerado como áreas clave de desarrollo. Tal relevancia han tomado estas nuevas tecnologías que, en muchos casos, los planes científicos y tecnológicos de los países o regiones las mencionan como sectores que deben ser impulsados a través de diversas políticas públicas debido al potencial que representan.

Los análisis realizados en países donde el impulso mencionado viene de tiempo atrás, muestran que existen factores institucionales que se han modificado o han evolucionado a favor de las tecnologías.¹ En el caso particular de la biotecnología, los estudios indican que variables como las políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación, la creación o modificación de incentivos a distintos niveles, el sistema educativo, las leyes, reglamentaciones y los derechos de propiedad, entre otros, han jugado un rol muy importante en su promoción y crecimiento.

En general, dichos estudios parten de la existencia de una relación directa y positiva entre las transformaciones institucionales y su impacto en la evolución de la tecnología, desde diversas perspectivas teóricas y metodológicas. Entre las distintas vertientes teóricas que retoman dichos aspectos podemos mencionar los estudios regionales o sectoriales de la innovación o los sistemas nacionales de

¹ Véase autores como Kaiser y Prange (2004), Momma y Sharp (1999), Hsu, *et al.* (2005), Adeoti y Adeoti, (2005), Gittelman (2006), Dohse (2000) y Van der Valk (2009).

innovación (Mehra, 2001, Niosi y Banik, 2005) o bien desde la perspectiva de un proceso co-evolutivo entre instituciones, relaciones productivas y tecnología (Linskey, 2006).

La literatura mencionada comúnmente considera a los factores institucionales como los cambios en las políticas públicas de ciencia y tecnología o la política industrial (en el entendido de que la primera es un componente de la segunda), los incentivos de diversos niveles y tipos, las modificaciones a los sistemas educativos y, finalmente, el marco regulatorio legal, focalizando en el tema de los derechos de propiedad y explotación del conocimiento. Pero sin olvidar que el desarrollo de innovaciones biotecnológicas para el sector agrícola y alimentario requiere a su vez la promoción de capacidades científicas que a través de distintos mecanismos se puedan transferir hacia los agentes con capacidad de innovar.

En el caso de la biotecnología, los elementos anteriores juegan un papel relevante, dadas las características de la tecnología en cuestión. Si bien la biotecnología ha sido considerada como una de las áreas de desarrollo científico y tecnológico más relevantes en la actualidad (OCDE, 2005; CEPAL, 2009), también ha traído consigo una serie de suspicacias dado que su uso e impacto involucra una relación directa con la naturaleza y el hombre. Por sus características, la biotecnología ha generado muchas expectativas sobre la incidencia que puede tener en distintas áreas de la vida natural y social, pero al mantener una estrecha relación con los organismos vivos provoca desconfianza de ciertos sectores de la población en cuanto al uso de la información que se difunde sobre los procesos que se desarrollan y los productos que se pueden obtener.

El desarrollo de una nueva tecnología conlleva incertidumbre sobre sus usos y riesgos potenciales. 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 para la formulación de políticas públicas, reglamentaciones y leyes que delimiten y establezcan el desarrollo tecnológico con un enfoque de bienestar común y responsabilidad social.

Considerando lo anterior, el objetivo de este artículo es analizar la estructura de incentivos para la innovación biotecnológica agrícola y alimentaria en México, tomando en cuenta el estudio de dos factores primordiales. Por un lado las políticas públicas, las leyes y reglamentaciones partiendo del supuesto de que pueden ser generadoras de incentivos o desincentivos para los ambientes innovadores; y, por otro lado, la dinámica del sector (agentes y mercado) como el espacio en el que se materializan las innovaciones. La inquietud primordial que ha

guiado la investigación se refiere a la existencia o no de incentivos para aprovechar los insumos científicos y tecnológicos que ofrece la biotecnología y su impacto en el sector agrícola. De manera particular nos interesa analizar en qué medida existen incentivos que promueven la transferencia del cúmulo de conocimientos científicos y tecnológicos existentes para mejorar las condiciones y las características de la producción de alimentos en nuestro país.

La hipótesis de nuestra investigación considera que la estructura de incentivos para el desarrollo de innovaciones biotecnológicas en el sector agrícola y alimentario presenta disfunciones, ya que promueve el desarrollo de capacidades científicas, pero restringe la generación de innovaciones. La metodología utilizada ha consistido en una amplia revisión documental de las distintas políticas públicas, leyes y reglamentaciones que se involucran con el tema, además de entrevistas a algunos empresarios, investigadores, funcionarios de organismos “puente” y *policy makers* para identificar a través de su práctica las disyuntivas que enfrentan en el proceso de generación y aplicación del conocimiento en el área de biotecnología. Asimismo realizamos un análisis de las fuentes estadísticas disponibles para identificar el comportamiento de las empresas, la evolución de los instrumentos implementados y otros elementos sobre la dinámica tecnológica y productiva del sector.

Además de algunos aportes empíricos, este artículo pretende debatir con aquellos enfoques que proponen que el desarrollo de una tecnología emergente como la biotecnología se da casi de manera natural en ambientes que cuentan con cierto tipo de estructura de incentivos. Como se verá más adelante, el caso mexicano demuestra que a pesar de la existencia de muchos mecanismos, estos pueden representar barreras más que incentivos a la innovación, dado que es un ambiente sumamente complejo que requiere de un esfuerzo mayor de política pública y que no solo es necesario contar con esos mecanismos, sino que, además, es necesario considerar la calidad, aplicación y monitoreo de los mismos, de manera que haya coherencia y coordinación.

Es necesario mencionar que el tema de los incentivos es fundamental para analizar el desarrollo de la biotecnología en México porque es un área que implica un alto grado de incertidumbre, no solo para las empresas que aún no están dispuestas a invertir en ella, sino que también para otros agentes de lo que se conoce como el sistema de ciencia y tecnología y para la sociedad en general.

En el primer apartado presentamos una serie de antecedentes y contexto de nuestro análisis, así como algunos conceptos que nos ayudan a entender el problema de los incentivos y barreras a la innovación. En el segundo apartado explicamos por qué es relevante hablar de incentivos y barreras a la innovación en

el proceso de desarrollo de la biotecnología. A continuación se define la biotecnología agrícola y alimentaria para después abordar el tema de los incentivos a la innovación en dicho sector en el caso mexicano. Finalmente, presentamos las conclusiones que se desprenden de la investigación.

Antecedentes

La década de los años setenta marcó la aparición de las primeras empresas dedicadas a la biotecnología. Países como los Estados Unidos (EU), algunos europeos y Japón cuentan con una larga historia en la formación de empresas de este tipo. La diferencia entre el primero y el último es que para el año de 1995 en Japón no existía aún ninguna empresa de base biotecnológica, mientras que en EU había alrededor de 250 *bioventures*. Sin embargo, en poco tiempo Japón logró establecer una estrategia de desarrollo biotecnológico que condujo a un crecimiento importante del sector. Lo anterior ha llevado a una serie de investigaciones y discusiones en torno a la posibilidad de construir un ambiente institucional a nivel de un país que permita y fomente cierto cambio de costumbres, de actividades y de percepciones referentes a la innovación (Linskey, 2006).

Las diferencias en la dinámica en torno al desarrollo de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación en la biotecnología son las razones por las cuales autores como Marsh (2003), Hsu *et al.* (2005), Adeoti (2005), Niosi y Banik (2005), consideran que las características institucionales de cada país son un factor determinante para la creación de incentivos que modifican las conductas y relaciones en torno a la innovación. En este marco, uno de los debates que ha surgido tiene que ver con la direccionalidad de los eventos: son las instituciones las que afectan directamente a los agentes, o son los agentes los que modifican a las instituciones; o bien existe un proceso de “mutua determinación o co-evolución” como ha sido comúnmente nombrado por algunos. De acuerdo con Dasgupta y Stiglitz (1980) el establecimiento de un ambiente institucional favorable debe acompañarse de acciones simultáneas, de manera que exista determinación desde el ambiente institucional a las empresas y de las empresas al ambiente nacional. Esto es justamente lo que Linskey (2006) denomina en el caso de Japón como un proceso de co-evolución a partir de transformaciones institucionales como los cambios en la legislación, la política, la transferencia de tecnología, etcétera.

El marco institucional de un país constituye el espacio de acción de las empresas. En dicho espacio puede haber estímulos que propicien la colaboración universidad-industria, los *spin-off*, la actitud al aprendizaje y al riesgo, la trasfe-

rencia de conocimiento, además de un conjunto de programas de política pública que promuevan la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) y la innovación (Villavicencio, 2006). Asimismo, una de las funciones centrales de las instituciones es proveer de incentivos a través de normas y regulaciones (Scott, 1995; Edquist, 1997).

La innovación como proceso socioeconómico fue analizada desde finales de los ochenta por Bijker, Huges y Pinch (1987), quienes postularon que las innovaciones tecnológicas son construcciones sociales que resultan de las interacciones agentes institucionales del ámbito no económico (laboratorios, universidades), tanto como las empresas. Algunas invenciones resultan de la inercia de una trayectoria que combina ciencia y técnica de manera específica y pueden o no ser acogidas por el mercado, mientras que otras resultan de la búsqueda de soluciones técnicas a problemas específicos, por ejemplo de un proceso de producción. Entre los postulados centrales de su enfoque, tenemos la existencia de sistemas socio-técnicos que constituyen el marco de relaciones, determinantes y condiciones bajo las cuales se produce, transfiere y utiliza el conocimiento científico y tecnológico, de tal manera que las innovaciones emergen de dicho contexto y, por lo tanto, llevan su sello. Estas ideas concuerdan, a su vez, con el enfoque de la economía evolutiva que dio origen a los postulados sobre los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI) y que se fue consolidando a partir de los años noventa.

El SNI ha sido considerado como una estructura institucional que confiere soporte social y organizacional para la generación, adaptación y difusión de nuevas tecnologías. Ch. Freeman (1987) estableció que el SNI puede conceptualizarse como una red de instituciones públicas y privadas cuya función es, especialmente, la de promover e impulsar el desarrollo de nuevas las tecnologías. Por su parte, Lundvall (1992) planteaba una idea más amplia al considerar que todo resultado innovador es una consecuencia directa de un proceso previo de aprendizaje organizacional, por lo que el SNI se encuentra conformado por todos los aspectos de la estructura económica y del entramado institucional que afectan dichos procesos de aprendizaje. Así, las innovaciones, tanto productivas como organizacionales que ocurren principalmente en las empresas, están estrechamente relacionadas con las condiciones económicas e institucionales de los contextos nacionales.

Las aportaciones hechas por la economía de la innovación son relevantes para entender los procesos de aprendizaje tecnológico, el desarrollo de nuevas tecnologías y la consolidación de dinámicas e interacciones entre los agentes de la economía que dan como resultado innovaciones en distintos ámbitos como, por ejemplo, la biotecnología. Sin embargo, por problemas de espacio no podemos

detenernos para caracterizar desde el punto de vista conceptual y metodológico las variables, dimensiones, conceptos e implicaciones del enfoque del SNI. Lo que nos importa rescatar de dicho enfoque es la idea de que en la construcción de dinámicas de innovación, intervienen los agentes económicos (empresas), en conjunto con agentes no económicas (universidades, agencias de gobierno) en interrelaciones que dan como resultado espacios para el aprendizaje y el aprovechamiento del conocimiento para fines productivos. A su vez, en dichos espacios aparecen señales, tanto del mercado como de las reglas institucionales, que incitan o inhiben el comportamiento de los agentes en materia de apropiación, difusión y producción de conocimiento.

Los incentivos y barreras a la innovación

Desde la perspectiva de la economía de la innovación, los incentivos representan señales que condicionan, alientan o inducen los comportamientos de los agentes hacia las actividades de innovación organizacional, tecnológica y productiva. Los incentivos se manifiestan a través de una serie de mecanismos cuyo origen o fuente proviene de las instituciones; considerando a las últimas como aquellas prescripciones que los humanos usan para organizar todas las formas de interacción repetitiva y que, a su vez, constituyen marcos de referencia o restricciones para la conducta individual y colectiva, al mismo tiempo que posibilitan la existencia de comportamientos que de otra forma serían irrealizables (North, 1981).

Ahora bien, dada la complejidad que se manifiesta en las relaciones de intercambio de bienes y servicios, así como la diversidad tecnológica y organizacional de los agentes que participan en el mercado, un incentivo para un grupo de agentes puede representar una barrera para otro grupo; de igual forma, la dinámica evolutiva del mercado que se expresa por variaciones en las necesidades y comportamientos de los agentes puede provocar que un incentivo pierda su valor como tal o que, incluso, constituya un obstáculo con el paso del tiempo. Para efectos de nuestro análisis consideramos los siguientes aspectos como incentivos: *políticas públicas* (en distintos niveles) en tanto que establecen una serie de lineamientos y mecanismos para fomentar actividades productivas y tecnológicas; *leyes y reglamentos* en la medida en la que establecen los límites de acción de los actores en temas específicos y que en el caso de la biotecnología juega un papel muy importante dadas las características de la tecnología. Finalmente, las relaciones de mercado representan los mecanismos que incentivan o inhiben la actividad productiva de las empresas y, en ese sentido, pueden inducir al desa-

rollo de productos y procesos nuevos o mejorados mediante el aprovechamiento de la biotecnología.

La política de ciencia, tecnología e innovación (PCTI) se traduce en una serie de instrumentos que buscan garantizar diversos aspectos como la disponibilidad, difusión y acceso al conocimiento científico y tecnológico, el acceso a la infraestructura para la investigación científica y tecnológica, la formación de recursos humanos, transferencia y asimilación tecnológica, fomento a la invención y la innovación (Smits y Kuhlmann, 2004; Casper y Van Waarden, 2005). La PCTI tiene la finalidad de establecer la estructura de incentivos para fomentar la participación de agentes públicos y privados en las diversas actividades que representa la investigación científica básica y aplicada, la investigación y el desarrollo tecnológico (I+D) y la innovación (Edquist 2002; Villavicencio 2009).

Sin embargo, la instrumentación de la PCTI debe tomar en cuenta las condiciones vigentes, los patrones de evolución de diversos factores de carácter estructural como son la infraestructura para la investigación, la masa crítica de recursos humanos o de empresas susceptibles de innovar, así como el grado de consolidación alcanzado en ámbitos como la vinculación universidad-empresa, la investigación colaborativa, la transferencia y explotación del conocimiento por los diversos sectores que componen la economía. Desde esta perspectiva, hoy existen en el mundo diversas modalidades e instrumentos que se combinan con la finalidad de acelerar los procesos de producción, difusión y aprovechamiento del conocimiento científico y tecnológico.

Existen políticas denominadas verticales, las cuales tienen una direccionalidad determinada y su objetivo es resolver una serie de demandas localizadas, de manera que, generalmente, se dirigen a grupos de actores definidos previamente. Empero, también hay otras políticas más horizontales, no discriminatorias del tipo de actores, de sus capacidades, necesidades o demandas (Larédo y Mustar, 2001).

Otro de los elementos fundamentales que componen la estructura de incentivos para la innovación y para el desarrollo del sector biotecnológico que nos ocupa, es el marco legal que regula el funcionamiento de las actividades productivas y tecnológicas de las empresas. Para el caso de la biotecnología este aspecto es importante porque tiene implicaciones sobre la salud humana, el equilibrio natural y ecológico o las repercusiones económicas y sociales para ciertos grupos de la población. Particularmente el área agrícola y alimentaria se ha visto inmersa en el debate acerca de las consecuencias con el uso de organismos genéticamente modificados (OGM), tanto para los consumidores como para los produc-

tores (al generar cierta dependencia hacia los proveedores de algunos granos o semillas), y para el medio ambiente (debido a la posible contaminación de especies criollas). Aunque cabe mencionar que la biotecnología no se reduce únicamente a la producción de transgénicos.

Por tales motivos es que la legislación y la reglamentación en el tema son de especial importancia dado que el Estado las establece para asegurar la apropiación individual adecuada de los beneficios de la generación de nuevo conocimiento, sin descuidar la aplicación social del mismo (Amaro *et al.* 2010). Además de que pretende establecer límites de actuación de los agentes, permitiendo o prohibiendo cierto tipo de actividades que pueden ser dañinas para algún grupo social o para el medio ambiente. Y, finalmente, se busca que al establecerse el marco legal, también se instituyan claramente los derechos de propiedad, por ejemplo el tipo de recursos naturales o el conocimiento que de ellos se desprende y que se puedan explotar, patentar y/o comercializar.

Existen otros aspectos que pueden incentivar o inhibir la innovación en las empresas. En el caso de las barreras, A. Hadjimanolis (2003) establece que las hay externas a las empresas, así como también internas. Las primeras se generan en el espacio socioeconómico e institucional externo a la empresa, entre las que destacan las relacionadas con el mercado y las de gobierno, compuestas por políticas y regulaciones que en ocasiones generan obstáculos a la innovación por diversos factores, ya sea porque son incompletas, inadecuadas o mal implementadas. Y, por su naturaleza, las empresas poco pueden influir en ellas o eliminarlas. Además de que son externas a la empresa, esta no puede influir en ellas o eliminarlas.

Lo anterior es relevante para nuestro análisis, debido que las actividades biotecnológicas necesitan regulaciones muy claras que ayuden a generar mercados, eliminen parte de la incertidumbre con respecto a los derechos de propiedad y sobre todo traten de disminuir el riesgo que se corre en todo proceso de innovación.

El segundo tipo de barreras son internas y hacen referencia a las características de la organización, sus pautas jerárquicas, sus rutinas colectivas de comportamiento y de la forma como se gestiona la innovación. En las barreras internas también tenemos las relacionadas con la falta de capacidades de los individuos para aprender y para desarrollar innovaciones, gestionirlas o inhibirlas debido a la falta de creatividad, entrenamiento, autonomía, motivaciones, etc. Asimismo, los flujos inadecuados de información, sistemas de incentivos pecuniarios inapropiados o tensiones entre áreas de la organización también constituyen elementos susceptibles de convertirse en una barrera interna. Por último, la dimensión política interna también puede constituir una barrera al cambio, ya sea por



los conflictos de intereses entre los diversos niveles jerárquicos de la estructura organizacional, o bien por los conflictos entre las metas definidas y las capacidades y competencias del personal que ejecuta las tareas centrales de la empresa.

Definiendo a la biotecnología agrícola-alimentaria

El sector agrícola-alimentario puede definirse de manera tradicional como la producción de alimentos básicos como granos, semillas, vegetales, frutas, etc. La producción de alimentos y bebidas (proceso industrial), así como aquellas industrias que transforman productos agrícolas, ganaderos o pesqueros, aplicándoles un proceso para su conservación o bien transformándolos para producir bienes de consumo o intermedios para la alimentación humana o animal, o para ser utilizados en otros procesos industriales (SE, 2010).

La producción de alimentos en el mundo se caracteriza por una alta heterogeneidad en los métodos de producción, precios de productos, ciclos de producto-consumo entre otros factores. Entre las variables a considerar sobre la dinámica de los mercados del sector tenemos el crecimiento mundial de la población y sus hábitos de consumo, la diversificación y especialización de las regiones productoras de alimentarios, así como aspectos de conveniencia, calidad e inocuidad alimentaria. Hoy existe en el mundo una mayor variedad y disponibilidad de bienes alimentarios básicos, de productos de alto valor y de productos tanto frescos como procesados y de larga duración. En términos generales, mantener una oferta de productos para una demanda variable y exigente requiere de una constante innovación, es decir de la incorporación de nuevas técnicas y aplicaciones tecnológicas que no todos los productores directos pueden asumir, dados los costos que esto implica.

Las innovaciones en agricultura y la fabricación de alimentos hacen referencia a la incorporación de nuevos conocimientos y tecnologías en las fases de producción, procesamiento y comercialización, todo ello relacionado con semillas de variedades nuevas o mejoradas, tejidos, vacunas, equipos y técnicas de cultivo y crianza. También incluye la aplicación de protocolos de calidad, mejoras gerenciales y acceso a nuevos mercados y productos. Sin embargo, la principal fuente de modificaciones y mejoras de calidad, cantidad y propiedades de los alimentos estriba en la incorporación de insumos biotecnológicos en la producción y procesamiento de alimentos.

La biotecnología moderna consiste en la aplicación de técnicas *in vitro* de ácido nucléico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN y ARN) recombi-



nante y la inyección directa de ácido nucléico en células u organelos o la fusión de células más allá de la familia taxonómica, que supera las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación, y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional, las cuales se aplican para dar origen a organismos genéticamente modificados.² De manera que el sector agrícola-alimentario relacionado con la biotecnología (que se analiza en este trabajo) se compone por todos aquellos involucrados en el desarrollo de técnicas, procesos o productos mejorados genéticamente o basados en procedimientos moleculares controlados.

La aplicación de la biotecnología en este sector se ha concentrado en la cadena de producción primaria y transformación de productos agrícolas; además de los procesos industriales de transformación de insumos agrícolas para la generación de productos. Esta se ha orientado a las cuatro fases de la producción y transformación agrícola: semillas y variedades vegetales derivadas de mejoramiento tradicional, insumos y sistemas para el manejo agronómico, productos y procesos para el manejo poscosecha y procesos industriales de transformación de insumos agrícolas para la generación de productos (SE, 2010).

En lo que se refiere al área de alimentos, la biotecnología se ha concentrado en la generación de procesos integrados de transformación de productos animales o vegetales, en la producción de ingredientes y en la preparación de alimentos formulados, además de los sistemas orientados a la preservación de la inocuidad y la calidad nutricia de los alimentos (SE, 2010). En este sentido, el espectro de posibles innovaciones es amplio, en la medida en que el uso de la biotecnología permite mejoras en calidad y composición de productos y procesos de una amplia gama de alimentos.

Plantear la existencia, en México, de un sistema de innovación en el ámbito de la biotecnología nos parece osado, dado que hoy no es posible identificar un conjunto de elementos y dimensiones que, desde el punto de vista conceptual, deberían tomarse en cuenta para su caracterización. Sin embargo, una de las tareas de nuestra investigación ha sido identificar los agentes que se interrelacionan creando dinámicas de transferencia de conocimiento, creación de capacidades de aprendizaje tecnológico y organizacional y dinámicas de colaboración para la innovación. Los agentes que consideramos son: a) los productores de conocimiento científico básico y aplicado que pueden ser las universidades y los

² Extraído de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Texto Vigente Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de marzo de 2005.

centros de investigación, b) los usuarios de dicho conocimiento, que suelen ser generalmente los productores agrícolas directos, las empresas agroindustriales y las procesadoras de alimentos, c) las distintas agencias relacionadas con la reglamentación y la formulación de políticas públicas para dicha tecnología. En el caso mexicano, la identificación de estos tres tipos de agentes no es fácil, sobre todo para los dos primeros, por las carencias en la estadística nacional que utiliza las de ramas industriales para clasificar los patrones de organización industrial.

Mecanismos para la generación de incentivos en México

Desde hace varias décadas, nuestro país ha importado granos, oleaginosas, leche en polvo y otros productos alimenticios, lo que representa un grave problema por la erogación de divisas y la fluctuación internacional de los precios. En casos como el maíz, frijol, arroz y trigo constituyen la base de la dieta de la gran mayoría de la población mexicana, pero una parte del consumo nacional de dichos productos se satisface con importaciones. Esta dependencia de las importaciones es producto por ejemplo de la diferencia de costos y precios entre los productos estadounidenses y los mexicanos (Castañón *et al.* 2003). La desgravación de los insumos agrícolas, sumada a la mayor productividad y los subsidios a la agricultura estadounidense, han hecho que las empresas productoras de alimentos procesados en México prefieran importar tales insumos para reducir sus costos de producción.

Hay diferentes factores combinados que han repercutido en el rezago productivo y tecnológico en la producción y procesamiento de alimentos en el país, tales como la falta de capital para la inversión en mejores técnicas y tecnología o la presencia de formas tradicionales de la explotación del suelo. Una de las vías para mejorar la productividad y competitividad de los productores de alimentos hace referencia al aprovechamiento de los resultados de la investigación aplicada y del conocimiento científico y tecnológico disponibles. Ello puede coadyuvar a perfeccionar procesos de producción, exploración de otros nichos de mercado, generación de nuevos productos, la utilización de nuevos enfoques organizacionales y de comercialización.³

A nivel internacional enfrentamos el reto de producir más y mejores alimentos en un contexto de población creciente y superficie restringida. Para el caso

³ Al respecto, véase el trabajo de Taddei y Preciado (2008) quienes muestran que la investigación y desarrollo pueden representar una importante variable relacionada con barreras a la segmentos de la industria alimentaria en el noroeste del país.

de México la superficie arable es aproximadamente de 1 500 000 hectáreas, de las cuales se cultiva en promedio el 80%, pero el crecimiento de la población se multiplicó por más de cuatro en apenas seis décadas según cifras de Conapo (2013). Esto significa que la demanda de alimentos ha crecido debido a la rápida expansión de la población, pero las superficies cultivables no lo pueden hacer así debido a distintas restricciones. Bajo este panorama, una de las mejores opciones para tratar de cubrir satisfactoriamente la demanda creciente de alimentos es el aprovechamiento de los avances tecnológicos proporcionados por distintas áreas, como la biotecnología. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), para que un país tenga los beneficios inmediatos de la biotecnología debe contar con un sistema de investigación agrícola bien establecido, un proceso de regulación en bioseguridad, protección de los derechos de propiedad y acceso a los mercados. México cuenta con estos elementos por lo que la autosuficiencia alimentaria no es una meta inalcanzable (Blanco *et al.*, 2008). Sin embargo, podemos preguntarnos en qué medida existen los suficientes incentivos para que las empresas logren aprovechar mayormente los aportes de la biotecnología agrícola y alimentaria para mejorar la calidad y volumen de los alimentos.

Políticas públicas

México cuenta con la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico 1999, la de Ciencia y Tecnología y la Ley Orgánica de Conacyt de 2002; además, del Programa Especial de Ciencia y Tecnología, que es el instrumento para la aplicación de la política de ciencia y tecnología. El principal encargado de organizar parte de los recursos que se destinan para la CTI en el país es el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) a través de una serie de instrumentos de fomento, apoyo y consolidación para los distintos actores del sistema nacional.

La biotecnología ha sido considerada una de las cinco áreas estratégicas del conocimiento señaladas por el Conacyt dentro de los dos Programas Especiales de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECYT 2001-2006 y 2007-2012). Ambos establecen 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, además de fortalecer y am-

pliar la red de laboratorios de detección de organismos genéticamente modificados de las diferentes instancias gubernamentales y *extender los lazos* con los laboratorios de las instituciones educativas y de investigación. El énfasis es adecuado, ya que se reconocen fortalezas en la generación de recursos humanos de calidad internacional, y se señalan algunas de las debilidades. Sin embargo, no se establecen criterios adecuados que alienten las acciones de los agentes involucrados con el sector y tampoco se plantean objetivos y estrategias de mediano o largo plazo. No existe formulación de una estrategia nacional e integral como tampoco se establecen esquemas de incentivos para empresas, universidades o cambios en aspectos fiscales entre otras medidas. Además de lo anterior, no existen planteamientos acerca de cómo articular la base científica existente con la base industrial y, mucho menos, estrategias para la creación de un mercado para las innovaciones que pudiesen resultar.

Del análisis de los documentos oficiales podemos concluir que no se ha definido un plan integral, estrategias ni acciones que alienten el desarrollo de la biotecnología en el país, ni, mucho menos, se han establecido prioridades o áreas de interés. Esto quiere decir que no existen incentivos claros hacia la asimilación de tecnología y la innovación en el sector, a pesar de que se le ha asociado al esquema de prioridades para el país.⁴

En otros países, como Alemania o Francia, la biotecnología ha formado parte de estrategias claras de desarrollo económico e innovación a través del fomento de los denominados Bio-Clusters o polos de competitividad en biotecnología en alimentos. En Canadá existen los programas focales hacia la biotecnología agrícola con incentivos mediante los derechos de propiedad y mecanismos de comercialización (Niosi y Bas, 2004). Lo que demuestran los países citados es que no solamente es necesario plantear las prioridades o inyectar recursos económicos a la investigación científica, sino que se requieren incentivos dirigidos hacia el fomento de cadenas de conocimiento y de valor.

En México existen diversos apoyos que a través de distintos programas o fideicomisos fungen como incentivos para el desarrollo de la biotecnología, pero con diferentes características. Por ejemplo, el Fondo Sectorial de Innovación Tecnológica de la Secretaría de Economía-Conayct (FIT) emite una convocatoria que especifica una serie de sectores que considera relevantes, entre ellos al sector “agroindustrial-alimentario”. El programa apoya proyectos de desarrollo tecnológico e

⁴ Históricamente, han existido diversos programas de mejora productiva y empleo en el sector, de carácter asistencialista, y que han operado a través de subsidios directos, los cuales no se relacionan necesariamente con la innovación a través del uso de la biotecnología.



innovación y muchos de los que han sido aprobados con recursos se relacionan con biotecnología en aspectos como métodos de fertilización, parasitocidas, herbicidas, envolturas, conservación de alimentos, modificaciones de ciertas semillas o granos, etc. Dirigido a las Pymes, este programa aporta recursos económicos hasta por la mitad del costo total del proyecto de I+D y las empresas deben aportar la otra mitad, por lo que constituye un incentivo directo a la inversión en innovaciones para el sector alimentario y agroindustrial (Villavicencio, 2012)

En el marco de un análisis del impacto que ha tenido el mencionado FIT, encontramos que una parte de los proyectos de desarrollo tecnológico e I+D que fueron financiados entre 2007 y 2009 se relacionaron con el área agroindustrial-alimentaria, 36 de 156, lo que representa una quinta parte de total.⁵ En algunas entrevistas que realizamos a las empresas que llevaron a cabo los proyectos, destacan aspectos como la creación de pequeños centros de I+D en las empresas, el desarrollo de insumos para mejorar nutrientes para consumo humano o animal, la sustitución de químicos por fertilizantes naturales e incluso el aprovechamiento de derivados de plantas para usos en la salud y la nutrición. La mayoría de estos proyectos fueron ejecutados por Pymes y en algunos casos las empresas recurrieron a centros de investigación para contratar servicios de pruebas y certificación y para co-desarrollo de tecnología, lo que da cuenta del esfuerzo por estrechar vínculos de las empresas con las universidades dadas las carencias que tienen las empresas en materia de conocimiento científico y tecnológico.

El Fondo Sectorial de Investigación en Materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (Sagarpa-Conacyt-Cofupro) es un instrumento desarrollado por el gobierno mexicano con la finalidad de resolver problemas del sector, además de promover el desarrollo de los mismos. En un estudio sobre el impacto de dicho programa en el desarrollo de soluciones tecnológicas e innovaciones en el ámbito agropecuario, observamos que entre 2002 y 2006 se aprobaron más de 400 proyectos de los que menos de una cuarta parte puede ser considerada como proyectos de verdadero impacto tecnológico para el sector. En efecto, nuestro análisis reveló que la mayoría de los proyectos deben considerarse como investigaciones científicas cuyo resultado final fue una publicación (artículos y libros). De igual manera nuestro estudio reveló que la mayor parte del desarrollo de conocimiento a través del financiamiento que otorga este fondo corresponde a universidades y centros públicos de investigación y que la participación de empresas al programa fue extremadamente baja durante el periodo analizado (Villavicencio *et al.* 2011).

⁵ Véase el informe final de dicha evaluación en Villavicencio (2011).

Lo anterior tiene que ver con dos circunstancias que se conjugan de manera negativa para el aprovechamiento del conocimiento en biotecnología para beneficio de la producción de alimentos. Por un lado, no existen incentivos reales para que la comunidad científica nacional que realiza investigación aplicada transfiera sus conocimientos al sector productivo, dado que predomina el criterio de publicación científica para el desarrollo de las carreras académicas. Por otro lado y como se verá en el siguiente apartado, el número de empresas en el país consideradas como usuarias y productoras de biotecnología en alimentos y agricultura es muy reducido, de manera que la demanda de conocimientos científicos y tecnológicos por parte del sector productivo de alimentos hacia la comunidad científica es muy restringida.⁶

En el estado actual de las cosas, el desarrollo de capacidades científicas es mayor como resultado de una estructura de incentivos que comprende becas de posgrado y el programa de apoyo a los investigadores a través del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Muestra de lo anterior es que hasta 2002 se contaba con un total de 852 investigadores en biotecnología y ciencias agropecuarias, y para 2013 las cifras reportan 2 317 investigadores adscritos al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en esas áreas.⁷ Sin duda, esto nos habla de un sistema de incentivos para el desarrollo de capacidades científicas, en estas y en otras áreas del conocimiento.

Aunado al número de investigadores, y de acuerdo con los datos del Conacyt, hoy podemos identificar 170⁸ programas de posgrado adscritos al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) en el país con líneas generales de conocimiento relacionadas con la biotecnología. Los números dan cuenta de la infraestructura disponible y los esfuerzos institucionales de las universidades y centros de investigación por formar recursos humanos de alta especialización en el campo de la biotecnología.

⁶ En un estudio sobre esquemas de innovación tecnológica de agroempresarios de guayaba en Michoacán, Zarazúa *et al.* (2009) muestran que las prácticas de innovación, cuando las hay, se refieren a mejoras en las técnicas de riego, fertilizantes, empaque y comercialización, pero no se retoma la incorporación de insumos cognitivos de la biotecnología como variable de innovación.

⁷ Además del SNI, existen otros sistemas de incentivos como las becas del programa para el mejoramiento del profesorado (Promep) y varias universidades tienen mecanismos internos de promoción y premiación con base en la productividad científica, que se suman al SNI.

⁸ La cifra proviene de una búsqueda realizada a través del Sistema de Consulta PNPC en línea en: <http://svrtmp.main.conacyt.mx/ConsultasPNPC/listar_padron_lgac.php> [Consultado el 18 de abril de 2014].

Leyes y reglamentaciones

México cuenta con la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), la cual busca regular las actividades de utilización confinada, liberación experimental, liberación en programa piloto, liberación comercial, comercialización, importación y exportación de organismos genéticamente modificados, con el fin de prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que estas actividades pudieran ocasionar a la salud humana o al medio ambiente y a la diversidad biológica o a la sanidad animal, vegetal y acuícola.⁹

La ley representa un avance significativo en diversos aspectos, por ejemplo la evaluación de inocuidad que se realiza junto con la Secretaría de Salud para concluir si un nuevo alimento es igualmente seguro y nutritivo que el producto homólogo convencional con el que se le ha comparado. Aunado a la LBOGM se han creado otras regulaciones significativas como lo es la Ley Federal de Variedades Vegetales en la cual se establecen las bases para la protección, comercialización y fomento de la innovación en semillas y material vegetativo. Después de revisar lo que estipula la ley, concluimos que existen incentivos para generar condiciones de mercado dado que se reconocen una serie de derechos para los obtentores de variedades vegetales que, aunque no cuentan con los mismos beneficios que la patente, se establece un periodo de explotación por dieciocho años. Esto sin duda es importante porque establece incentivos relacionados con los derechos de propiedad, tema de mucha controversia en la biotecnología, pues al ser organismos vivos sobre los que se realizan modificaciones surge el dilema de quiénes pueden hacer uso y explotar los recursos biotecnológicos que se generan.¹⁰

A partir de una serie de controversias, generadas por distintos motivos, se forma, a finales de los años ochenta, el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA) como cuerpo asesor de la Secretaría de Agricultura (Antal, 2008). Asimismo, en 1994 se crea la Ley de Sanidad Vegetal en la que se estableció por primera vez la definición de “material transgénico” y su relación con los insumos fitosanitarios en el país.

También en 1999 se formó la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem), encargada de establecer

⁹ Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Texto Vigente Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de marzo de 2005.

¹⁰ El esquema regulatorio se complementa con la Ley de Sanidad Vegetal y la Ley de Propiedad Industrial, no descritas aquí dado que no son específicas en cuanto al uso o generación de la biotecnología, pero que de manera indirecta afecta a su desarrollo.

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 los OGM sus productos y subproductos.

Además de los organismos mencionados, existen otros relacionados directa o indirectamente con la regulación de la biotecnología en México. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), la Comisión Federal para la protección contra riesgos sanitarios (Cofepris) y la Comisión Nacional de Bioética (CNB).

Tanto la Cibigem como la CNB mantienen una relación directa con el quehacer de la biotecnología, en especial con la producción agrícola y alimentaria. Pero, a pesar de que realizan diversas e importantes actividades de regulación sobre el tema, nuestro estudio reveló que poco inciden en la investigación que se realiza y, sobre todo, en las actividades tecnológicas de las empresas. En ocasiones, investigadores y empresarios desconocen la existencia de dichas organizaciones y del marco normativo que se ha venido construyendo en torno a la exploración y aprovechamiento productivo de la biotecnología y en nuestra opinión poco han incidido en el diseño e implementación de políticas.

Cabe agregar que México participa en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la diversidad Biológica,¹¹ en donde se establece una serie de medidas regulatorias acerca de la manipulación, transporte, envasado, información de OGM, además del control y manejo de riesgos asociados al uso de la biotecnología; pero aún no se han establecido los mecanismos para hacerlo cumplir.¹² México también ha suscrito su participación a la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC, por sus siglas en inglés), a la Organización Norteamericana de Protección de Plantas (NAPPO, por sus siglas en inglés), a la Organización Mundial para la Salud Animal (OIE, por sus siglas en inglés) y a la Comisión Codex Alimentarius. Sin embargo, no existe un cumplimiento cabal de los acuerdos allí establecidos, ya que al recabar la evidencia, a través de entrevistas, se observó que pocos agentes y organizaciones conocen este tipo de reglamentación y aun menos la consideran.

¹¹ Véase Secretaría del Convenio de Seguridad Biológica (2000).

¹² El protocolo es el primer acuerdo internacional que rige la transferencia, manejo y uso de organismos vivos modificados por medio de la biotecnología moderna. Los firmantes del protocolo acatan no solo el convenio, sino todas las nuevas disposiciones que allí se plantean, y regula los movimientos transfronterizos de material biotecnológico. Tanto el Convenio como el Protocolo plantean una regulación sobre los organismos biotecnológicos, desde evaluaciones, daño, causas, efectos, responsabilidades y que deben cumplir los países signatarios.

Dinámica del sector en México

Una de las interrogantes de nuestra investigación hace referencia al análisis de las condiciones que incentivan la explotación productiva de la biotecnología, es decir, su aprovechamiento por los agentes del mercado para incorporar insumos de conocimiento que mejoren el rendimiento de la agricultura, la calidad de los productos o un mejor uso de los recursos naturales para la producción de alimentos en general. En ese sentido, nos abocamos a identificar los mecanismos emanados de la política y las regulaciones existentes en materia de aprovechamiento del conocimiento derivado de la biotecnología. En este apartado proponemos identificar los agentes susceptibles de aprovechar dicho conocimiento y establecer estrategias y trayectorias de innovación.

La capacidad científica relacionada con la biotecnología agrícola y alimentaria en el país es amplia y diversa. La exploración hecha en este trabajo muestra que existe un grupo importante de centros de investigación especializados en el tema, entre los que encontramos diversas instituciones universitarias y de investigación que cuentan con recursos humanos e infraestructura vinculados a la biotecnología. No existe un censo o inventario de las instituciones, laboratorios universitarios o centros de investigación con vocación a las actividades de docencia e investigación en biotecnología, no obstante una exploración a través de fuentes de Internet, Conacyt y la SEP nos permitió identificar 37 entidades institucionales que van desde centros de investigación como el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste S. C. (Cibnor), varias dependencias del Instituto Politécnico Nacional, del Cinvestav, hasta áreas departamentales de algunas universidades. En el cuadro 1 se presenta una lista de las que encontramos, que no es exhaustiva, ya que existen universidades que cuentan con laboratorios o áreas destinadas al tema que es difícil identificar.

Ahora bien, aunque existen importantes capacidades científicas y una masa crítica de capital humano en el sector de biotecnología, ello no garantiza que haya transferencia del conocimiento científico producido en las instituciones de educación e investigación hacia los agentes del sector productivo. Las entrevistas que realizamos a empresarios, investigadores, encargados de transferencia tecnológica de universidades y el análisis de la información documental sobre temas de vinculación universidad-empresa, revelaron que existe poca colaboración entre las universidades o centros de investigación y las empresas, debido a trabas burocráticas y culturales que han impedido establecer relaciones para co-innovaciones entre dichos agentes.

Cuadro 1. Infraestructura pública en biotecnología

Universidades y laboratorios universitarios, centros públicos y otras instancias	
Instituto de Biotecnología (UNAM)	Centro de Ciencias de Sinaloa (CCS)
Centro de Ciencias Genómicas (UNAM)	Universidad Tecnológica de Torreón (UTT)
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad ciudad de México	Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (NL)
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Querétaro	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 Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidades Durango, Michoacán y Oaxaca (Cidir), IPN	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias INIFAP
Centro de Investigación en Biotecnología (UAEM)	Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (UdeG)
Instituto de Investigación en Biología Experimental Universidad de Guanajuato	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnología Avanzadas (UPII-TA) IPN	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (Ciatej), CONACYT
Instituto Tecnológico de Celaya	Centro de Capacitación Sanitaria (Cecasa)
Centro de Incubación de Empresas y Transferencia Tecnológica (UANL)	Centro de Investigación Científica de Yucatán, S. C. (CICY), Conacyt
Centro de Biotecnología (ITESM)	Universidad Iberoamericana (UIA)
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) y Facultad de Química (FQ), UNAM	Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (Ceprobi), IPN
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa y Xochimilco	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)	Universidad Tecnológica de Tabasco (Uttab)

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

De manera paralela, el principal incentivo con que cuenta la comunidad científica nacional para su desarrollo hace referencia a su incorporación y permanencia en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), el cual utiliza como principal criterio de evaluación la publicación de artículos científicos en revistas indexadas de circulación internacional. Y aunque en el reglamento del (SNI), el desarrollo de patentes es un aspecto contemplado en los mecanismos de promoción, no así el desarrollo de tecnología de manera conjunta con empresas.

Uno de los factores cruciales en el desarrollo de la biotecnología agrícola y alimentaria tiene que ver con la estructura de la producción del sector agrícola mexicano, donde existen un gran número de pequeños productores con una relativamente baja capacidad de producción, ya que cuentan con pocas hectáreas y, en ocasiones, de mala calidad. Se sabe que, por lo general, los pequeños agricultores destinan su producción al autoconsumo por lo que no generan ganancias por venta en el mercado. De tal suerte, la inversión en tecnología, infraestructura, fertilizantes y/o semilla mejorada no representan una necesidad y mucho menos una práctica recurrente entre el universo de pequeños agricultores del país. En contraste, hay zonas agrícolas que se han ido convirtiendo en monoproductoras de frutas y hortalizas (aguacate, brócoli, papaya, cítricos, etc.) destinadas al mercado de las principales ciudades del país y al mercado de Estados Unidos, pero cuyo valor agregado es reducido pues el proceso productivo consiste en la siembra, la colecta y el empaclado.

Por otro lado, existen unas quince grandes empresas transnacionales de producción agrícola o de alimentos que demandan tecnología, pero, generalmente, cubren esa demanda con sus propios centros de investigación que en ocasiones no se encuentran en el país. Por el lado de las empresas productoras y usuarias del conocimiento en biotecnología como insumo para la producción, hemos identificado que en el país existen menos de cien empresas que producen, utilizan y venden insumos biotecnológicos y la mayoría son pequeñas y medianas empresas. Asimismo, identificamos una trecientas empresas que de una u otra forma son usuarias de insumos biotecnológicos, ya sea producidos en el país o importados (Amaro, 2013).¹³ Sin embargo, estas no demandan servicios o procesos colaborativos con las IES o CPI nacionales.

Existen empresas multinacionales que aplican insumos biotecnológicos para el procesamiento de alimentos en el país como son el Grupo Modelo, Coca Cola, Pepsico, Sabritas, Gamesa, Bimbo, Danone y Nestlé, así como otras grandes

¹³ No es posible conocer el universo real de empresas que desarrollan productos con biotecnología o aprovechan técnicas e insumos derivados de la misma en la industria agroalimentaria nacional, ya que no existen estadísticas sectoriales al respecto.

empresas nacionales entre las que destaca Lala, Bachoco, Maseca y Cigatam, pero no pudimos identificar la existencia de relaciones colaborativas con las IES o CPI. Asimismo, localizamos empresas de menor tamaño y de capital nacional que desarrollan técnicas y/o aprovechan la biotecnología en la producción de alimentos como por ejemplo Agrobionsa, La Moderna, Invernamex, IASA, Ingenio La Gloria, Biodeparc entre otras, las cuales son muy activas en los procesos de colaboración y uso de ciencia y tecnología desarrollada en el país, pero aún son pocas, en comparación con las ya mencionadas.

Trejo (2010) reporta 303 empresas de biotecnología de las cuales 66 se enfocan a la agroindustria, 36 a los alimentos, 16 del área ambiental, 23 de fermentaciones, 18 pecuarias, 118 farmacéuticas y 26 de servicios. Sin embargo, no podemos distinguir entre aquellas empresas que solo hacen uso de alguna técnica biotecnológica y aquellas que desarrollan procesos de I+D en biotecnología, ya sea para la producción de alimentos o para la elaboración de insumos destinados a otras empresas procesadoras de alimentos. Por nuestra parte y, de acuerdo con la exploración propia realizada, inferimos que son alrededor de 70 empresas (incluyendo las subsidiarias de transnacionales) las que desarrollan I+D propia o bien que mantienen relaciones de vinculación con universidades o centros públicos de investigación. La mayoría de estas empresas son micro y pequeñas empresas que desarrollan mejoras en algunos cultivos o bien en fertilizantes.

Según información de la Secretaría de Economía, las empresas biotecnológicas en México se distribuyen de la siguiente manera: biotecnología farmacéutica 36%, agrobiotecnología 21%, biotecnología alimentaria 14%, fermentaciones y productos biológicos 8%, pecuaria 6% y ambiental 5% (SE, 2010). De las anteriores, el 45% se considera que son parcialmente basadas en biotecnología, 37% relacionadas con ella y solo 18% de empresas utilizan de manera integral la biotecnología para sus procesos productivos. La mayoría de las empresas del área agrobio y alimentaria son pequeñas y medianas, y su capacidad de inversión en I+D no puede compararse con lo que realizan las empresas multinacionales como Monsanto o Nestlé.

De acuerdo con nuestras entrevistas en varios centros públicos de investigación en biotecnología, las principales empresas exportadoras de frutas y hortalizas del país suelen recurrir a dichos centros para pruebas químicas, para certificaciones y otros servicios tecnológicos, pero muy pocas veces adquieren insumos derivados de la investigación aplicada que ocurre en dichos centros, para mejorar la producción agrícola o el tratamiento de alimentos. Por ejemplo en el caso de Cinvestav de Irapuato, que es uno de los principales centros de investigación en biotecnología de alimentos del país y, de acuerdo con los informes de la uni-

dad de vinculación de dicha institución, pudimos detectar solamente 14 proyectos vinculados con empresa de 1998 a 2005 (Amaro, 2013).

A partir de la consulta de las fuentes estadísticas y documentos identificamos la existencia de pocos agentes productivos en México susceptibles de adquirir y asimilar conocimiento resultado de las investigaciones de las instituciones de educación o laboratorios. Es decir, que la capacidad de investigación científica y tecnológica disponible en el país, a través de las instituciones enlistadas en el cuadro 1, es proporcionalmente mucho mayor al número de empresas susceptibles de asimilar y aprovechar el conocimiento disponible.

Conclusiones

En nuestra investigación nos dimos a la tarea de identificar las políticas públicas de ciencia y tecnología, las reglamentaciones y legislaciones vigentes que generan incentivos para el desarrollo de la biotecnología agrícola y alimentaria en México. La pregunta que ha guiado este artículo consiste en saber en qué medida los mecanismos implementados en México fungen como incentivos para la innovación en la producción y transformación de alimentos aprovechando el conocimiento científico y tecnológico que ofrece la biotecnología. Empero, la respuesta que podemos apuntar es aún imprecisa, pues aunque existen conatos por establecer un marco legal acompañado de políticas públicas, no encontramos direccionalidad, estrategias u objetivos claramente establecidos; lo que a nuestro juicio ha llevado a la generación de incentivos distorsionados o discordantes.

Las políticas de ciencia y tecnología a nivel federal han puesto especial interés en la formación de recursos humanos especializados a través de distintos instrumentos como los programas de becas o el sistema nacional de investigadores. Esto ha significado un crecimiento de la masa crítica de científicos y profesionales, pero no existen los incentivos adecuados para que esos recursos humanos realicen investigación aplicada y desarrollo tecnológico con impacto en la producción de alimentos, mucho menos innovación. Es decir, que la política pública ha puesto demasiado énfasis en el desarrollo de capacidades científicas que si bien son una condición para los procesos de innovación, no son suficientes en tanto que encontramos desincentivos para la aplicación de conocimientos susceptibles de solucionar problemas productivos o socioeconómicos como la producción de alimentos de mayor calidad, mejorar el rendimiento de la agricultura o el contenido nutritivo de nuestra alimentación.



Encontramos esfuerzos esporádicos por parte de algunos científicos para transferir su conocimiento al sector productivo, sobre todos de centros públicos de investigación como el INIFAP, CIAD y CICY, así como esfuerzos de I+D por parte de unas cuantas Pymes ubicadas principalmente en la zona centro-oeste del país. De tal suerte, la posibilidad de generar innovaciones en biotecnología agrícola-alimentaria con impacto a nivel nacional resulta ser restringida.

Si bien existen programas de fomento al desarrollo tecnológico y la innovación donde una parte de los recursos representa un subsidio gubernamental, y aunque los proyectos apoyados por ese programa para el área agrícola y de alimentos han ido en aumento, consideramos que el desarrollo de capacidades tecnológicas y de innovación por parte de las empresas aún es insuficiente. Es mayor la masa crítica de científicos en biotecnología que el número de empresas que pudiesen aprovechar al menos parte del conocimiento que se desarrolla en las instituciones universitarias y de investigación.

Por otro lado, las formas de organización productiva que existen en el país condicionan la existencia y emergencia de empresas capaces de aprovechar los insumos de conocimientos científicos y tecnológicos que producen las instituciones inventariadas por nuestra investigación. Los ejidos y cooperativas agrícolas carecen de capacidad financiera y organizativa para invertir en la adquisición de maquinaria agrícola y sobre todo de insumos biotecnológicos y en contraste, las empresas empacadoras y agroindustriales venden en su mayoría productos de bajo valor agregado en mercados regionales, locales y a cadenas de supermercados de distribución nacional. Las pequeñas empresas agroindustriales y los pequeños productores agrícolas privados, carecen asimismo de recursos para adquirir tecnología y conocimiento proveniente de las universidades del país. Son muy pocas las empresas que poseen su propia infraestructura de I+D para desarrollar tecnología y con ello incrementar la calidad de los productos.

Tomando en cuenta la estructura del mercado nacional, consideramos que hoy por hoy las empresas del sector agro-alimentario no tienen la necesidad de desarrollar innovaciones, en tanto que pueden mantenerse con su cuota de mercado nacional como lo han venido haciendo hasta la fecha. Junto a lo anterior, consideramos que a pesar de la existencia de reglamentaciones y leyes referentes al tema de la producción y uso de biotecnología, por sí mismo controversial, estas no constituyen un elemento crucial que modifique la conducta de los agentes. Esto quiere decir que son reglas y leyes en desuso que no se han adaptado ni internalizado en la sociedad.

Adicionalmente, no existen programas de fomento económico, productivo y/o tecnológico de carácter sectorial en el país, con excepción del Prosoft volca-



do al desarrollo del *software*. La ausencia de programas sectoriales de fomento, y en particular para la agricultura, la agroindustria y la producción de alimentos, no contribuye a modificar las condiciones de productividad, competitividad y mejora en las condiciones generales del sector. El caso de México muestra la necesidad de generar incentivos a la innovación, congruentes con una estrategia global considerando las condiciones, diferencias y particularidades de los actores productivos. Lo anterior debe ir acompañado de mecanismos que ayuden a la conformación de un mercado más competitivo, sobre todo con la atracción de inversiones que agreguen valor a la actividad agrícola y alimentaria mediante la explotación del conocimiento en biotecnología.

Bibliografía

- Adeoti, J. y A. Adetola (2005) "Biotechnology R&D partnership for industrial innovation in Nigeria" *Technovation*. Núm. 25, pp. 344-365,
- Antal, E. (2008) "Interacción entre política, ciencia y sociedad en biotecnología. La regulación de los organismos genéticamente modificados en Canadá y México" *Revista Norteamérica CISANUNAM*. Vol. 3, núm. 1, pp. 11-63
- Amaro, M. (2013) *Incentivos para la innovación en biotecnología agroindustrial-alimentaria en México*. Tesis de doctorado en Ciencias Sociales, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Amaro, M., A. Morales y D. Villavicencio (2010) "Regulación y perspectiva de la biotecnología en México" Ponencia en el *V Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la competitividad* Guanajuato México. Disponible en <<http://octi.guanajuato.gob.mx/sinnco/>>
- Bijker, W., T. Hughes y T. Pinch (1987) *The social construction of technological systems*. Cambridge Mass., New Directions in Sociology and History of Technology. The MIT Press.
- Casper, S. y F. Van Waarden (2005) *Innovation and institutions*. Reino Unido, Edward Elgar 307 p.
- Castañón, R. Solleiro J. L. y M. C. Del Valle (2003) "Estructura y perspectivas de la industria de alimentos en México" *Comercio exterior*. México, vol. 53, núm. 2, pp. 114-127
- CEPAL (2009) "Los paradigmas tecnoeconómicos TIC y biotecnología" *La transformación productiva 20 años después. Viejos problemas, nuevas oportunidades*. Chile, pp. 149-169
- Conacyt (2001) *Programa especial de ciencia, tecnología e innovación 2001-2006*. México, Poder Ejecutivo Federal.

- (2007) *Programa especial de ciencia y tecnología 2007-2012*. Tomo II, México, Poder Ejecutivo Federal.
- Dohse, D. (2000) “Technology policy and the regions, the case of the bio-region contest” *Research Policy*. Vol. 29, pp. 1111-1133
- Edquist, Ch. (1997) *Systems of innovation: technologies, institutions and organizations*. London, Pinter Publishers.
- (2002) “Innovation policy, a systemic approach” en D. Archibugi y B. Lundvall (eds), *The globalizing learning economy*. Oxford University Press, pp. 219-228
- 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, pp. 1052-1068,
- Hadjimanolis, A. (2003) “The barriers approach to innovation” en T. Shavinina (ed), *The international handbook on innovation*. EUA, Elsevier Science Ltd, pp. 559-573.
- Hsu, Y., J. Shyu, y G. Tseng (2005) “Policy tools on the formation of new biotechnology firms in Taiwan” *Technovation*. Núm. 25, pp. 281-292,
- Larédo. Ph. y Ph. Mustar (2001) *Research and innovation policies in the new global economy*. Massachusetts, Edward Elgar.
- Lynksey, M. (2006) “Transformative technology and institutional transformation: Coevolution of biotechnology venture firms and the institutional framework in Japan” *Research Policy*. Vol. 35, pp. 1389-1422
- North, D. (1981) *Structure and change in economic history*. Nueva York, WW Norton.
- (2006) *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*. México, FCE.
- Mehra, K. (2001) “Indian system of innovation in biotechnology a case study of cardamom” *Technovation*. Núm. 21, pp. 15-23
- México (1996) *Diario Oficial de la Federación*, 11 de julio
- (2005) *Ley de bioseguridad de organismos genéticamente modificados*. México, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Texto Vigente Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de marzo de 2005.
- (1995) “Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico” Foro realizado con sede en el CIMMYT
- Niosi, J. y M. Bas (2005) The evolution and performance of biotechnology regional systems of innovation *Cambridge Journal of Economics*. Núm. 29, pp. 343-357
- OCDE (2005) *The Bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda*. En: <<http://www.biomatnet.org/publications/1630be.pdf>> [Consultado el 12 de mayo de 2010]
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2000) *Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología del convenio sobre la diversidad biológica: texto y anexos*. Montreal, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Secretaría de Economía, Funtec, CIBA (2010) *Situación de la biotecnología en el mundo*. Disponible en: <<http://www.economia.gob.mx>>

- Smits, R. y S. Kuhlmann (2004) "The rise of systemic instruments in innovation policy" *International Journal of Innovation Policy*. Vol 1, núm. 1/2, pp. 4-32
- Taddei, C. y M. Preciado (2008) "Comportamiento estratégico en la industria alimentaria de plantas del noroeste de México" *Economía Mexicana*. Nueva época. Vol. XVII, núm. 2, México pp. 227-257
- Trejo, S. (2010) *La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la bitoecnología en el México y su factibilidad de desarrollo*. CIBA-Tlaxcala, IPN México.
- Van der Valk, T., E. Moors y M. Meeus (2009) "Conceptualizing patterns in the dynamics of emerging technologies: The case of biotechnology developments in the Netherlands" *Technovation*. Núm. 29, p. 247-264.
- Villavicencio, D. (2006) *La emergencia de dinámicas institucionales de apoyo a la industria maquiladora en México*. México, M. A. Porrúa/UAM.
- (2009) "Recent changes in science and technology policy in Mexico: innovation incentives" en J. M. Martínez (ed.) *Generation and protection of knowledge: intellectual property, innovation and economic development*. ECLAC, United Nations, Santiago, pp. 263-290.
- (2012) "Incentivos a la innovación en México: entre políticas y dinámicas sectoriales" en H. Carrillo y D. Villavicencio (eds.), *Dilemas de la innovación en México*, México, Colef-Red CCS, pp. 27-72.
- (2011) *Análisis de impacto del Fondo Sectorial de Innovación Tecnológica S. de Economía-Conacyt*. Informe final, México.
- Villavicencio, D., E. Bañuelos y V. Guadarrama (2011) "Transferencia de conocimiento en el sector agropecuario: algunos resultados del Fondo Sectorial Sagarpa-Conacyt" en A. Martínez, A. García y P. López (eds), *Innovación, transferencia tecnológica y políticas*. México, Plaza y Valdez-Concyteg-Conayt, pp. 175-199
- Zarazúa, A. et al. (2009) "Esquemas de innovación tecnológica y su transferencia en las agroempresas frutícolas del estado de Michoacán" *Estudios Sociales*. Vol. XVII, núm. 34, julio-diciembre, México, pp. 37-72.