



Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana

Production of scientific knowledge and patterns of collaboration in the Mexican biotechnology

Recibido: 26 de agosto de 2013; aceptado: 25 de octubre de 2013

Marcela Amaro Rosales^{1*} y Eduardo Robles Belmont^{2}**

*UAM Xochimilco, **UNAM

Resumen

Una de las características de las tecnologías emergentes es la convergencia de múltiples tipos de conocimientos, los cuales se combinan para responder a diversos fenómenos. La convergencia implica la colaboración entre distintas disciplinas y una forma diferente de producir conocimiento. La biotecnología es una tecnología emergente, la cual requiere de la colaboración en varios niveles: entre disciplinas científicas y entre universidad y empresa. El siguiente trabajo analiza los patrones colaborativos en la biotecnología mexicana a través de técnicas bibliométricas basadas en la consulta de la *Science Citation Index*, y mediante entrevistas con agentes clave.

Palabras clave: Biotecnología, colaboraciones científicas, redes, producción de conocimiento.

Abstract

One of the features of emerging technologies is the convergence of different types of knowledge, which are combined to meet various phenomena. The convergence involves collaboration between distinct disciplines and a different way of producing knowledge. Biotechnology is an emerging technology, which requires collaboration at various levels: between scientific disciplines and between academia and industry. This paper analyzes the collaborative patterns in Mexican biotechnology through bibliometric techniques based on consultation of the Science Citation Index, and through interviews with key agents.

Keywords: Biotechnology, scientific collaborations, networks, knowledge production

INTRODUCCIÓN

La biotecnología es considerada como uno de los elementos científico-tecnológicos más importantes para el desarrollo actual de los países, sectores y regiones. Organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) o la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) han argumentado a favor de la misma como un posible elemento dinamizador de las economías en el futuro (OECD, 2005; CEPAL, 2009). Lo anterior ha implicado un interés especial por las formas en las que se produce el conocimiento y la dinámica de las redes de colabora-

ción, dado que es una tecnología que depende de altos niveles de colaboración entre muy diversos actores y organizaciones.

En México, el campo de la biotecnología tiene un importante desarrollo científico, y como sector ha sido considerado como un factor clave de crecimiento, sin embargo no existe hasta ahora una estrategia integral que le promueva. Pero sin duda la cantidad y calidad de la investigación en biotecnología en el país son dos de los factores que obligan a su análisis, sobre todo a partir de distintos estudios sobre el desarrollo desigual

1 Doctora en Ciencias Sociales especialidad en Economía y Gestión de la Innovación, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco. Consultora en BSTI Consulting Group S.C. Líneas de investigación: políticas públicas, incentivos y colaboración en sectores emergentes e indicadores de ciencia, tecnología e innovación. Correo electrónico: marxelas@gmail.com.

2 Doctor en Sociología Industrial en la Universidad de Grenoble (Francia). Investigador Asociado C, Laboratorio de Redes, Departamento de Modelación Matemática de Sistemas Sociales, del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM. Líneas de investigación: instalación y desarrollo de ciencias y tecnologías emergentes, métodos cuantitativos y cualitativos para el monitoreo y vigilancia del desarrollo científico y tecnológico, fundaciones filantrópicas y organismos no gubernamentales en el desarrollo de nuevas tecnologías. Correo electrónico: roblesbelmont@yahoo.fr.

de capacidades científicas y tecnológicas (Amaro, 2013).

Las preguntas que guían esta investigación buscan identificar quiénes son los principales actores en la investigación biotecnológica (universidades, centros de investigación públicos y privados), y cuáles son las relaciones de colaboración en las diferentes áreas del conocimiento a nivel nacional e internacional. Por otra parte, más allá de tener un panorama de estas colaboraciones, este trabajo aporta elementos para comprender las dinámicas de las colaboraciones científicas y del proceso de convergencia. Lo anterior se aborda de dos maneras, con un estudio cuantitativo sobre las publicaciones científicas en la biotecnología en México y con el uso de herramientas del análisis de redes sociales (ARS) aplicadas a las coautorías y a las principales áreas que convergen en el campo de la biotecnología en México. Además, se realizó una serie de entrevistas con agentes clave de diversas áreas de la biotecnología con la finalidad de problematizar y encontrar los puntos de tensión que surgen en el trabajo colaborativo.

Identificar y caracterizar la dinámica de colaboración para la biotecnología en México nos permite conocer las diferencias existentes entre las distintas áreas de la investigación biotecnológica que se desarrolla en el país, y nos brinda algunas pistas sobre el desarrollo de la tecnología y parte del impacto en la vida económica, aunque dada la amplitud y los diversos factores que se ven involucrados en el tema, no podrá ser estudiado a profundidad en este trabajo.

La metodología utilizada se compone de dos partes; la primera implicó la obtención de referencias bibliométricas en la *Science Citation Index* versión *Web of Science* (WoS) sobre los artículos científicos, para lo cual se conformó una ecuación lexical integrada por palabras clave de la biotecnología. Cabe destacar que dicha ecuación fue validada por un grupo de biotecnólogos, sin embargo esto no elimina la posibilidad de que se hayan omitido algunos términos relevantes para dicha área, y que esto se manifieste en algún sesgo de los resultados, por lo tanto, la ecuación que se presenta aquí es susceptible de mejoras y comentarios para próximas investigaciones.

A continuación se efectuó un análisis estadístico descriptivo, y se hizo un análisis relacional (ARS) a las áreas de conocimiento basados en el sistema de clasificación de la WoS y a las coautorías de los artículos identificados. Finalmente se complementó el análisis con el trabajo de

campo basado en entrevista a actores clave.

Hasta ahora los resultados obtenidos clarifican los grupos, las organizaciones, las áreas y parte de los problemas referentes a la colaboración biotecnológica en México, mostrando un panorama de la dinámica de un área poco estudiada desde este enfoque en el país.

LAS NUEVAS FORMAS DE PRODUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

Existe en el mundo una serie de cambios en la ciencia y la tecnología que ha obligado a reflexionar acerca de la forma en la cual se produce el conocimiento; la pregunta fundamental es si la producción ha cambiado a partir de las interacciones y formas que ha tomado en las últimas décadas. La producción de conocimiento implica tomar en cuenta el entorno, la forma en la que se organiza, los estímulos que se generan y los mecanismos que controlan la calidad de esta producción.

Para describir los cambios que han surgido en torno a la producción del conocimiento, es útil retomar el planteamiento de Michael Gibbons, Camille Limoges, Helga Nowotny, Simon Schwartzman, Peter Scott y Martin Trow (1997) como una primera forma de distinción entre lo que se considera como Modo 1 y Modo 2 de producción de conocimiento. A continuación se describirán de forma breve las características de cada una de estas formas.

El modo 1 es aquel tipo de conocimiento tradicional generado dentro de un contexto disciplinar, fundamentalmente cognitivo. En este modo, la forma de producción de conocimiento hace referencia a un complejo de ideas, métodos, valores y normas que coinciden con la difusión del modelo newtoniano en la definición de prácticas científicas sanas. Este modo sintetiza las normas cognitivas y sociales que deben seguirse en la producción, legitimación y difusión del conocimiento; así se determinan cuáles son los problemas significativos, quién debe resolverlos y qué constituye la “buena ciencia” (Gibbons *et al.*, 1997).

El modo 2 se genera en contextos transdisciplinarios³ sociales y económicos más amplios. Este tipo de cono-

³ La transdisciplinariedad se caracteriza por desarrollar una estructura particular, pero en evolución, que guía los esfuerzos para solucionar problemas. La solución no surge exclusivamente de la aplicación del contexto que ya existe. La solución abarca componentes tanto empíricos, como teóricos. La difusión de los resultados se logra en el mismo proceso de producción de éstos. La transdisciplinariedad es dinámica y tiene capacidad de solucionar problemas en movimiento.

cimiento cuestiona a aquellas instituciones dedicadas normalmente a la producción de conocimiento, desde las universidades, centros de investigación, laboratorios de grandes empresas, etcétera. En este modo, el conocimiento resulta a partir de una gama más amplia de consideraciones; el conocimiento tiene que ser útil para alguien, ya sea en la industria, en el gobierno o en la sociedad y esto se encuentra presente desde el principio. La producción de conocimiento se mantiene bajo un ambiente de negociación continua y no se produce a menos y hasta que se incluyan los intereses de los diversos actores (Gibbons *et al.*, 1997). La composición de los equipos dedicados a solucionar problemas cambian con el tiempo y las exigencias evolucionan. La flexibilidad y el tiempo de respuesta son factores cruciales, lo que provoca que las organizaciones varíen constantemente.

En el modo 2 se reconoce que existe una serie de actores que se relacionan para resolver problemas específicos. La producción del conocimiento científico y tecnológico se trata de obtener no sólo en las universidades, también en los laboratorios de la industria y del gobierno, además en equipos de reflexión, instituciones y asesorías de investigación, entre otros (Gibbons *et al.*, 1997).

Las diferencias fundamentales entre el modo 1 y el modo 2 se enumeran a continuación:

- a) En el modo 1 se plantean y se solucionan los problemas en un contexto gobernado por los intereses, en buena parte académicos o de una comunidad específica; en el modo 2 el conocimiento se desarrolla bajo un contexto de aplicación.
- b) El modo 1 es disciplinar, el modo 2 es transdisciplinar.
- c) El modo 1 se caracteriza por la homogeneidad, el modo 2 por la heterogeneidad.
- d) El modo 1 es jerárquico en su forma organizativa y tiende a preservar su estructura, el modo 2 es heterárquico y transitorio.

El modo 1 no ha sido relevado por el modo 2, ambos subsisten en distintos ámbitos, aunque al parecer la tendencia marca la balanza a favor del modo 2. De manera que en un contexto que enfrenta insuficiencias o inconvenientes, se establece la necesidad de solucionar problemas en conjunto, y la transdisciplinariedad juega un rol preponderante. El mantenimiento de los modos establecidos de producción de conocimiento se va debilitando en la medida que los imperativos de un contexto

problemático exigen cooperación o trabajo conjunto con otros actores y a distintos niveles, local, nacional o global (Gibbons *et al.*, 1997).

A partir de esta diferencia en torno a la producción del conocimiento, nos es útil reflexionar acerca de ciertas áreas científicas, sobre todo aquellas que por su propia naturaleza obliga a la convergencia de muy diversos actores, disciplinas y métodos.

El desarrollo de la ciencia ha implicado la exploración de nuevos caminos y éstos se han vuelto más complejos de lo que parecían ser; el mundo natural se caracteriza por ser una entidad compleja, de manera que ha sido necesario integrar grupos de trabajo que incluyan distintos especialistas capaces de dar explicaciones coherentes sobre ciertos fenómenos.

Campos como la ingeniería genética, la biotecnología, la inteligencia artificial o la microelectrónica, entre otras, han incorporado distintos perfiles de investigación a sus programas de trabajo. Parecería que los investigadores tienen como prioridad entender las estructuras ordenadas y específicas que existen en el mundo, más que los principios básicos (Gibbons *et al.*, 1997). A este proceso de comunicación y colaboración entre distintas disciplinas también se le ha identificado como “proceso de convergencia”.

BIOTECNOLOGÍA

La biotecnología moderna es una actividad transdisciplinaria sustentada en el conocimiento de frontera que se desprende de distintas disciplinas, entre ellas: la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la genómica y la inmunología (OECD, 1989). Es una tecnología transversal que tiene aplicación en muy distintos sectores y se clasifica de acuerdo a su aplicación.

Generalmente se consideran tres o cuatro generaciones biotecnológicas (Trejo, 2010); en este trabajo nos concentramos en la última generación o ingeniería genética, que se refiere al manejo de genes o la aplicación de la tecnología del ADN recombinante. Es utilizada con microorganismos, en los métodos de propagación vegetativa de plantas y en la clonación de células microbianas, vegetales y animales. Esta generación incluye a las tecnologías derivadas de la biología molecular, altamente tecnificadas y dirigidas al análisis genético, proteínico y de vías metabólicas de

múltiples organismos y comunidades biológicas, o sea, la genómica, la proteómica y la metabolómica (Trejo, 2010).

La biotecnología puede clasificarse de acuerdo al área de aplicación con la que se relacione. Existen tres tipos de biotecnología (Trejo, 2010):

- a) Roja: relacionada con la biomedicina, la actividad médica y con el estudio y aplicación de biotecnología a la salud humana y animal.
- b) Verde: relacionada con las aplicaciones a la producción agrícola.
- c) Blanca: relacionada con las aplicaciones industriales (producción de microorganismos, fermentaciones, especialidades químicas y biotransformaciones).

Es importante conocer en términos generales a qué nos referimos cuando hablamos de “biotecnología”, sobre todo para poder clarificar la dinámica de producción del conocimiento en esta área, dado que las propias características de la tecnología determinan en gran medida el comportamiento de los actores, los patrones colaborativos y los resultados.

LA IMPORTANCIA DE LA COLABORACIÓN

La llamada “sociedad del conocimiento” forma parte de un proceso en torno al cual las ventajas de un país o de una región o sector se logran mediante el desarrollo de actividades relacionadas con la generación de conocimientos, que puedan transformarse en procesos de innovación traducidos en la mejora de procesos o en nuevos productos. El conocimiento ha sido el eje del crecimiento económico y del aumento paulatino del bienestar social (David y Foray, 2002), reflejado en la habilidad de innovar y de transformarse continua y aceleradamente; el ritmo de esto es cada vez más veloz, además de adquirir facetas más complejas que exigen formas de organización específicas para producir y transmitir el conocimiento por distintas vías.

En el proceso de producción y transmisión de nuevos conocimiento, la colaboración ocupa un lugar importante y es definida aquí como *una serie acciones conjuntas que involucra a dos o más agentes u organizaciones para lograr una meta o fin común*. En este caso se ven reflejados a través de las publicaciones y en particular se hace referencia a las colaboraciones de instituciones

de educación, centros o laboratorios públicos con otros similares en el extranjero y las redes de colaboración nacionales. Además, este análisis debe ser complementado con otros indicadores sobre las áreas de conocimiento en las cuales converge la biotecnología, las principales revistas científicas donde se publican las investigaciones biotecnológicas efectuadas en México. Finalmente, esta investigación nos permite obtener un panorama amplio de las dinámicas de la producción de nuevos conocimientos en el país.

Vale la pena recordar que es sumamente importante analizar los patrones colaborativos en la biotecnología por dos motivos fundamentales; la naturaleza convergente de la tecnología obliga a los agentes a tener una intensa relación entre diversas disciplinas, tal y como lo plantea el modo 1 de producción de conocimiento, y al ser una tecnología de frontera es muy relevante situarse en la frontera del conocimiento, lo que implica su validación a través de ser publicadas en revistas indizadas y por lo tanto la propia difusión del conocimiento en el área.

METODOLOGÍA

La obtención de las referencias bibliométricas ha sido a través de la consulta de la base de datos de Redes Académicas del Laboratorio de Redes del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta base de datos está conformada con información obtenida de las bases de datos *Science Citation Index Expanded* (SCI), *Social Science Citation Index* (SSCI), y *Arts & Humanities Citation Index* (A&HCI), de la *Web of Science* (WoS). El periodo de análisis abarca del año 2000 al año 2012 y sólo se han tomado en cuenta los artículos científicos, por ser considerados como conocimiento certificado (Callon, Courtial y Penan, 1993).

En los estudios cuantitativos, un punto importante es obtener un corpus de datos que sea lo más representativo posible del campo que se estudia, en este caso, el de la biotecnología. Para identificar las referencias bibliométricas en este campo hemos construido una ecuación lexical compuesta de palabras clave representativas de este campo. Estas palabras clave han sido consultadas y validadas por expertos en el campo de estudio. La ecuación usada en la consulta de la WoS contiene las palabras

mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Términos empleados para la consulta

Biotech	Biopesticides
Antibodies	Bioproces
Antigens	Biobleaching
Peptide synthesis	Bioleaching
Rational drug	Microbial inoculants
Monoclonal antibodies	Genomic
Gene probes	Recombination DNA
Gene therapy	Genetically modified food
DNA amplification	Genetically modified crop
Bioaugmentation	Transgenic food
Bioremediation	Transgenic crop
Bioreactors	Agricultural biotechnology
Phytoremediation	Biodiesel
Biogas cleaning	Biofuel
Tissue culture	Proteomic
Somatic embryo genesis	

Fuente: Elaboración propia, basado en consulta con expertos.

La consulta arrojó un total de 6 mil 519 referencias, de las cuales se han tomado en cuenta 5 mil 249 documentos que conciernen a artículos científicos publicados. Los datos obtenidos han sido tratados con la ayuda de los programas informáticos Excel y Access, y las gráficas de redes de colaboración fueron creadas con el apoyo del programa de análisis de redes sociales NetDraw.

Además, como ya se mencionó previamente, se utiliza informaciones obtenida a partir de una serie de entrevistas con científicos especialistas en el campo de la biotecnología en México, realizadas entre los años 2009 y 2012, y con empresarios del ramo.

LA DINÁMICA DE LA COLABORACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO

Uno de los principales temas de discusión en los estudios sobre ciencia y tecnología, o bien en el área de las políticas públicas, tiene que ver con el uso y desarrollo de indicadores que den cuenta más allá de los *inputs* y los *outputs*, del proceso a través del cual las áreas científicas y tecnológicas van desarrollando, fortaleciendo

o estableciendo grupos, redes, temas prioritarios, núcleos de investigación, entre otros temas. Hasta ahora no existe consenso acerca de cómo medir o qué medir para conocer el estado de la ciencia o la tecnología, sin embargo, sí existen ciertos indicadores reconocidos, a pesar de que pueden ser controversiales, dado que no consideran todos los elementos posibles, aunque esto es muy difícil de lograr.

En este trabajo retomamos los indicadores científicos comúnmente usados para dar cuenta de los resultados de las actividades científicas, de manera que se presenta el patrón de evolución de las publicaciones científicas del año 2000 al 2012, las principales instituciones que publican en esta área, los países con los cuales México tiene colaboraciones en las publicaciones, y las áreas de conocimiento que convergen en la biotecnología, así, de acuerdo a la clasificación interna de la biotecnología, podemos identificar las áreas con mayor número de publicaciones, lo que podría interpretarse como áreas potenciales de crecimiento o, por lo menos, como áreas susceptibles de ser explotadas debido al conocimiento de frontera que han desarrollado.

A partir de la evidencia obtenida mediante la metodología expuesta previamente, analizamos los indicadores que generalmente son utilizados para dar cuenta de la dinámica colaborativa de las disciplinas. Recuérdese que la biotecnología es un área tecnológica que implica la convergencia de muy diversos campos disciplinarios, lo que en ocasiones complica determinar cuáles son aquellos que lo componen, pero basados en una serie de entrevistas a expertos y mediante su validación es que presentamos los siguientes resultados, aunque dicho análisis siempre está sujeto a mejorar.

Evolución de las publicaciones científicas

Las publicaciones científicas representan el progreso alcanzado mediante el trabajo de investigación desarrollado por los individuos o los grupos. Generalmente son artículos que muestran los resultados de dicho proceso de investigación y es conocimiento certificado debido a que se somete a un proceso de crítica y evaluación de pares iguales (Callon, Courtial y Penan, 1993).

La difusión del conocimiento es uno de los procesos

más relevantes en la actualidad, dado que se traduce en posibles respuestas, nuevas vetas para la investigación, soluciones a problemas científicos, técnicos y tecnológicos y en muchas ocasiones significa también un proceso de identificación de aquellos con los cuales se podría colaborar. Difundir el conocimiento y ampliar la base existente se logra a través de revistas que cuentan con amplio reconocimiento por parte de la propia sociedad científica que le confiere status social de respeto y validación. Así pues, las publicaciones representan la validación del conocimiento desarrollado y reconocido por la sociedad académica, y el número de publicaciones representa la productividad de los grupos o los individuos.

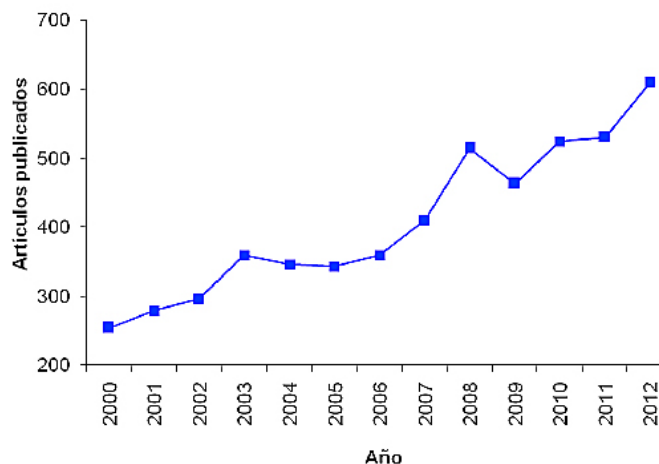
En la gráfica 1 se muestra la evolución de las publicaciones científicas en el área de biotecnología en México, en el periodo 2000 a 2012; en ella, se observa que de 2000 a 2002 hubo un proceso de crecimiento más o menos constante, que se disparó en el año 2003. Sin embargo, en 2004 y 2005 se registra un cambio de tendencia y una disminución en las publicaciones reportadas.

Posteriormente, a partir del 2006 la pendiente de la curva comienza a aumentar hasta el 2008, ya que en el 2009 se presenta otro descenso relevante en la producción de artículos científicos.

Desde nuestra perspectiva y comparado con otras ciencias, podemos decir que es un comportamiento típico de campos científicos en estado emergente, que, aunque pueden mostrar cierta regularidad por algunos años también muestran desajustes debido a la propia construcción científica, dado que son áreas en proceso de consolidación, lo que implica que en ocasiones haya temáticas que concentran la atención de diversos grupos de investigación, del área tecnológica o de otras coincidentes lo que permea en las publicaciones y en los propios grupos de trabajo. Es un fenómeno de atracción que puede desaparecer en periodos cortos, como en este caso de año a año y que una vez que pasa, la tendencia se estabiliza.

Este comportamiento es justo lo que se ve a partir de 2009, ya que la evolución de la curva va de nuevo a la alza hasta 2012, lo que señala un proceso de ajuste de la misma. En términos generales, la producción de conocimiento científico en biotecnología, medido a través de las publicaciones en el periodo de estudio, registra como tendencia un proceso de crecimiento.

Gráfica 1. Publicaciones científicas en el área de la Biotecnología de 2000 al 2012

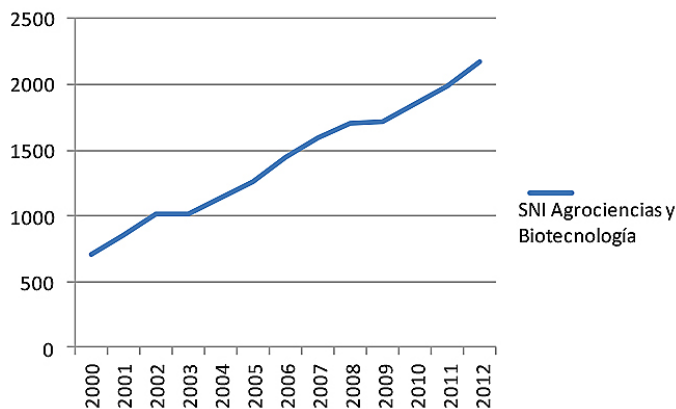


Fuente: elaboración propia con información de la base de datos de Redes Académicas del Laboratorio de Redes del IIMAS, UNAM.

Si además de considerar la evolución de las publicaciones científicas se analiza la tendencia dentro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) perteneciente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), se observa correspondencia, ya que en el periodo analizado se registra una tendencia a la alza en el número de investigadores en el área denominada “Agrociencias y Biotecnología”.

En la gráfica número 2 se puede observar dicho comportamiento; como hipótesis consideramos que el crecimiento sostenido de los investigadores en el SNI ha tenido un impacto positivo en la generación de conocimiento científico, aunque también puede ser a la inversa, dado que para pertenecer al SNI es necesario contar con producción científica de alto valor; por lo tanto, la causalidad no es clara y amerita indagar a profundidad; este tema, sin embargo, será objeto de otra investigación. Pero lo que sí se puede decir, es que tanto el número de investigadores dentro del sistema como la evolución de las publicaciones manifiesta una tendencia al alza, lo que a su vez impacta positivamente en la generación y en el cúmulo de conocimiento biotecnológico en México.

Gráfica 2. Evolución de miembros del SNI en agrociencias y biotecnología de 2000 a 2012



Fuente: elaboración propia con información del Atlas Mexicano de la Ciencia (2013).

Instituciones

En el cuadro 2 se muestran las diez principales instituciones a nivel de publicaciones en Biotecnología de México, en primer lugar se encuentra la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con un total de mil 741 artículos en el periodo analizado y esto no sorprende, debido a que es la universidad mexicana más grande y la que cuenta con más departamentos o laboratorios y recursos para realizar investigación en el área, por ejemplo, el Instituto de Biotecnología, el Instituto de Investigaciones Biomédicas, el Instituto de Biología, las Facultades de Química, Biología, Medicina, el Programa Universitario de Alimentos, entre otros, los cuales desarrollan investigaciones biotecnológicas en muy diversas áreas.

En segundo lugar, la Secretaría de Salud (Ssa), que es un organismo federal y que realiza investigación en áreas médicas de la salud humana, por lo tanto deben concentrarse en biotecnología farmacéutica, regenerativa y médica. A continuación el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (Cinvestav), que cuenta con un amplio reconocimiento de la investigación que realizan en sus distintos campus sobre biotecnología de alimentos, granos y semillas, biotecnología ambiental, bioingeniería, ingeniería genética, bioinsecticidas, análisis biofarmacéutico y análisis de biodiversidad, entre otros más.

Además, en la lista figuran el Instituto Mexicano de Seguridad Social (IMSS) por la investigación que realiza en el área médica; el Instituto Politécnico Nacional que

cuenta con áreas de investigación en sus respectivas escuelas, como la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas y en centros de muy alta calidad como el Centro de Biotecnología Genómica (Cebiogen), el Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada (CIBA-Tlaxcala), el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (Ceprobi) por sólo mencionar algunos.

La Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) destaca por la investigación en biotecnología genómica, en alimentos y en medicina. A continuación se sitúa la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) que también cuenta con un amplio número de investigadores en el área de biotecnología, en áreas de la salud, alimentos, productos pecuarios y animales, además del área de bioquímica de macromoléculas y en microbiología.

La Universidad de Guadalajara (UdG) sobresale por sus áreas en medicina y alimentos. Llama la atención que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) aparezca situado en el penúltimo lugar, a pesar de que sea uno de los principales centros de investigación biotecnológica en el país, aunque probablemente su naturaleza de investigación aplicada haga que sus resultados sean más favorables en otro tipo de indicadores como patentes o vinculaciones, ya que, como se mencionó, es un centro muy importante de investigación tecnológica, pero su enfoque pragmático puede distanciarlo de las publicaciones científicas.

Finalmente se encuentra la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) que cuenta con investigación en ingeniería en alimentos, biotecnología, biología, agroecología, medicina veterinaria y zootecnia.

Cuadro 2. Instituciones destacadas en las publicaciones de biotecnología

Top	Institución	Artículos	% de 5249
1	UNAM	1741	33.17%
2	Ssa	1341	25.55%
3	Cinvestav	625	11.91%
4	IMSS	586	11.16%
5	IPN	531	10.12%
6	UANL	186	3.54%
7	UAM	185	3.52%
8	UdG	161	3.07%
9	INIFAP	156	2.97%
10	UADY	119	2.27%

Fuente: elaboración propia con datos de la base de datos de Redes Académicas del Laboratorio de Redes del IIMAS, UNAM.

Colaboraciones con el extranjero

Como mencionamos previamente, la biotecnología requiere de un proceso constante de colaboración entre diversos actores y diversas áreas científicas. En la actualidad cobran importancia las redes que se establecen con agentes externos, sobre todo por lo que significa difundir el conocimiento en espacios lejanos y encontrar puntos de convergencia con actores que hace algún tiempo era casi imposible contactar.

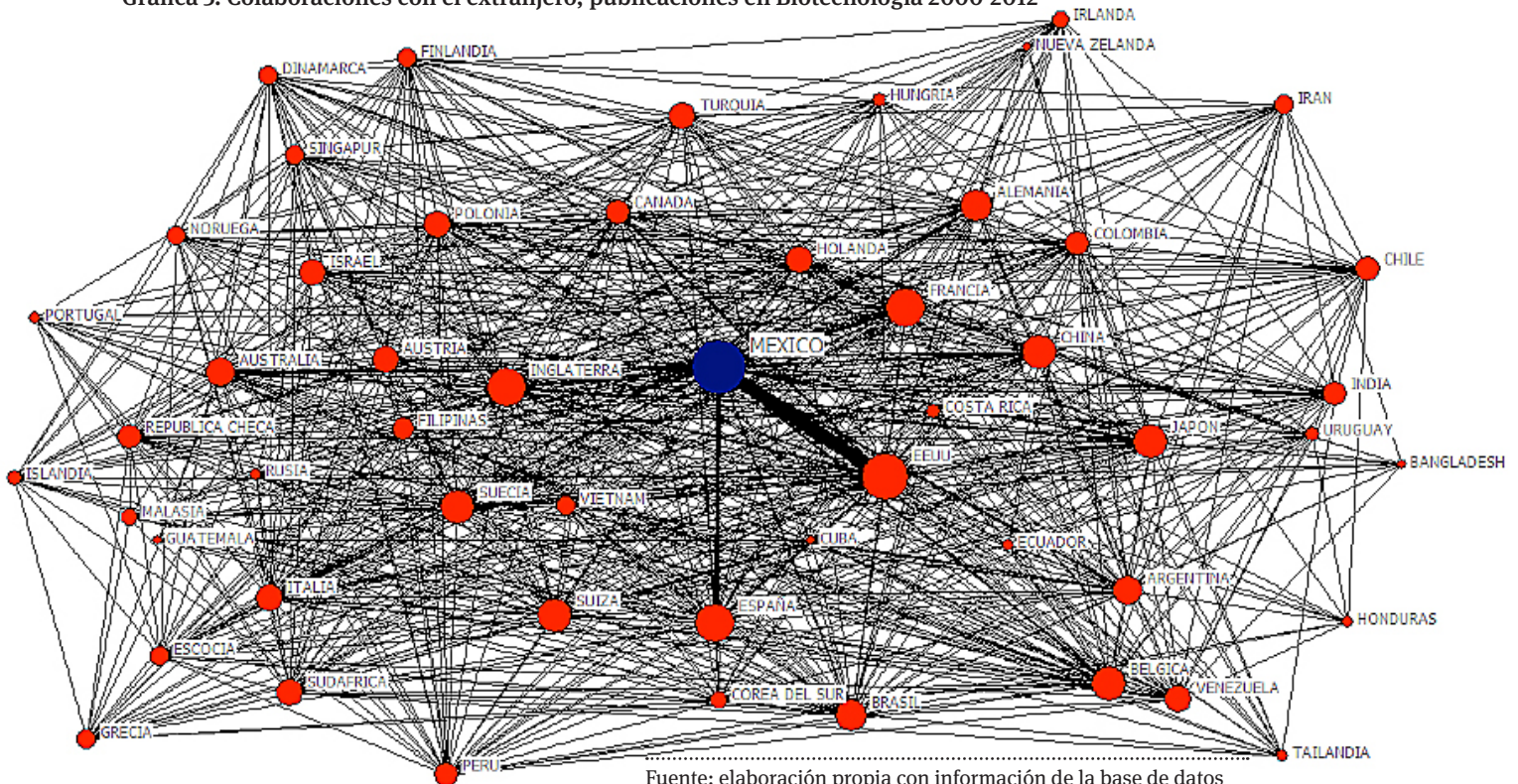
México ha publicado en colaboración con al menos 104 países en el periodo analizado (2000-2012) en biotecnología. La gráfica 3 muestra las redes de colaboración científica a nivel internacional en términos de países en el campo de la biotecnología. Con el fin de obtener una imagen legible únicamente se tomaron en cuenta los países con quienes se publicaron en coautoría al menos cinco artículos, lo que nos arrojó un total de 52 países. Los círculos rojos representan a los países con los que se ha colaborado en este campo, México está representado con el nodo de color azul, el tamaño de los nodos está determinado en función de las relaciones que mantienen con el resto de los países y el grosor de las relaciones de colaboración (líneas que unen los nodos) está determina-

do a partir de la frecuencia de las relaciones (coautorías). En primer lugar se encuentra Estados Unidos con 22.44% del total de las colaboraciones, dato que no sorprende dado que dicho país es uno de los más activos en cuanto a la investigación biotecnológica; en segundo lugar se encuentra España con 5.73%, Francia con 4.42%, Canadá con 3.05%, Alemania, que representa 2.99%, Inglaterra con 2.91% y Brasil con 2.21% de los artículos publicados. Por debajo de 2% hay publicaciones con investigadores de Argentina, Holanda, Italia, Australia y China.

Los datos anteriores constatan a nivel mundial los principales países que desarrollan investigación científica biotecnológica: Estados Unidos, España, Francia, Canadá, Inglaterra y Alemania cuentan con una larga historia en la biotecnología, tanto en el desarrollo científico, como tecnológico e innovador. Es interesante constatar que México mantiene importantes relaciones de colaboración, al ser países núcleo en este proceso, quiere decir que se relaciona con países de la frontera del conocimiento, lo que también habla de la calidad de la investigación que se realiza en México y sobre todo que los temas que se abordan son de interés mundial.

Las colaboraciones con los países latinoamericanos como Brasil y Argentina tampoco sorprenden, dado que

Gráfica 3. Colaboraciones con el extranjero, publicaciones en Biotecnología 2000-2012



Fuente: elaboración propia con información de la base de datos de Redes Académicas del Laboratorio de Redes del IIMAM, UNAM.

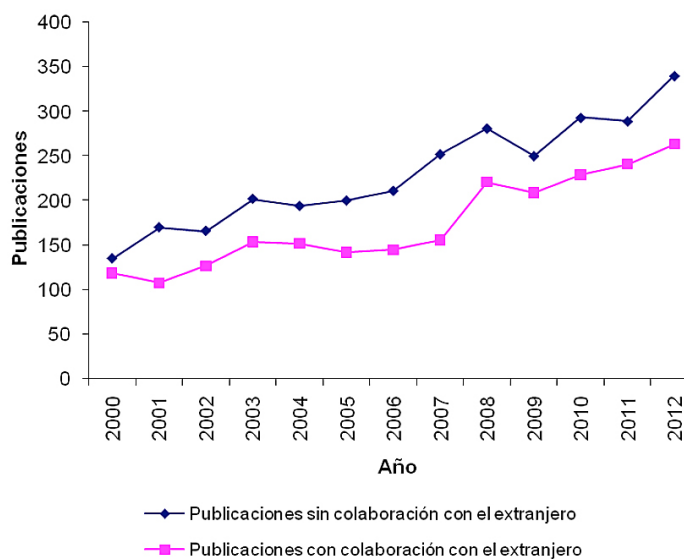
junto con México han sido importantes desarrolladores de capacidades científicas en el continente. Por eso, los tres países se sitúan como los más representativos en cuanto a la generación de conocimiento a nivel latinoamericano.

En síntesis, podemos decir que México mantiene un ritmo importante de colaboración con el extranjero, a pesar de que la dinámica es variada, la concentración con países de alto impacto destaca ampliamente, lo que habla de la relevancia del conocimiento desarrollado por los investigadores nacionales y su posicionamiento a nivel internacional.

Publicaciones sin colaboración con el extranjero

A pesar de la importancia que tienen las colaboraciones con el extranjero, las publicaciones sin este tipo de colaboración y que pueden incluir colaboraciones nacionales o sin colaboración han sido determinantes en la dinámica de publicación. Se han mantenido arriba de las colaboraciones con el extranjero y más o menos han seguido la misma trayectoria de crecimiento de las publicaciones en general. Esto demuestra una importante dinámica interna de publicaciones entre los investigadores, además de un proceso de retroalimentación que ha ido fortaleciendo el desarrollo de conocimiento el área de la biotecnología en el país, el cual puede verse en el gráfico 4.

Gráfica 4. Publicaciones sin colaboración con el extranjero y publicaciones con colaboración con el extranjero



Fuente: elaboración propia con información de la base de datos de redes académicas del Laboratorio de Redes del IIMAS, UNAM.

Áreas del conocimiento que convergen en biotecnología

Al analizar las publicaciones, se localizó un total de 158 áreas del conocimiento de la categoría de la WoS. En el cuadro número 3 mostramos un listado con áreas destacadas, lo que nos da una idea de cuales tienen mayor producción de conocimiento medido a través de las publicaciones indizadas.

Cuadro 3. Áreas destacadas de publicación en biotecnología

Top 20	Área del conocimiento	Artículos	% de 5249
1	Immunology	597	11.37%
2	Biochemistry & Molecular Biology	525	10.00%
3	Biotechnology & Applied Microbiology	518	9.87%
4	Microbiology	443	8.44%
5	Plant Sciences	321	6.12%
6	Parasitology	308	5.87%
7	Genetics & Heredity	282	5.37%
8	Veterinary Sciences	267	5.09%
9	Infectious Diseases	260	4.95%
10	Medicine, Research & Experimental	257	4.90%
11	Cell Biology	242	4.61%
12	Oncology	177	3.37%
13	Medicine, General & Internal	170	3.24%
14	Public, Environmental & Occupational Health	168	3.20%
15	Virology	140	2.67%
16	Rheumatology	140	2.67%
17	Pharmacology & Pharmacy	139	2.65%
18	Neurosciences	137	2.61%
19	Environmental Sciences	123	2.34%
20	Biochemical Research Methods	122	2.32%

Fuente: elaboración propia con información de la base de datos de redes académicas del Laboratorio de Redes del IIMAS, UNAM.

De acuerdo al listado anterior, se realizó un análisis ARS de manera que pudiésemos identificar a qué categoría biotecnológica pertenece cada una de ellas. Lo anterior nos ayuda a establecer patrones de comportamiento por áreas científicas, establecer clusters de conocimiento y finalmente definir qué tipo de biotecnología ha tenido mayor desarrollo de conocimiento científico en esta área, así como el potencial de las demás.

En la gráfica número 5 se sitúa en el centro una serie de áreas científicas que son transversales a todos los tipos de biotecnología, ya sea médica humana o animal, medio ambiental, agrícola, alimentaria o medio ambiental. Un núcleo importante está ubicado en las áreas relacionadas con el medio ambiente, otro representativo se relaciona con las áreas agrícolas, alimentarias y de plantas. Pero, sin lugar a dudas, las áreas que destacan son aquellas relacionadas con la farmacéutica médica animal y humana y esto confirma el potencial que ha ve-

nido mostrando el desarrollo de investigaciones científicas en el área; a su vez, esto se complementa justamente con el crecimiento de algunas empresas biotecnológicas mexicanas que deben su éxito comercial a los avances científicos de primer nivel de la academia y que gracias a las colaboraciones universidad-empresa han podido concretar la ruta de la innovación.

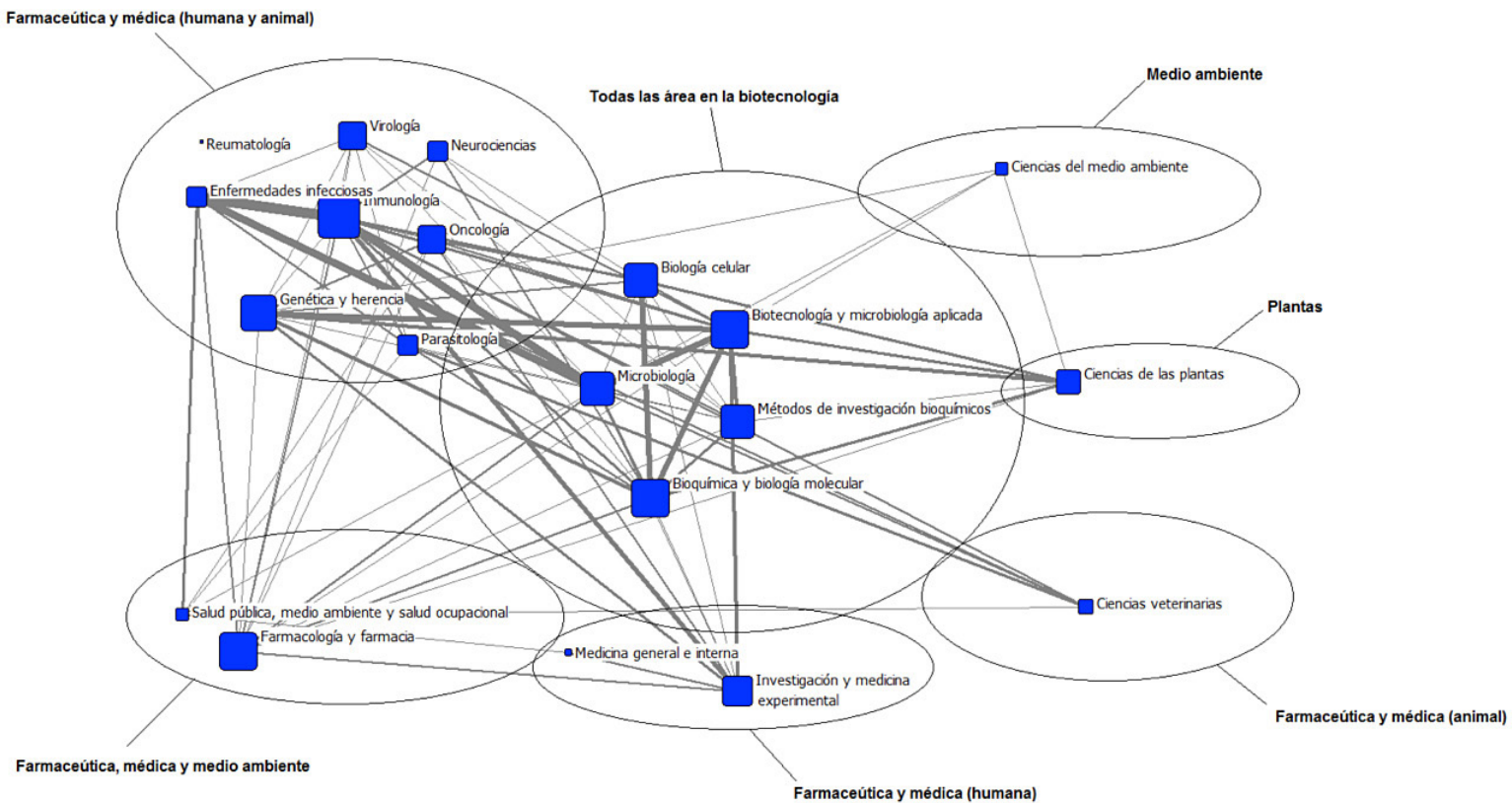
Al detectar las áreas de mayor relevancia para las publicaciones científicas reconocidas a nivel mundial, detectamos también un importante cúmulo de conocimiento susceptible a ser explotado para beneficios sociales; sin duda existe investigación de primer nivel y competitiva a nivel internacional y que es calificada por sus pares como relevante, pero que no está siguiendo el curso planteado por Gibbons *et al.* (1997) como el modo 2 de producción de conocimiento. Es importante mencionar esto, porque consideramos que el *pool* de

conocimiento que existe debería verse reflejado en el proceso de solución de problemas y traspasar la frontera de las publicaciones.

Colaboración Universidad-Empresa

Hasta ahora hemos hecho referencia a la colaboración que tiene como eje fundamental el trabajo científico, la cual muestra sus resultados a través de las publicaciones en revistas de frontera tal y como lo mostramos previamente. Los resultados anteriores nos dan un panorama amplio de la situación científica de la biotecnología en México; podemos ver que existen capacidades científicas de muy alta calidad que son reconocidas por la comunidad biotecnológica a nivel internacional, que la dinámica muestra relaciones fuertes con los principales productores de conocimiento biotecnológico en el mundo como Estados Unidos, Canadá y Alemania. Además, pudimos identificar las áreas más desarrolladas dentro

Gráfica 5. Categorías de sectores para las áreas del conocimiento de biotecnología en México (2000-2012)



Fuente: elaboración propia con información de la base de datos de Redes Académicas del Laboratorio de Redes del IIMAS, UNAM.

de la propia biotecnología, donde destaca todo lo dedicado a la salud humana y veterinaria.

Esto nos obligó a reflexionar por qué a pesar de que el conocimiento biotecnológico es sin duda transdisciplinar y, por lo tanto, más cercano a la propuesta de generación de conocimiento que hace Gibbons *et al.* (1997) del modo 2, éste no se encontraba ampliamente inscrito en dicho proceso. De manera que realizamos una serie de entrevistas a los encargados de los departamentos de vinculación y transferencia de tecnología de diversas instituciones con laboratorios dedicados a la Biotecnología, además de investigadores y empresarios de manera que pudiésemos conocer a través de los propios actores qué está sucediendo en términos de dinámica y resultados. La colaboración universidad-empresa tiene características distintas a la colaboración entre universidades o instituciones de investigación científica, generalmente la finalidad es resolver algún problema práctico, técnico, tecnológico o encontrar soluciones que deriven en nuevos procesos y productos. Al establecerse a través de un convenio implica la reglamentación y el establecimiento de derechos de propiedad para ambas partes y en la mayoría de las ocasiones se recurre a ellos una vez que ya hay conocimiento previo de las características de ambos agentes.

En distintas investigaciones sobre las características de la vinculación universidad-empresa (véase Morales, Amaro y Villavicencio, 2010; León, Gutiérrez y Sandoval., 2012), además de las entrevistas realizadas encontramos que a pesar de la presencia de oficinas de vinculación y transferencia, el proceso aún se encuentra en una fase primigenia, o bien, concentrado en actividades de baja complejidad. Lo que nos conduce a reflexionar acerca de cuáles han sido las trabas o mecanismos que han impedido la evolución de la comunidad entre dichos actores.

De acuerdo al trabajo de campo realizado, varios de los investigadores entrevistados refieren que existen distintos aspectos que limitan y perjudican el proceso de vinculación y transferencia de tecnología:

- 1) **Problemas para establecer líneas de investigación conjuntas.** Dado que los investigadores universitarios tienen definidas líneas muy especializadas de investigación, en ocasiones es difícil convencerlos de ampliar o mover sus intereses hacia aspectos que le competen a las empresas.
- 2) **Problemas burocráticos en cuanto a los tiempos**

de realización de las investigaciones y las entregas. La estructura organizacional de las universidades y centros implican la mayor de las veces establecer “convenios” que deben pasar por una serie de instancias que retrasan todo el proceso.

- 3) **Problemas referentes a la propiedad intelectual.** A pesar de los avances en cuanto a la definición de dicho tema en las universidades, aún existe incertidumbre en cuanto a lo que sucederá una vez que se haya generado algo en conjunto, definir a quién le pertenece y quién lo puede explotar y quién lo puede difundir sigue significando una fuerte traba para la vinculación
- 4) **Problemas de comunicación entre los agentes.** Más allá de un problema de lenguaje –aunque también juega un papel relevante– existen problemas en cuanto a la expresión de las necesidades de un agente y el entendimiento del otro.
- 5) **Problemas de difusión.** La mayoría de las universidades o centros de investigación no cuentan con una estrategia de difusión de las investigaciones que realizan. Esto se vuelve fundamental, dado que en ocasiones, a menos que el empresario o demandante busque entablar comunicación directa, éste desconoce si pueden ofrecerle una solución o proponerle nuevas áreas de desarrollo.

Los anteriores problemas muestran que los procesos de colaboración se ven entorpecidos por distintos factores y a diversos niveles, y aunque sabemos que se ha ido avanzando poco a poco, esto ha hecho que las relaciones exitosas no sean la generalidad, sino casos que rompen la regla. Por ejemplo, resalta el hecho que en la biotecnología farmacéutica humana y veterinaria sea justamente donde existen dos de los casos más exitosos de empresas mexicanas con potencial nacional e internacional y que gran parte de su éxito se deba justamente a procesos bien logrados de colaboración con diversas universidades y centros de investigación nacional en sus áreas de interés, a pesar de que al principio se miraban con cierto recelo. La primera empresa es Instituto Bioclon S.A. de C.V., la cual ha ido desarrollando el concepto de “faboterápicos” que son antivenenos de alta seguridad y eficacia que no producen reacciones secundarias severas, los cuales se obtienen mediante la inmunización de animales con venenos de serpiente, alacrán, araña

o cualquier animal ponzoñoso, con el fin de que dichos animales actúen como “bioreactores” desarrollando anticuerpos. Estos son separados del suero que se forma para producir productos que se suministran por vía parenteral a los pacientes que han sufrido picaduras o mordeduras, mismos que han sido desarrollados de la mano del Instituto de Biotecnología de la UNAM. Estos avances les han significado el reconocimiento a nivel nacional a través del Premio Nacional de Tecnología en 2005. De hecho, es la única empresa mexicana que cuenta con el nombramiento de “droga huérfana”⁴ para tres de sus medicamentos, cedida por la *Food and Drug Administration* (FDA) en los Estados Unidos y que tienen un importante éxito comercial de ventas en México y son importantes exportadores.

La segunda empresa es Investigación Aplicada S.A. de C.V. (IASA), que tiene desarrollos en el área médico-veterinario para el sector pecuario. Ahí han destacado gracias a la producción de productos innovadores para tratar enfermedades como la mastitis, la coccidiosis, la influenza aviar, la enfermedad de Newcastle, el rotavirus, entre muchas otras enfermedades del sector pecuario. Esto los ha situado como la principal empresa mexicana en el ramo capaz de competir con los grandes laboratorios internacionales gracias a su capacidad de innovación y desarrollo. También han sido beneficiados con el reconocimiento del Premio Nacional de Tecnología en 2010 y con el Premio Nacional de Exportación en 2011, pero cabe destacar que muchos de sus desarrollos en productos son gracias a un importante proceso de colaboración con el Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada (CIBA-Tlaxcala), el Cinvestav Ciudad de México y algunos investigadores extranjeros de la Universidad de Illinois y del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Sin embargo, el camino no ha sido fácil, ya que tal y como lo expresa su Director Industrial, existían muchas barreras para poder vincularse debido a malas experiencias previas, problemas en la definición de la propiedad intelectual y poco conocimiento sobre las actividades de investigación.

La colaboración entre las universidades y las empresas en el sector de la biotecnología es sumamente relevante ya que, como se explicó en la primera parte de este trabajo, es un sector tecnológico que requiere de la conver-

gencia de diversas áreas científicas y tecnológicas que sólo pueden ver lugar a convertirse en innovaciones una vez que generan o estrechan relaciones con las empresas. En México, aún no existen datos del impacto que tiene la tecnología en la vida económica, dado que, al ser una tecnología transversal, es difícil cuantificar lo que cuesta y lo que aporta. Sin embargo, en el análisis cualitativo que hemos realizado, constatamos que la colaboración se convierte en catalizador de sectores tradicionales y abre nuevos espacios de negocio para importantes áreas industriales. Pero, sobre todo, como lo muestra los casos de éxito presentados, es una oportunidad para empresas mexicanas de absorber y desarrollar conocimiento de frontera, que los puede situar en una mejor posición en el mercado, conquistar nuevos espacios y sobre todo convertir a la innovación en fuente de competitividad y desarrollo. Lo que se traduce en mejores condiciones económicas y sociales.

CONCLUSIONES

La biotecnología en México cuenta con un elevado desarrollo de capacidades científicas, muestra de ello es el amplio reconocimiento con el que cuentan las investigaciones desarrolladas por las universidades y centros públicos de investigación, además de que existe una dinámica en torno a las publicaciones que refleja muy bien cómo es que se encuentra en un proceso de expansión, a pesar de ser un área emergente.

Los datos que presentamos en uno de los apartados previos nos muestran que existen potenciales muy importantes en áreas como la biotecnología farmacéutica humana y veterinaria, además de opciones de crecimiento en la biotecnología medioambiental y agrícola. Las colaboraciones entre universidades son relevantes dado que se ha obtenido de ellas un importante cúmulo de conocimiento susceptible de ser explotado por la propia ciencia y también por otros actores, incluidos el sector productivo.

Las principales instituciones productoras de conocimiento al modo 1 tal y como lo plantea Gibbons son: la UNAM, la Secretaría de Salud y el Cinvestav; el primero y el último son instituciones de educación pública de muy alto nivel y el segundo es un organismo gubernamental dedicado a la salud de gran parte de la población mexi-

⁴ El término hace referencia a la inexistencia de alguna droga o medicamento para tratar un padecimiento específico.

cana, lo que explica que aparezca entre las principales generadoras de conocimiento.

Al analizar las categorías de sectores para las áreas de conocimiento y compararlas con la dinámica de colaboración universidad-empresa, encontramos que éstas se encuentran subutilizadas porque no existen los mecanismos adecuados de información y transmisión de lo desarrollado. La cultura científica aún esta permeada por la idea de la investigación básica, desconectada del contexto económico productivo o del modo 2 de producción de conocimiento. Además de que existe desconocimiento de la investigación que se realiza tanto en centros como en universidades, susceptible de tener aplicaciones tecnológicas, no existen los mecanismos a través de los cuales esto pueda ser transferido a otros agentes. Cabe mencionar que existe un vacío significativo de agentes que funcionen de interfaz y traductores de necesidades dentro de los mismos centros o universidades.

A manera de conclusión general podemos decir que el conocimiento producido como el modo 1 sigue permeando en el desarrollo biotecnológico, a pesar de que la naturaleza de la tecnología los obligue a relacionarse constantemente con otras áreas. Si bien existen relaciones entre universidades o entre investigadores, esto ha sido un paso que antecede para la colaboración entre diversos agentes que conlleve a un proceso armónico de solución de problemas más tendiente al modo de producción 2 del conocimiento.

No cabe duda de que la biotecnología medida a través de las publicaciones es un importante indicador del estado de la ciencia; sabemos que tiene carencias y fallas, pero es una de las posibles formas de acercamiento al desarrollo del conocimiento en ciertos sectores. Justamente para tratar de paliar algunos de los vacíos que implica el uso de las técnicas aquí referidas, es que recurrimos a un trabajo de campo que requirió la realización de entrevistas a agentes clave, pero reconocemos que aún existen debilidades en lo aquí planteado y que podrán ser subsanadas en trabajos futuros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Alejandro Ruíz del Laboratorio de Redes del IIMAS, UNAM, por su apoyo para actualizar los datos bibliométricos expuestos en este texto.

REFERENCIAS

- Amaro, M. (2013). *Incentivos a la innovación para la biotecnología agroindustrial-alimentaria en México*. Tesis doctoral en Ciencias Sociales, especialidad en Economía y Gestión de la Innovación de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco.
- Callon, M., Coutial, J. P. & Penan, H. (1993). *La scientométrie*. Francia : Presses Universitaires de France.
- CEPAL (2009). “Los paradigmas tecnoeconómicos TIC y Biotecnología”. En CEPAL (Ed.), *La transformación productiva 20 años después. Viejos problemas, nuevas oportunidades*. Chile.
- David, P. & Foray, D. (2002). “Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento”. *Comercio Exterior*, 52 (6).
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1997). *La nueva producción del conocimiento. La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Barcelona: Pomares Corredor.
- León J., Gutiérrez, L.V. & Sandoval, S. (2012). “Transferencia de conocimiento y cambio organizacional en las instituciones de I+D de Sonora, México”. *Innovación-RICEC*, 3 (2).
- Morales, M. A., Amaro, M., & Villavicencio, D. (2010). “Dinámica institucional, cooperación y proceso de innovación. Un estudio del sector biotecnológico mexicano”. Buenos Aires: Ponencia presentada en VIII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología.
- OECD (1989). *Biotechnology, economy and wider impacts*. Paris.
- (2005). “The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda”. Recuperado de <http://www.biomatnet.org/publications/1630be.pdf>, consultado el 12 de mayo de 2010.
- Trejo, S. (2010). “Situación de la Biotecnología en el Mundo”. Secretaría de Economía (SE), Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa (Funtec, A.C.) y Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-T, IPN). Recuperado de <http://www.economia.gob.mx/swb/es/economia/>, consultado el 12 de agosto de 2011.