

Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México

Daniel H. Villavicencio Carbajal (coordinador)





Las vicisitudes de la innovación en biotecnología
y nanotecnología en México

Esta publicación de la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco y Editorial Itaca, fue dictaminada por pares académicos expertos en el tema.

D.R. © Universidad Autónoma Metropolitana
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud
Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México,
Sección de Publicaciones de la División de Ciencias Sociales y Humanidades
Edificio A, 3er piso. Teléfono 54 83 70 60
pubcsh@correo.xoc.uam.mx
<http://deshpublicaciones.xoc.uam.mx>
ISBN UAM: 978-607-28-1197-3

Diseño de la cubierta: Rubén de la Torre

D.R. © David Moreno Soto
Editorial Itaca
Piraña 16, Colonia del Mar,
C.P. 13270, Ciudad de México.
tel. (55) 58 40 54 52
www.editorialitaca.com.mx
ISBN Itaca: 978-607-97801-6-6

Primera edición: noviembre de 2017

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

Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México

Daniel H. Villavicencio Carbajal
(coordinador)



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO División de Ciencias Sociales y Humanidades

IDRC



CRDI



ITACA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector general, Eduardo Abel Peñalosa Castro

Secretario general, José Antonio de los Reyes Heredia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-XOCHIMILCO

Rectora de Unidad, Patricia E. Alfaro Moctezuma

Secretario de Unidad, Joaquín Jiménez Mercado

DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

Director, Carlos Alfonso Hernández Gómez

Secretario académico, Alfonso León Pérez

Jefa del departamento de Política y Cultura, Alejandra Toscana Aparicio

Jefe de la sección de publicaciones, Miguel Ángel Hinojosa Carranza

CONSEJO EDITORIAL

Aleida Azamar Alonso / Gabriela Dutrénit Bielous

Diego Lizarazo Arias / Graciela Y. Pérez-Gavilán Rojas

José Alberto Sánchez Martínez

Asesores del Consejo Editorial: Luciano Concheiro Bórquez

Verónica Gil Montes / Miguel Ángel Hinojosa Carranza

COMITÉ EDITORIAL DEPARTAMENTAL

Harim Benjamín Gutiérrez Márquez (presidente)

Clara Martha Adalid Urdanivia / Fabiola Nicté Escárzaga

Ana Lau Jaiven / Marco Antonio Molina Zamora

Hugo Pichardo Hernández / Juan Francisco Reyes del Campillo

Esthela Sotelo Núñez / Luis Miguel Valdivia Santamaría

Ricardo Yocelvezky Retamal

Asistencia editorial: Varinia Cortés Rodríguez

Índice

Resumen	11
1. Innovación en campos emergentes: el problema general de la investigación <i>Daniel H. Villavicencio Carbajal</i>	13
2. Panorama general de la biotecnología en México y el mundo <i>Mario Alberto Morales Sánchez</i> <i>Marcela Amaro Rosales</i>	33
3. Nanociencias y nanotecnologías en México: desarrollo científico y tecnológico, mercado y regulación <i>Eduardo Robles Belmont</i> <i>Rebeca de Gortari Rabiela</i> <i>Leonardo Souza García</i>	69
4. Las bondades de Transferón® <i>Eduardo Robles Belmont</i> <i>Nelly Medina Molotla</i> <i>Carlo Daniel Pineda Almanza</i>	83
5. Vitalmex: barreras a la actividad innovadora de dispositivos médicos en México <i>Itzel Ávila</i> <i>Pilar Pérez-Hernández</i>	111

6. Nuevas estrategias institucionales y de competitividad en el sector biotecnológico agrícola. El caso StelaGenomics <i>Federico Stezano</i>	141
7. Fungifree Ab® <i>Rebeca de Gortari Rabiela</i> <i>Nelly Medina Molotla</i> <i>Eréndira Cabrera</i>	171
8. Vincularse y crecer juntos: IASA y CIBA-Tlaxcala <i>Marcela Amaro Rosales</i> <i>Mario Alberto Morales Sánchez</i>	191
9. Tecnología y medio ambiente: el ejemplo de IBASA <i>Graciela Carrillo</i> <i>Luisa Avendaño</i>	217
10. BioSolutions: emprendimiento y eco-innovación en bioplásticos <i>Daniel H. Villavicencio Carbajal</i> <i>Diana Patricia Rivera Delgado</i>	243
11. Nopalimex y la generación de energías limpias <i>Graciela Carrillo</i> <i>Luisa Avendaño</i>	263
12. Energía termosolar: el caso de Enersureste <i>Daniel H. Villavicencio Carbajal</i> <i>Francisco J. Manzano Mora</i>	283

13. Situación actual de las Tecnologías de Propósito General en México: biotecnología, nanotecnología y tecnologías ambientales <i>Francisco J. Manzano Mora</i> <i>Diana Patricia Rivera Delgado</i> <i>José J. Bracamontes Zapién</i>	305
14. Encuesta sobre capacidades en transferencia tecnológica de empresas y oficinas de transferencia en México <i>Antonio Chiapa Zenón</i> <i>Daniel H. Villavicencio Carbajal</i>	351
Sobre los autores	377

Resumen

La biotecnología y la nanotecnología son consideradas como *tecnologías* emergentes, transversales y de propósito general, que ofrecen oportunidades para el desarrollo de las naciones en la medida en que sus aplicaciones pueden mejorar los productos y los servicios en áreas como la salud, la alimentación y el cuidado del medio ambiente. Por ello muchos países han implementado planes estratégicos para incrementar los recursos humanos especializados y la infraestructura para la investigación científica en las instituciones académicas, así como para coadyuvar a la transferencia tecnológica al sector productivo, gubernamental y social.

Los llamados países en desarrollo o de reciente industrialización, como México, han realizado esfuerzos para reducir la brecha científica y tecnológica que los separa de los países desarrollados. Dichos esfuerzos se traducen en la creación de una importante masa crítica de científicos y tecnólogos que investigan e interactúan con sus pares en el marco de redes de creación de conocimiento y cooperación internacional. Sin embargo, más allá de la propagación del conocimiento en el espectro planetario a través de sus publicaciones, su transmisión al sector productivo capaz de aplicarlo y, con ello, de generar riqueza, es todavía una asignatura pendiente. En efecto, subsisten inercias institucionales en temas como la vinculación universidad-empresa, la investigación aplicada y la transferencia tecnológica; sus formas actuales, heredadas de esquemas de industrialización adaptativa y acelerada apertura comercial, han dificultado la aplicación del conocimiento científico y tecnológico que han desarrollado las instituciones académicas para la solución de problemas técnicos

RESUMEN

y productivos en las empresas o para su aplicación en la solución de problemas de carácter prioritario a nivel nacional. De manera complementaria, muchos agentes del sector productivo carecen tanto de la capacidad de asimilación de tecnología como de la de innovación.

En este sentido, la investigación que hemos realizado tuvo como principal objetivo identificar los incentivos y las barreras que ofrece el marco institucional en México para la aplicación del conocimiento y para la transferencia tecnológica en biotecnología y nanotecnología. Hemos realizado un conjunto de estudios monográficos en empresas e instituciones académicas con la intención de mostrar la forma en que se aprovechan los incentivos de la política pública en los programas federales de apoyo al desarrollo tecnológico. También nos ha interesado mostrar la forma en que los actores logran franquear obstáculos y construir procesos de transferencia tecnológica y desarrollo conjunto de tecnología. El principal postulado que orientó nuestra reflexión es que, ante los costos y los riesgos que conllevan los procesos de creación de conocimiento e innovación, combinar los esfuerzos de actores de la academia con los del sector productivo produce más y mejores resultados; aprovechar todo el potencial que ofrecen las tecnologías emergentes implica cooperar para innovar.

Los estudios de caso que presentamos se relacionan con aplicaciones de la biotecnología y la nanotecnología en tres sectores: salud, producción de alimentos y cuidado del medio ambiente. El libro incluye otros capítulos que dan contexto a las monografías con datos estadísticos así como una encuesta sobre las capacidades de las empresas en los campos tecnológicos estudiados.

1. Innovación en campos emergentes: el problema general de la investigación

Daniel H. Villavicencio Carbajal

Desde finales del siglo XX, la generación de riqueza se basa en la creación y difusión de conocimiento, así como en su aprovechamiento para mejorar las condiciones económicas, sociales y ambientales de los países. En este marco, los gobiernos enfrentan un doble reto: poner en marcha mecanismos que aceleren los ritmos de creación y circulación del conocimiento, y adelantar las fronteras de la ciencia y la tecnología hacia nuevos horizontes.

El nuevo milenio trajo consigo novedosas aplicaciones de la ciencia y la tecnología con características de transversalidad y multidisciplinariedad, y con tal capacidad de generar convergencias que se han ido modificando los paradigmas del quehacer científico y tecnológico (Geuna y Steinmueller, 2003; Hessels y Van Lente, 2008; Villavicencio, 2013). Tal es el caso de la biotecnología y la nanotecnología. Podemos entender la convergencia como la interacción o sinergia de diferentes disciplinas científicas, tecnologías y comunidades de conocimiento; su propósito es doble: dar nuevos usos a los conocimientos científicos y tecnológicos, y crear nuevos productos y servicios (Bainbridge y M. Roco, 2016).

Lo anterior supone el surgimiento de nuevos modelos de producción del conocimiento científico y tecnológico, donde los agentes (universidades, centros de investigación y empresas) tienden a modificar sus pautas de interacción para fomentar la colaboración multi y transdisciplinaria en proyectos colectivos financiados con recursos públicos y privados (Casper y Van Waarden, 2005; Pisano, 2010). La elaboración de bioplásticos, la degradación de metales me-

diante bacterias, y el uso de desechos orgánicos para la producción de energías “verdes”, ejemplifican la forma en que se pueden asociar distintos campos del conocimiento científico y tecnológico, forma que da pauta a lo que hoy se denomina eco-innovación.

En las nuevas dinámicas que caracterizan la compleja sociedad actual –a la que podemos llamar sociedad basada en el conocimiento (Sörlin y Vessuri, 2007; Villavicencio *et al.*, 2012)– se destacan los siguientes aspectos:

- Un mayor desarrollo económico a partir de la difusión y aplicación de tecnologías emergentes y transversales, como la nanotecnología, la biotecnología y los nuevos materiales.
- La creciente importancia del conocimiento científico y tecnológico como factor que intensifica la producción de nuevos bienes y servicios, la creación de valor, y el bienestar social.
- La reorganización del contexto institucional para adaptarlo a los entornos cambiantes, donde las redes de carácter transdisciplinario representan una forma novedosa de investigación científica y tecnológica; la ventaja de ello radica en la capacidad de aprendizaje y adaptación de los agentes.
- Un nuevo contrato social de la ciencia, el cual tiende a establecer agendas de investigación con base en prioridades definidas en forma conjunta por universidades y organismos de gobiernos de los ámbitos socioeconómico, energético, ambiental, salud, alimentario y demás.

En diversos países observamos iniciativas encaminadas a reestructurar y promover programas para el fomento de la investigación científica y tecnológica en áreas novedosas, con una doble finalidad: mejorar las ventajas competitivas nacionales, y resolver problemas sociales, energéticos y ambientales. Estas tendencias implican la construcción de una nueva gobernanza en términos de programas, actividades y responsabilidades colectivas que redefinen los instrumentos de la política pública. Estos programas están fundados en la determinación de prioridades temáticas para la ciencia, la tecnología y la innovación, y las estrategias de la nueva gobernanza están encaminadas a llenar “vacíos”, fomen-

tar la inclusión social y acortar brechas de conocimiento científico y tecnológico a mediano y largo plazos.

Así, desde la perspectiva de las políticas públicas en materia de ciencia y tecnología, los nuevos contextos exigen tomar en cuenta las necesidades y demandas de conocimiento por parte de amplios sectores de la sociedad, las nuevas dinámicas en el comportamiento de las comunidades científicas y tecnológicas, y las nuevas relaciones entre actores institucionales públicos y privados. Asimismo, las capacidades de producción y absorción de conocimiento y tecnología, así como las especificidades respecto a la especialización productiva y al estado de desarrollo socioeconómico, obligan a definir estrategias e instrumentos acordes con la diversidad de contextos de cada país y región.

De acuerdo con varios estudios, el desempeño de la política de ciencia y tecnología en México se ha caracterizado por una falta de continuidad institucional, por la insuficiencia de recursos y por la carencia de instrumentos para evaluar el impacto de dicha política en el incremento de las capacidades científicas y tecnológicas y en su mejora cualitativa, así como sus aportes al crecimiento económico y el bienestar social. A ello se suma la ausencia de coordinación entre los organismos, los instrumentos y las estrategias para incrementar las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación del país (FCCYT 2006; Adiat 2006; Casalet, 2007; OCDE 2008; Villavicencio, 2009). En este contexto, las comunidades de científicos focalizan principalmente sus intereses y prácticas en la investigación científica básica y, en mucho menor medida, en la investigación aplicada cuya finalidad es proponer soluciones a prioridades nacionales (salud, medio ambiente, agricultura y alimentación; desarrollo social, alternativas energéticas, etcétera); además privilegian el comportamiento individual en detrimento de la conformación de redes de investigación (Villavicencio, 2013; Casalet y Stezano, 2009).

En este marco, diversos tópicos han orientado la agenda de investigación que impulsamos en un proyecto colectivo patrocinado por el International Development Research Center (IDRC), con el propósito de analizar los incentivos que existen en México para fomentar la investigación aplicada y la transferencia tecnológica de las instituciones académicas a la industria en áreas

emergentes como la biotecnología y la nanotecnología.¹ Los tópicos a que nos referimos son los siguientes:

- Los efectos de las recientes políticas en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI).
- Análisis de las dinámicas de CTI tomando en cuenta los diferenciales en las capacidades en investigación científica básica y aplicada así como en desarrollo tecnológico e innovación.
- Las prácticas colectivas de creación de conocimiento (redes y consorcios de investigación) y la transferencia de éste al sector productivo, social y/o gubernamental.
- Los patrones de comportamiento de las empresas en materia de innovación.
- Las prácticas de cooperación universidad-empresa en tecnologías emergentes y convergentes versus las tecnologías maduras.

A pesar de los esfuerzos institucionales de los últimos 15 años —esfuerzos que se han traducido en la implementación de distintos programas de fomento a la investigación científica, al desarrollo tecnológico y a la innovación por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología—, la brecha cognitiva y tecnológica en varios sectores del país en relación con los países desarrollados sigue siendo amplia. Si bien es verdad que la masa crítica de científicos, los posgrados de calidad y las publicaciones de mexicanos en revistas indexadas de publicación internacional son hechos innegables, también lo es que la consolidación de capacidades de innovación ha sido posible sólo en casos aislados y aún existen campos del conocimiento poco desarrollados en infraestructura, recursos humanos, programas de investigación, etcétera. Ante los nuevos desa-

¹ El proyecto denominado “Incentivos a la investigación aplicada y la transferencia tecnológica en México: biotecnología y nanotecnología para los sectores alimentos, salud y medioambiente”, fue patrocinado por el International Development Research Center, de Canadá, en el marco de la Convocatoria 2014: Cátedras Científicas Conjuntas en Investigación para el Desarrollo de las Américas-México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

fíos de la *sociedad basada en el conocimiento* y la economía global, el país se ve en la necesidad de redoblar esfuerzos no sólo para mejorar o transformar las condiciones materiales, financieras e institucionales que son indispensables para el desarrollo científico y la innovación en amplios sectores, sino también para incentivar la vinculación universidad-empresa y el aprovechamiento productivo de los resultados de la investigación aplicada. Asimismo es necesario retomar las demandas sociales como un criterio que defina las agendas de la investigación científica y tecnológica y en general la trayectoria y el fortalecimiento del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI).

La diversidad de estudios y diagnósticos existentes sobre las estructuras institucionales y las formas de gobernanza, los indicadores disponibles sobre los “sistemas de investigación e innovación” de varios países de América Latina o de Europa así como estudios de las capacidades de innovación de algunas empresas nos permiten constatar, en el caso mexicano, la carencia de formas de coordinación institucional, una escasa investigación aplicada y la ausencia de instrumentos para fomentar el escalamiento tecnológico de los productos o prototipos en algunos nichos de mercado. Asimismo se observa la necesidad de reforzar el mecanismo de protección de la propiedad intelectual, promover la formación de recursos humanos en áreas de oportunidad futura y mejorar el aprovechamiento de las ventajas de la investigación cooperativa a través de consorcios de investigación.²

La complejidad y la heterogeneidad que caracterizan la investigación científica y la innovación exigen la participación de agentes de fomento a la transferencia y adaptación de tecnología así como la vinculación y la explotación productiva del conocimiento científico y tecnológico (Braun, 1993; Van Der Meulen, 2003). Sin embargo, en México hemos constatado la tímida presencia de estructuras de intermediación que podrían o deberían asumir las funciones de transferencia de conocimientos, funciones que podrían derivar hacia

² Véase por ejemplo los textos reunidos en Santos (2003), Sánchez (2005), Valenti (2008), Villavicencio *et al.* (2009); Bracamontes y Contreras (2011), Méndez *et al.* (2011), Micheli *et al.* (2012) y Carrillo, Hualde y Villavicencio (2013).

la aplicación de nuevos instrumentos de vinculación entre los centros de investigación, las universidades y los actores productivos (Pérez, 2011; Robles y Vinck, 2012; Stezano, 2012; Amaro y Robles, 2013). De hecho, fue a comienzos de la presente década cuando se promovió la creación y la certificación de Organismos de Transferencia Tecnológica (OTT), cuyo funcionamiento sería interesante analizar; sin embargo, debido a su reciente creación, no ofrecen aún resultados abundantes.³

El aprovechamiento de tecnologías emergentes en sectores estratégicos

Desde la perspectiva de los estudios de la innovación y de la sociología de la ciencia, la combinación de campos tecnológicos emergentes con disciplinas científicas de reciente aparición ofrece oportunidades para dar saltos cualitativos importantes en diversas esferas, con aplicaciones novedosas que desplazan hacia delante la frontera del conocimiento y permiten encontrar soluciones a problemáticas sociales, económicas y ambientales (Foray, 2004; Chesbrough, 2006). Algunas aproximaciones teóricas al fenómeno, como los ciclos largos de crecimiento, las revoluciones tecnológicas y la literatura del *catching up*, concuerdan en que el dominio temprano de una nueva tecnología conlleva grandes beneficios para quienes la desarrollan oportunamente. Ello representa un potencial importante para los llamados países en desarrollo, en la medida en que pueden encontrar una coyuntura para reducir las brechas que los separan de los países líderes. El avance tecnológico y económico de los países asiáticos a partir del temprano desarrollo que tuvieron las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el último tercio del siglo XX, es un ejemplo conocido.

Sin embargo, la literatura también señala que las “ventanas de oportunidad” son efímeras y que su aprovechamiento depende de diversos factores; entre ellos destaca el esfuerzo de aprendizaje que hagan los agentes para asimi-

³ Existe un registro de más de 100 OTT certificadas por la Secretaría de Economía, la mayoría de ellas creadas en 2014.

lar y dominar los conocimientos asociados con la nueva trayectoria científica y tecnológica, sobre todo en su etapa de emergencia. Algunos autores sostienen que la evolución de los sistemas y *regímenes socio-técnicos* puede depender de factores exógenos y endógenos, y que éstos últimos son resultado de variaciones en alguno de los componentes del sistema en las esferas micro, meso o macro de un país (Geels, 2002; Geels y Schot, 2007). Por ejemplo, la pronta incursión de un agente (empresa o centro de investigación) en una nueva tecnología o campo científico puede modificar paulatinamente las agendas de investigación en las instituciones académicas y puede mover a los competidores a adoptar nuevas aplicaciones tecnológicas y productivas, dicho agente se vuelve entonces un factor decisivo en la construcción, a mediano y largo plazos, de nuevas capacidades científicas y de innovación para transitar hacia nuevos regímenes socio-técnicos que involucren a la mayor parte de los agentes del sistema. En este tránsito se hacen posibles nuevas recombinaciones y regulaciones de diferentes agentes en distintos niveles: en la infraestructura, en las reglas y normas institucionales, en los arreglos políticos y en la definición de estrategias y contenidos de las políticas públicas.

Además de los cambios sufridos a nivel del sistema y de sus componentes más importantes, lo interesante es dilucidar los aprendizajes que ocurren en diversos momentos de los procesos de transición. Éstos pueden ser de adaptación, reconversión y recombinación de capacidades; de abandono, reformulación y/o invención de nuevas reglas del juego, y de aparición de nuevas instituciones. No obstante, adaptación, aprendizaje y creación de nuevas reglas no se traducen necesariamente en innovación; y cuando ésta ocurre tampoco es claro el involucramiento en ella de todos los agentes del sistema, ni que se esté explotando al máximo el potencial de una tecnología o campo científico emergente. Dicho en otras palabras: el tránsito hacia un régimen socio-técnico nuevo es necesariamente de carácter multinivel y abarca las dimensiones institucional, económica y política, no sólo los ámbitos de la ciencia y la tecnología.

Uno de los aspectos relevantes de los cambios en los sistemas socio-técnicos atañe a las características de la estructura institucional del régimen vigente y a las características que requiere uno nuevo, sobre todo cuando los detonadores del cambio son exógenos. Por ejemplo, la asimilación de una nueva tecnología

proveniente de los países desarrollados es siempre parcial y requiere de ajustes al contexto del país receptor; quizá los ajustes más difíciles corresponden a las dimensiones organizacionales e institucionales necesarias a su aplicación. En tales circunstancias, la adopción de una tecnología emergente permite dar un salto cualitativo que conlleva cambios institucionales importantes que sólo pueden ocurrir a mediano y largo plazos. La perspectiva de un cambio significativo pone a los agentes del sistema en tensión o los paraliza, porque muchas de las reglas del juego y las estructuras institucionales vigentes pueden discordar de las funciones sugeridas por el nuevo régimen (Callon y Latour, 1998). Si las tensiones e incompatibilidades perduran, la exploración y la explotación de un conocimiento científico o tecnológico nuevo encuentran más obstáculos que incentivos para su desarrollo, tanto por la ausencia de capacidades en los agentes como porque los marcos institucionales en que se desenvuelven no están diseñados para el cambio. Por el contrario, dichos agentes buscan mantener el orden establecido.

Por su parte, las reglas del juego vigentes, como las normas sanitarias, los criterios de certificación y los dispositivos legales, establecen el marco de acción de los agentes generando espacios de certidumbre y reduciendo riesgos, sobre todo en el ámbito del mercado.

Sin embargo, es precisamente en las etapas tempranas de la definición de una nueva trayectoria científica y tecnológica donde se abren ventanas de oportunidad para su exploración y explotación, en la medida en que los marcos institucionales están en proceso de definición (Dosi, 1997). Este es el caso de las áreas emergentes, como la biotecnología y la nanotecnología. Es en las etapas iniciales de la curva de desarrollo del conocimiento donde los agentes pueden transformar sus pautas de aprendizaje, propiciar la creación de nuevas reglas del juego, y redefinir estrategias de acción y las formas de cooperación con otros agentes que concurren en la trayectoria científica y tecnológica en ascenso, para coadyuvar con ello a la reconfiguración de los marcos institucionales.

Ahora bien, la construcción de capacidades científico-tecnológicas en el contexto de trayectorias emergentes no depende exclusivamente de las adaptaciones y aprendizajes de los agentes académicos y/o productivos (universidades, centros de investigación, empresas) en combinación con las externalidades

que ofrece un territorio (como la infraestructura, los recursos humanos, la disponibilidad de insumos para la producción, etcétera). Dada la heterogeneidad de intereses y comportamientos que se expresan en los contextos científicos, tecnológicos y productivos, siempre hay grados de contingencia, es decir, conflictos y rivalidades que se traducen en espacios de incertidumbre. Es por ello que los gobiernos intervienen para asignar roles y reglas de coordinación, o –como apunta Edquist (2002)– para resolver los problemas que ni el mercado ni los agentes individuales pueden resolver. Sin embargo, la intervención de los gobiernos también sirve para inducir cambios en el comportamiento de los agentes a través de mecanismos directos o indirectos que llamaremos incentivos. Los primeros son aquellos que asignan recursos económicos mediante programas de fomento a la investigación científica o a la innovación; los segundos hacen referencia a la creación de reglas que benefician el comportamiento de algunos agentes, a veces en perjuicio de otros (normas sanitarias, barreras arancelarias, por mencionar sólo dos); o se refieren a la creación de organismos que brindan servicios y apoyo a los agentes, como la banca de desarrollo, las oficinas de metrología y registro de patentes, o las de transferencia tecnológica.

La presencia de incentivos directos e indirectos es necesaria para coadyuvar a la disolución de las barreras que inhiben los procesos de transición hacia un nuevo régimen científico y tecnológico. Y se vuelven más necesarios cuando los gobiernos definen prioridades y estrategias para reorientar el rumbo hacia nuevos horizontes. Es por ello que en esta investigación hemos querido enfocar el análisis a las formas en que empresas, centros de investigación y universidades aprovechan los incentivos que existen en México para fomentar el aprendizaje tecnológico y organizacional con miras a insertar al país en la trayectoria ascendente de dos tecnologías emergentes –la biotecnología y la nanotecnología–, y sobre todo para su explotación a través de proyectos de transferencia tecnológica y de innovación colaborativa con efectos positivos en el ámbito de la salud, la producción de alimentos y el cuidado del medio ambiente.

Convergencia de tecnologías y cooperación entre agentes

La sociedad basada en el conocimiento puede ser considerada un estado hipotético de desarrollo donde el conocimiento es el insumo primordial para la solución de problemas en los ámbitos económico, social y ambiental. En consecuencia, la producción, difusión y asimilación del conocimiento por los diversos sectores que componen la sociedad se convierten en factor de cambio e innovación, y por ende en motor del desarrollo (Villavicencio, Morales y Amaro, 2012). En este sentido, los gobiernos y los grupos de comunidades científicas en diversos países abogan por crear mayores y mejores condiciones de creación, flujo y apropiación de conocimientos.

En la esfera de la producción de bienes y servicios, la incorporación de nuevas tecnologías –como la electrónica y las tecnologías de la información– hizo posible importantes incrementos en la productividad de las empresas hace casi cuatro décadas, y modificaron las formas de organización de los procesos productivos y de las relaciones entre agentes del mercado. Hoy contamos con tecnologías con amplia capacidad de aplicación transversal, y con tal potencial de convergencia y combinación que han ido modificando las formas de producir bienes y servicios.

El proceso de convergencia tecnológica es definido como la interacción acumulativa de distintas disciplinas, tecnologías y agentes con el propósito de lograr compatibilidad, sinergia e integración de las metas compartidas; además, la convergencia crea valor a través de nuevos productos y nuevos nichos de mercado. Así pues, los procesos de convergencia permiten acelerar la producción colectiva de conocimiento, con la consecuente dinámica de aprendizaje y retroalimentación cognitiva entre los agentes. Lo anterior permite incrementar asimismo la velocidad con que se realizan innovaciones tecnológicas.

El proceso de convergencia implica la articulación de diversos conocimientos, tecnologías y aplicaciones en el ámbito productivo, y ocurre sobre la base de tres etapas principales. Primeramente, el conocimiento confluye para generar espirales de integración y fusión; enseguida emerge un sistema que conduce a la generación de nuevos resultados y a nuevas áreas de aplicación; y finalmente sobreviene un proceso de “divergencia” o ramificación que conlleva el

desarrollo de nuevas competencias, productos y aplicaciones del conocimiento, lo cual se transforma en la base de la innovación tecnológica (Roco, Bainbridge *et al.*, 2013).

Desde esta perspectiva podemos analizar el surgimiento de nuevos modelos de organización de la producción del conocimiento a través de la investigación científica –básica y aplicada– en áreas como la biotecnología y la nanotecnología. En este marco los agentes tienden a modificar sus pautas de interacción abandonando la colaboración disciplinaria y ampliando el espectro de agentes (universidades, centros de investigación y empresas) para fomentar la colaboración multi y transdisciplinaria en estrategias y proyectos financiados con recursos públicos y privados (Villavicencio, 2013).

Hoy en día la convergencia tecnológica se expresa de muchas maneras en la producción de bienes y servicios. La elaboración de bioplásticos, las aplicaciones de los teléfonos móviles y otros dispositivos “inteligentes”, la descontaminación de metales mediante bacterias, y el uso de desechos orgánicos para la producción de energías limpias y renovables, son ejemplos de cómo se pueden asociar distintos campos del conocimiento en diferentes áreas de la producción tecnológica y de la manufactura.

En tanto que proceso transdisciplinar y colectivo de creación de conocimiento, la convergencia supone asimismo un proceso de cooperación entre agentes cognitivamente heterogéneos y asimétricos desde la perspectiva organizacional. En este sentido, la exploración y explotación de tecnologías convergentes, como la nanotecnología y la biotecnología, suponen el despliegue colaborativo de aprendizajes fuera de las instituciones académicas a que se pertenece, así como la redefinición de los contextos en que se puede transferir y/o compartir conocimiento. En cierta medida, la convergencia supone una ruptura con las pautas organizacionales y las reglas institucionales predominantes en las universidades y centros de investigación donde los científicos se desempeñan.

Características de la investigación

En el marco de las consideraciones anteriores, el análisis que hemos privilegiado en este proyecto hace referencia al ámbito de la investigación aplicada y

de la transferencia tecnológica en dos disciplinas emergentes, transversales y convergentes: la biotecnología y la nanotecnología. Ambas disciplinas muestran un crecimiento relativo en el país a juzgar por las fuentes disponibles que ofrecen datos sobre los recursos humanos, los programas de posgrado y los centros de investigación. Dichas disciplinas tienen impacto en el desarrollo y transformación de tres sectores estratégicos, a saber: la producción de alimentos, la salud, y el cuidado del medio ambiente.

Nuestro principal objetivo es identificar y analizar los incentivos brindados por las políticas públicas; en términos generales, dichos incentivos pueden y deben fomentar una mayor y mejor transferencia del conocimiento resultante de la investigación aplicada y la innovación hacia usuarios potenciales. Asimismo nos hemos dado a la tarea de identificar y analizar las dimensiones organizacionales, institucionales y/o del mercado que inhiben o favorecen el aprovechamiento, por parte del sector productivo, de los instrumentos vigentes y de los resultados de la investigación aplicada.

Para cumplir este cometido realizamos estudios monográficos de casos presumiblemente exitosos en materia de investigación aplicada y transferencia tecnológica en los tres sectores (alimentación, salud, medio ambiente) a partir del aprovechamiento de la biotecnología y nanotecnología. El propósito de dichos estudios fue revelar diversos aspectos como son el aprovechamiento de instrumentos de política pública, el desarrollo de capacidades en investigación aplicada, los procesos de aprendizaje organizacional e institucional, la cooperación academia-industria y la capacidad de respuesta ante barreras institucionales o del mercado. En suma, la finalidad de los estudios monográficos realizados mediante entrevistas a los responsables de los proyectos, a los usuarios, a funcionarios de universidades, etcétera, fue dar a conocer el proceso de cooperación y transferencia, los aprendizajes efectuados, los obstáculos encontrados y la manera de franquearlos por parte de los actores involucrados.

Las interrogantes que de manera general orientaron nuestra reflexión y la búsqueda de los casos que en el plano empírico pudieran dar cuenta de las dinámicas de transferencia tecnológica y cooperación entre agentes empresariales y académicos, son las siguientes:

- ¿Qué capacidades de investigación científica existen en el país en las áreas de biotecnología y nanotecnología, y cuál es su potencial de aplicación en áreas como la salud, la alimentación y el cuidado del medio ambiente?
- ¿Qué incentivos de política pública existen para fomentar una mayor capacidad de investigación aplicada en México en el ámbito de las tecnologías emergentes seleccionadas, y qué impacto específico tienen en las áreas de salud, alimentación y protección del medio ambiente?
- ¿Cuáles son las principales trabas de orden institucional que hoy dificultan la transferencia del conocimiento científico y tecnológico hacia usuarios del sector productivo, social y gubernamental?

Con estas preguntas generales nos dimos a la tarea de identificar casos donde los obstáculos fueron superados a la vez que se aprovecharon los incentivos brindados por la política pública para que grupos de científicos y las empresas desarrollaran de manera conjunta una nueva tecnología. Si bien los casos fueron analizados con la misma matriz de categorías analíticas, las monografías no pretenden ofrecer una comparación con respecto a las dinámicas de cooperación, de transferencia tecnológica o aprovechamiento del conocimiento. Cada caso tiene antecedentes, características y atributos diferentes, pero todos ellos poseen un denominador común: la forma en que fueron aprovechados los incentivos y el modo como fueron contrarrestados los obstáculos institucionales. No obstante, una de las monografías se antoja como un contra-ejemplo, por cuanto hubo obstáculos que no pudieron ser resueltos a pesar de las bondades del producto desarrollado y de la capacidad e interés de los actores.

A este primer capítulo donde presentamos el marco de referencia que ha guiado la reflexión del grupo de investigación –marco a partir del cual fuimos realizando los estudios monográficos– le siguen dos capítulos referentes al desarrollo de la biotecnología y la nanotecnología, respectivamente. Después ofrecemos las nueve monografías que constituyen el principal resultado de la investigación. Las primeras tres se relacionan con temas de biotecnología para la salud; la segunda tríada de monografías está relacionada con la biotecnología de alimentos; y finalmente presentamos otras tres acerca de temas relativos al medio ambiente. Debemos aclarar que en el camino se quedaron otros casos

que no fue posible completar por falta de disponibilidad y tiempo de los investigadores y/o de los responsables de I+D en las empresas para compartirnos sus experiencias, de manera que las entrevistas realizadas no arrojaron suficientes elementos para completar el estudio.

Posterior a las monografías, incluimos un capítulo que da cuenta del estado general del desarrollo de la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías medioambientales en México a partir de las principales fuentes de información estadística disponible. Destaca la poca presencia de empresas que realizan aplicaciones de nanotecnología en procesos productivos; la capacidad científica es lo que por ahora muestra un mayor desarrollo relativo en el país. Es por esta razón que sólo en una de las monografías se aprecia cómo un centro de investigación y una empresa desarrollan de manera conjunta la aplicación de nanotecnología. El último capítulo muestra los principales resultados de una encuesta aplicada a empresas y entidades dedicadas a la transferencia de tecnología. Dicha encuesta tuvo un doble propósito: conocer las prácticas de estos agentes, y contrastar en los estudios monográficos el punto de vista cualitativo con un referente cuantitativo recabado por la encuesta.

Los autores de este libro hemos venido reflexionando sobre diversas problemáticas y enfoques metodológicos relacionados con los ámbitos de la política pública y la dinámica de los agentes en materia de ciencia, tecnología e innovación. Partimos de que existen vacíos conceptuales y metodológicos que denotan carencias en la investigación empírica y en el análisis de temas tan importantes como los siguientes: la relación entre ciencia y sociedad; la difusión y apropiación social del conocimiento científico y tecnológico, y la gobernanza de la CTI en los niveles regional y sectorial, entre otros. Temas como la vinculación universidad-empresa, la transferencia del conocimiento científico y tecnológico hacia el sector productivo y social, y la disyuntiva entre investigación científica básica y/o aplicada, han estado presentes en nuestra reflexión. En este sentido, los resultados de la investigación que a continuación presentamos aspiran a aportar elementos empíricos para una mejor comprensión de los contextos y las dinámicas que dificultan el aprovechamiento de conocimientos científicos y tecnológicos acumulados por las universidades y centros de investigación a lo largo y ancho del país. En efecto, nos interesa dar cuenta de la forma en que

los científicos productores de conocimiento buscan relacionarse con usuarios potenciales, con miras a que los resultados de su quehacer científico resuelvan problemas concretos de la sociedad, más allá de la mera publicación de artículos científicos.

Como el lector podrá constatar, en varios casos los mecanismos organizacionales para la transferencia de tecnología existentes en las instituciones académicas van a la zaga de las necesidades tanto de los científicos como de las empresas y el mercado. En otros casos, las regulaciones y normas vigentes en el sector salud retrasan los procesos de comercialización, por lo que los prototipos no logran ser desarrollos a escala industrial y convertirse en innovaciones vendibles en el mercado. Paciencia, astucia y perseverancia resultan ser cualidades comunes entre los científicos y empresarios cuyas historias rescatamos en la investigación. Sirva este libro para expresarles nuestra gratitud por habernos concedido unos momentos de su valioso tiempo.

Bibliografía

- Amaro-Rosales, M. (2013), “Incentivos para la innovación en biotecnología agroindustrial-alimentaria en México”, tesis de doctorado en Ciencias Sociales, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- _____, y E. Robles-Belmont (2013), “Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana”, *Entreciencias*, vol. 1, núm. 2, pp. 183-195.
- Archibugi, D., y S. Lammarino (2003), “The Globalization of Technology and National Policies”, en D. Archibugi y B. Lundvall (eds.), *The Globalizing Learning Economy*, Universidad de Oxford, Oxford, pp. 111-126.
- Bainbridge, W., y M. Roco (eds.) (2016), *Handbook of Science and Technology Convergence*, Springer Reference, Nueva York.
- Callon, M., y B. Latour (1989), *La science et ses réseaux, renèse et circulation des faits scientifiques*, La Découverte / Conseil de l'Europe / United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), París, pp. 7-33.

- Casalet, M. (2007), “La transición a la sociedad del conocimiento: nuevas demandas en la relación y en la organización de la ciencia y la producción”, en F. Stezano y G. Vélez (comps.), *Propuestas interpretativas para una economía basada en el conocimiento*, Miño y Dávila, Buenos Aires, pp. 143-164.
- , y F. Stezano (2009), “Cambios institucionales para la innovación: nuevos instrumentos de política científica y tecnológica. El caso del consorcio Xignux-Conacyt”, en D. Villavicencio y P. López (coords.), *Sistemas de innovación en México: regiones, redes y sectores*, Plaza y Valdés, México, pp. 187-216.
- Casper, S., y F. Van Waarden (eds.) (2005), *Innovation and Institutions*, Edward Elgar, Londres, p. 307.
- Chesbrough, H. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business, Boston.
- (2006), “Open Innovation. A New Paradigm for Understanding Industrial Innovation”, en H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke y J. West (eds.), *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Universidad de Oxford, Oxford.
- Dosi, G. (1997), “Opportunities, Incentives, and the Collective Patterns of Technological Change”, *Economic Journal*, vol. 107, pp. 1530-1547.
- Edquist, Ch. (2002), “Innovation Policy, a Systemic Approach”, en D. Archibugi y B. Lundvall (eds.), *The Globalizing Learning Economy*, Universidad de Oxford, Oxford, pp. 219-228.
- Foray, D. (2004), *The Economics of Knowledge*, Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Londres.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (2006), “Diagnóstico de la política científica, tecnológica y de fomento a la innovación en México”, México.
- Geels, F. W. (2002), “Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: a Multi-Level Perspective and a Case-Study”, *Research Policy*, vol. 31, pp. 1257-1274.
- , y J. Schot (2007), “Typology of Sociotechnical Transition Pathways”, *Research Policy*, vol. 36, pp. 399-417.

- Geuna, A., A. Slater, y E. Steinmueller (eds.) (2003), *Science and Innovation, Rethinking the Rationales for Funding and Governance*, Edward Elgar, Massachusetts, p. 413.
- Gibbons, *et al.* (1994), *The New Production of Knowledge*, Sage, Londres.
- Godin, B., y Y. Gingras (2000), “The Place of Universities in the System of Knowledge Production”, *Research Policy*, vol. 29, pp. 273-278.
- Guston, David H. (2000), *Between Politics and Science: Assuring the Integrity and Productivity of Research*, Universidad de Cambridge, Cambridge.
- Hadjimanolis, A. (2003), “The Barriers Approach to Innovation”, en L. Shavinina (ed.), *The International Handbook on Innovation*, Elsevier Science, Oxford, pp. 559-573.
- Hessels, L., y H. van Lente (2008), “Re-Thinking New Knowledge Production: a Literature Review and Research Agenda”, *Research Policy*, vol. 37, pp. 740-760.
- Howells, J. (2006), “Intermediation and the Role of Intermediaries in Innovation”, *Research Policy*, núm. 35, pp. 715-728.
- Larédo P., y P. Mustar (2001), *Research and Innovation Policies in the New Global Economy*, Edward Elgar, Massachusetts.
- Martin, B. (2003), “The Changing Social Contract for Science and the Evolution of the University”, en A. Geuna, A. Slater y E. Steinmueller (eds.), *Science and Innovation. Rethinking the Rationales for Funding and Governance*, Edward Elgar, Massachusetts, pp. 7-29.
- Martínez, A., y J. Roca (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, Fondo de Cultura Económica / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México.
- , R. de Gortari, H. Vessuri, y A. Vega (eds.) (2012), *Apropiación social del conocimiento y aprendizaje: una mirada crítica desde diferentes ámbitos*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (Concyteg) / Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) / Plaza y Valdés, Guanajuato, p. 309.
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (2001), *Innovative Networks, Cooperation in National Innovation Systems*, París, p. 341.
- (2002), *Benchmarking Industry-Science Relationship*, OCDE, París.

- (2003), *Governance of Public Research. Toward Better Practices*, OCDE, París.
- Pérez, P. (2011), “Innovación y organismos intermedios en México: el caso de la biotecnología agrícola”, en D. Villavicencio, A. Martínez y P. López (coords.), *Dinámicas institucionales y políticas de innovación en México*, Plaza y Valdés, México.
- Pestre, D. (2013), *A contre-science, politiques et savoirs des sociétés contemporaines*, Seuil, París.
- Quintero R., y R. González (2009), “Biotecnología e innovación en México, ¿por qué ha pasado tan poco?”, en A. Martínez *et al.*, *Innovación y competitividad en la sociedad del conocimiento*, Plaza y Valdés, México, pp. 63-75.
- Robles-Belmont, E. (2012), “Progresión de las nanotecnologías en México: una perspectiva a partir de redes”, en G. Foladori, N. Invernizzi y E. Záyago (coords.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*, Universidad de Zacatecas / Porrúa, Zacatecas, pp. 163-180.
- , y R. de Gortari (2013), “Dynamics of the Emergence of Micro and Nanotechnologies in the Healthcare Sector in Mexico”, *Nanotechnology Law and Business*, vol. 10, núm. 1, pp. 54-64.
- Robles-Belmont, E., y D. Vinck (2012), “Organismos filantrópicos y no gubernamentales en el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías: el caso de las micro y nanotecnologías en México”, *Tecnología e Sociedade*, núm. 15, pp. 45-70.
- Roco, M., W. S. Bainbridge, B. Tonn y G. Whitesides (2013), *Convergence of Knowledge, Technology, and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Springer, Nueva York.
- Sánchez, G. (coord.) (2005), *Innovación en la sociedad del conocimiento*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla / UNAM, Puebla, p. 510.
- Santos, M. J. (ed.) (2003), *Perspectivas y desafíos de la educación, la ciencia y la tecnología*, UNAM, México, p. 405.
- Smits, R., y S. Kuhlmann (2004), “The Rise of Systemic Instruments in Innovation Policy”, *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, vol. 1, núm. 1/2, pp. 4-23.

- Sörlin, S., y H. Vessuri (eds.) (2007), *Knowledge Society vs Knowledge Economy: Knowledge, Power, and Politics*, Palgrave / Unión Astronómica Internacional (IAU) / UNESCO, Nueva York, p. 208.
- Stezano, Federico (2013), “Construcción de redes inter-organizacionales de transferencia de conocimiento e innovación en el sector de agro-biotecnología en México”, en J. Aboites y C. Díaz (coords.), *Innovación. Instituciones, redes y aprendizaje*, Porrúa / Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.
- (2012), “Construcción de redes de transferencia ciencia-industria en el sector de biotecnología en México”, *Revista Estudios Sociales*, vol. 20, núm. 39, pp. 9-38.
- Van der Meulen, B. (1998), “Science Policies as Principal-agent Games Institutionalization and Path Dependency in the Relation between Government and Science”, *Research Policy*, vol. 27, pp. 397-414.
- (2003), “New Roles and Strategies of a Research Council: Intermediation of the Principal-Agent Relationship”, *Science and Public Policy*, vol. 30, núm. 5, pp. 323-336.
- Villavicencio, D. (2009), “Recent Changes in Science and Technology Policy in Mexico: Innovation Incentives”, en J. M. Martínez (ed.), *Knowledge Generation and Protection. Intellectual Property, Innovation and Economic Development*, Economic Commission for Latin America and the Caribbean / Springer, Santiago de Chile, pp. 263-290.
- , 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*, Plaza y Valdés, México, pp. 175-199.
- , A. Morales, y M. Amaro (2012), “Indicadores y asimetrías sobre sociedad basada en el conocimiento en América Latina”, en *Perfiles Latinoamericanos*, vol. 20, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México, pp. 63-96.
- (2013), “Nuevas formas de organización del proceso de innovación”, en G. Carrillo (ed.), *Modelos de organización para la innovación*, Plaza y Valdés, México, pp. 109-134.

2. Panorama general de la biotecnología en México y el mundo

Mario Alberto Morales Sánchez y Marcela Amaro Rosales

*Introducción*¹

El objetivo de este capítulo es brindar un panorama general sobre la importancia de la biotecnología como un polo de desarrollo económico a nivel mundial, y al mismo tiempo identificar sus posibilidades de impulso. En el caso de México si bien la biotecnología es concebida como un conjunto de técnicas convergentes aplicadas con diferentes propósitos a los organismos vivos (como se verá más adelante) desde una perspectiva económica puede concebirse como un sector tecnológico en ciernes, con la capacidad potencial de modificar y reconfigurar algunos de los sectores económicos tradicionales.

Debido a que el uso extendido de las diversas técnicas que caracterizan a la biotecnología es considerado una ventana de oportunidad económica no sólo para los países que ya están volcados completamente a su desarrollo sino en aquellos con posibilidades de acceder a dichas técnicas, resulta de suma importancia estudiar las capacidades y limitaciones que tienen los países en vías de desarrollo como México, para aprovechar la apertura de este nuevo paradigma.

¹ Parte de la investigación sobre el sector de la biotecnología en México se realizó en el marco del proyecto Universidad Nacional Autónoma de México-Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (UNAM-PAPIIT) IN307116 “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano” por lo que los autores agradecen el apoyo proporcionado por la UNAM.

Considerando lo anterior, en este capítulo se mapean las capacidades científicas para la generación de conocimiento en materia de biotecnología, así como las capacidades tecnológicas para la generación de productos innovadores; además se muestran las principales características del marco regulatorio que rige estas actividades en el caso de México. Con esta información se espera dar una idea aproximada de las oportunidades y los retos que enfrentan las empresas mexicanas para realizar proyectos exitosos de innovación en el sector.

La estructura del presente capítulo es la siguiente: a continuación de esta introducción en el segundo apartado se ofrece una definición general de biotecnología, se especifican las características del sector biotecnológico y se destaca su importancia en términos económicos. En el tercer apartado se ofrece una panorámica de la biotecnología a nivel mundial en relación con los siguientes factores: algunas características relevantes de las empresas que componen el sector; el gasto en investigación y desarrollo (I+D), y el nivel de patentamiento. En el cuarto apartado se propone una caracterización del sector biotecnológico en México: se identifican las principales capacidades científicas para la generación de conocimiento (investigadores nacionales, matrícula de posgrado, centros de investigación, etcétera); se examinan las principales capacidades tecnológicas de las empresas (tipo de empresas, patentes, etcétera), y se presenta una breve explicación del marco institucional prevaleciente. Y por último se reflexiona, a manera de conclusión, sobre la información aportada en los apartados anteriores.

Relevancia actual de la biotecnología

La biotecnología moderna es una actividad multidisciplinaria conformada tanto por el conocimiento científico de frontera que proviene de diversas disciplinas científicas –biología molecular, ingeniería bioquímica, microbiología, genómica, inmunología y demás– como por nuevas técnicas básicas o genéricas derivadas de la ingeniería genética, como la fusión celular, el mapeo genético, la hibridación de ácidos nucleicos, la amplificación de genes, la bio-informática,

etcétera. El desarrollo actual de estas disciplinas científicas y técnicas especializadas ha facilitado el análisis integral de todos los sistemas biológicos, desde organismos unicelulares hasta organismos complejos como plantas y animales de todo tipo, incluido el ser humano.

En términos muy generales, la biotecnología ha sido definida como “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como también a sus partes, productos y modelos, con el fin de alterar materiales vivos o no vivos, para la producción de conocimiento, bienes y servicios” (OCDE, 2005). En el mismo sentido, Books (1995) propone que la biotecnología implica “la utilización de organismos vivos, o partes de los mismos, para obtener o modificar productos, mejorar plantas o animales o desarrollar microorganismos para objetivos específicos”. En la actualidad se denomina “ciencias de la vida” al conjunto amplio de disciplinas científicas y técnicas especializadas que permiten el análisis y manipulación de los seres vivos.

Debido a las aplicaciones actuales de la biotecnología, pero sobre todo a causa del gran potencial económico de los posibles usos del conocimiento generado por el estudio de los seres vivos, y sus derivados y particularmente en todas las actividades productivas basadas en procesos biológicos (OCDE, 1989), diversos especialistas han considerado que la biotecnología ofrece ventanas de oportunidad para la conformación de múltiples industrias relacionadas en países en vías de desarrollo, como México. Organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) han adoptado el término “bioeconomía” para referirse a las profundas implicaciones económicas y sociales que presenta este nuevo paradigma tecnológico emergente.

Por ejemplo, en el documento de la OCDE *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda* se plantea que la biotecnología puede desempeñar un papel muy importante en diversos aspectos económicos y sociales durante las próximas décadas. Esos cambios se relacionan principalmente con el abastecimiento de alimentos, agua, energía, salud y otros recursos y servicios. Otros estudios (OCDE, 2009; Cepal, 2009) plantean que la biotecnología podría convertirse en una de las tecnologías líderes del próximo ciclo de crecimiento económico

y parte crucial del nuevo paradigma tecnológico.² De acuerdo con la OCDE (2009), la base de la evolución futura de la bioeconomía depende de tres elementos fundamentales:

- profundizar en el conocimiento de los genes y de los procesos celulares complejos;
- el desarrollo de biomasa renovable, y
- la integración de las aplicaciones biotecnológicas en los diversos procesos industriales.

Partiendo de una perspectiva productiva, la biotecnología puede caracterizarse como un sector económico intensivo en conocimiento³ que presenta algunas características distintivas en comparación con otros sectores tradicionales:

Transversalidad. A diferencia de los sectores económicos tradicionales, la biotecnología no se integra en un conjunto de industrias estructuradas verticalmente a partir de una relación cliente proveedor;⁴ antes bien constituye un conjunto de conocimientos y técnicas que tienen múltiples impactos en numerosas industrias; es por ello un sector horizontal interrelacionado con diversos sectores tradicionales.

² Un paradigma tecnológico es el conjunto de procedimientos para resolver problemas relevantes y el conocimiento específico relacionado con esas soluciones. Es un modelo o patrón de solución para determinados problemas tecnológicos. Por lo tanto, un paradigma tecnológico determina la construcción de una heurística que dota de prescripciones dentro de la dirección propia del cambio tecnológico (Dosi, 1982).

³ De acuerdo con la taxonomía propuesta por Pavitt (1984), existen sectores económicos cuyas trayectorias de innovación se encuentran fuertemente ligadas al desarrollo del conocimiento dentro del paradigma científico vigente. En este tipo de sectores es fundamental la actividad de investigación y desarrollo que se realiza tanto dentro de las empresas como en universidades y centros públicos de investigación. Además de la biotecnología, en la actualidad existen otros sectores con estas características: la nanotecnología, las tecnologías ambientales y el desarrollo de nuevos materiales, entre otros.

⁴ Piénsese en la industria automotriz, por ejemplo.

Convergencia cognitiva. El despliegue moderno de la biotecnología ha implicado la convergencia de distintas disciplinas científicas y tecnológicas, el desarrollo de la biotecnología como sector económico requiere la generación y difusión de conocimiento científico y tecnológico, lo que tiende a fomentar una dinámica intensa de colaboración entre empresas y otras organizaciones generadoras de conocimiento.

Centralidad de los recursos humanos. En relación con el inciso anterior, lograr una amplia difusión de las aplicaciones biotecnológicas en el ámbito productivo implica la necesidad creciente de contar con recursos humanos especializados en los diversos espacios necesarios para el despliegue amplio de la biotecnología; es por ello que el fortalecimiento de las instituciones de educación superior (IES) y de los centros de investigación (CPI) resulta crucial. Lo que es importante destacar en este punto es que el despliegue de la biotecnología como sector económico implica y exige el desarrollo paralelo de un sector educativo de alto nivel que prepare al personal adecuado con un grado de integración superior al de cualquier otro sector económico tradicional.

Intensificación de la relación costo-beneficio. Debido a los altos niveles de colaboración entre los ámbitos científico, tecnológico e industrial, en los últimos años los costos de investigación y desarrollo (I+D) en diversos campos de la biotecnología han decrecido considerablemente en relación con la década pasada. Se considera que los procesos colaborativos entre las instituciones de educación superior y las empresas serán cada vez más frecuentes e influirán en la reducción de costos. Además, las nuevas aplicaciones industriales y la tasa de cambio tecnológico a nivel empresarial se han potenciado gracias al constante desarrollo y expansión de los conocimientos y las aplicaciones científicas de la biotecnología.

Se espera que la convergencia de conocimiento científico y tecnológico en el desarrollo de las llamadas “ciencias de la vida” tienda a generar grandes oportunidades de inversión, debido principalmente al incremento de la población mundial y del ingreso per cápita en los países desarrollados. Existe la posibilidad de que países como México –con una gran tradición de investigación en áreas vinculadas a la biotecnología, y con recursos humanos altamente capacitados en dichas áreas (véase más adelante)– puedan insertarse en la dinámica

de desarrollo del actual paradigma, accediendo así a un conjunto amplio de oportunidades para el desarrollo económico.

Existen amplias expectativas con respecto al perfeccionamiento, ampliación y diversificación de los usos potenciales de estas nuevas tecnologías; sin embargo, los impactos económicos y sociales de la biotecnología son ya una realidad tangible, como lo demuestra un informe realizado por Battelle Technology Partnership Practice⁵ (2011) y cuyos principales resultados se citan a continuación.⁶

Medicina y salud humana

Una de las consecuencias más importantes de la secuenciación completa del genoma humano consiste en la posibilidad de identificar de mejor manera los procesos y mecanismos que dan lugar al desarrollo de diversos trastornos hereditarios y enfermedades, con miras a ofrecer mejores métodos para evitarlos o combatirlos de manera eficaz. Por tales motivos la medicina genómica⁷ puede contribuir en gran medida al incremento de la calidad de vida de la población, lo que repercute de manera directa en la productividad laboral de los individuos. Las principales áreas de inversión relacionadas con la salud humana son:

⁵ Battelle Technology Partnership Practice es una organización sin fines de lucro dedicada a labores de investigación y desarrollo a nivel mundial. Para más información sobre esta organización puede consultarse la siguiente dirección electrónica: <<http://www.battelle.org/>>.

⁶ Los siguientes cuatro incisos provienen, con algunas modificaciones, de Morales (2014).

⁷ De acuerdo con el Inmegen, la medicina genómica tiene como objetivo principal identificar las variaciones genéticas de los individuos con el fin de reconocer la predisposición a cierto tipo de enfermedades, así como disminuir las complicaciones y secuelas asociadas con las mismas. Existen dos campos principales de la medicina genómica: la nutrigenómica, que estudia los efectos de los alimentos ingeridos en el genoma, y la farmacogenómica, que estudia las reacciones de los individuos a cierto tipo de medicamentos, con el fin de diseñar fármacos más específicos en dosis adecuadas. Véase <<http://www.inmegen.gob.mx/>>.

- desarrollo de nuevas vacunas;
- el descubrimiento de nuevos medicamentos y el despliegue de la farmacogenómica, es decir, de la medicina personalizada que utiliza la información genómica del paciente para asegurar el uso del medicamento adecuado y sus dosis precisas;
- la generalización de herramientas para realizar diagnósticos a nivel molecular, lo que se encuentra en estrecha relación con la farmacogenómica, ya que diversas compañías biotecnológicas han desarrollado herramientas de diagnóstico para detectar la presencia de biomarcadores en pacientes, los cuales identifican la vulnerabilidad a ciertas enfermedades;
- la implementación de la medicina regenerativa basada en el uso de células madre;
- terapias basadas en genes, las cuales son procesos mediante los que se introducen genes correctivos⁸ en algunas células de pacientes con diversos propósitos: evitar un mal funcionamiento celular, adherir una nueva función en las células, o bien, en el caso de algunas enfermedades como el cáncer, lograr que ciertas células mueran;
- combate en contra de las enfermedades infecciosas mediante la secuenciación del genoma de distintos organismos patógenos, con el objetivo de detectar y combatir los genes que producen los cuadros de infección.

Medicina veterinaria y ciencia animal

A partir del proyecto de secuenciación del genoma humano ha sido posible secuenciar también el genoma de una gran cantidad de organismos vivos. Actualmente se cuenta con el genoma completo de algunos mamíferos y la secuenciación de otras especies se encuentra en un proceso muy avanzado. Las

⁸ Lo cual se logra a través de diferentes procesos, como la modificación de virus para introducir información nueva en las células o la introducción de lípidos artificiales que contienen nuevo ADN.

áreas de oportunidad en la medicina veterinaria son muy similares a las que se han detectado en el caso de la salud humana. Éstas pueden ser:

- diagnósticos a nivel molecular;
- vacunas basadas en ADN (ácido desoxirribonucleico);
- métodos para establecer el pedigrí y lograr el mejoramiento gradual de las especies;
- identificación y caracterización de enfermedades en diversas especies;
- medicina genómica; etcétera.

Un área de oportunidad muy importante resulta ser un híbrido en que se combinan la medicina y la veterinaria, ya que la secuenciación del genoma de cada vez mayor cantidad de mamíferos permite realizar estudios compartidos acerca de la evolución o funcionalidad de determinados genes en diversos organismos, lo cual puede significar un avance sustancial en el desarrollo de tratamientos genómicos para seres humanos y de otras especies.

Estos avances tendrán una repercusión económica importante: no sólo traerán consecuencias benéficas para la salud y el mantenimiento de los animales domésticos (sean éstos de compañía o de trabajo); también mejorarán a las especies de consumo humano, logrando que sean más resistentes a las enfermedades, más adaptables a climas extremos, entre otros beneficios. Deben considerarse también los posibles servicios ambientales de la secuenciación del genoma de especies salvajes, ya que puede contribuir a su preservación.

Agricultura y alimentos

Actualmente el impacto de las diversas técnicas biotecnológicas en la agricultura está quizá más extendido que en el sector de la salud. A partir del uso de organismos genéticamente modificados, las diversas variedades de cultivos han sido mejoradas tanto en sus características de “entrada” (mayor eficiencia ante el uso de fertilizantes, tolerancia a medicamentos, resistencia a las plagas, etcétera) como en sus características de “salida” (contenido nutricional, cantidad de biomasa, etcétera). Este proceso de mejoramiento en las condiciones de

cultivo ha sido llamado “revolución verde” y fue posible gracias al avance de la biología genómica y molecular. Hoy en día no sólo es posible mejorar genéticamente las diversas variedades de cultivos; también se puede evaluar el impacto nutrimental que tendrán en cada individuo de acuerdo con sus características genéticas.

Las principales áreas de impacto son:

- realización de diagnósticos a nivel molecular;
- mejoramiento y salud del ganado;
- nuevas tecnologías para el procesamiento de alimentos;
- el despliegue de la bio-farmacéutica;
- obtención de alimentos funcionales en términos nutrimentales, y
- mejoramiento de las condiciones de “entrada” y de “salida” de los cultivos.

Los beneficios económicos que se están obteniendo en las áreas anteriores son muy diversos; por ejemplo, se han incrementado los rendimientos agrícolas y de la productividad de los cultivos mediante el desarrollo de herbicidas selectos y la resistencia a ciertas enfermedades; y se han incrementado los rendimientos del ganado mediante los siguientes factores: el aumento del contenido de carne o de nutrientes; la reducción de grasa, y el desarrollo de técnicas para una mejor reproducción. Adicionalmente, el desarrollo de especies vegetales que utilizan menor cantidad de herbicidas o de agua contribuye a un mejor cuidado del medio ambiente.

Biotecnología industrial

Un ejemplo de los posibles usos de la biotecnología a nivel industrial es el estudio molecular de las propiedades de diversos organismos, especialmente microbios, los cuales muestran sorprendentes habilidades para desarrollarse en condiciones extremas (ambientes muy fríos, muy cálidos, con alta presión, ambientes radioactivos, etcétera). Estas mismas condiciones son las que se observan generalmente en muchos de los procesos industriales usados en

la actualidad. Los científicos han adaptado las capacidades evolutivas de un gran número de microorganismos a diferentes procesos industriales: procesos químicos y producción de biocombustibles; procesamiento de alimentos; producción farmacéutica y de vitaminas, y fabricación de biomateriales, como los plásticos. Debido a la alta variedad de microorganismos que existen en nuestro planeta (su número se estima en millones), la secuenciación de cada vez mayor cantidad de material genético en muchas especies animales y vegetales contribuirá de manera significativa al desarrollo de la industria con soporte en biotecnología.

En síntesis, se puede afirmar que la biotecnología ha ejercido una influencia crucial en el desempeño de un número creciente de áreas productivas; de ahí que sea imprescindible resaltar su importancia, especialmente en países en vías de desarrollo como México. La biotecnología ofrece grandes oportunidades para solucionar problemas tecnológicos con un alto impacto potencial en la economía y en las condiciones de vida de la sociedad.

Panorama general de la biotecnología en el mundo

Dada la importancia creciente de la biotecnología como motor potencial del crecimiento económico, cabe preguntarse cómo se encuentra configurado en la actualidad el sector biotecnológico en el mundo. De acuerdo con los datos más recientes publicados por la OCDE,⁹ Estados Unidos es el país con mayor desarrollo en este sector; no sólo por el número de empresas sino también por el monto de inversión privada que se ejecuta cada año.

Los datos más recientes con que cuenta la OCDE para Estados Unidos, son de 2012 (para otros países de la muestra son de 2013). Ese año dicho país contaba con el mayor número de empresas biotecnológicas (11 367), muchas más que cualquier otro país de la muestra. Para la OCDE las empresas biotecnológicas son aquellas que usan la biotecnología para producir bienes y/o servicios, así como aquellas que realizan actividades de I+D en biotecnología. En

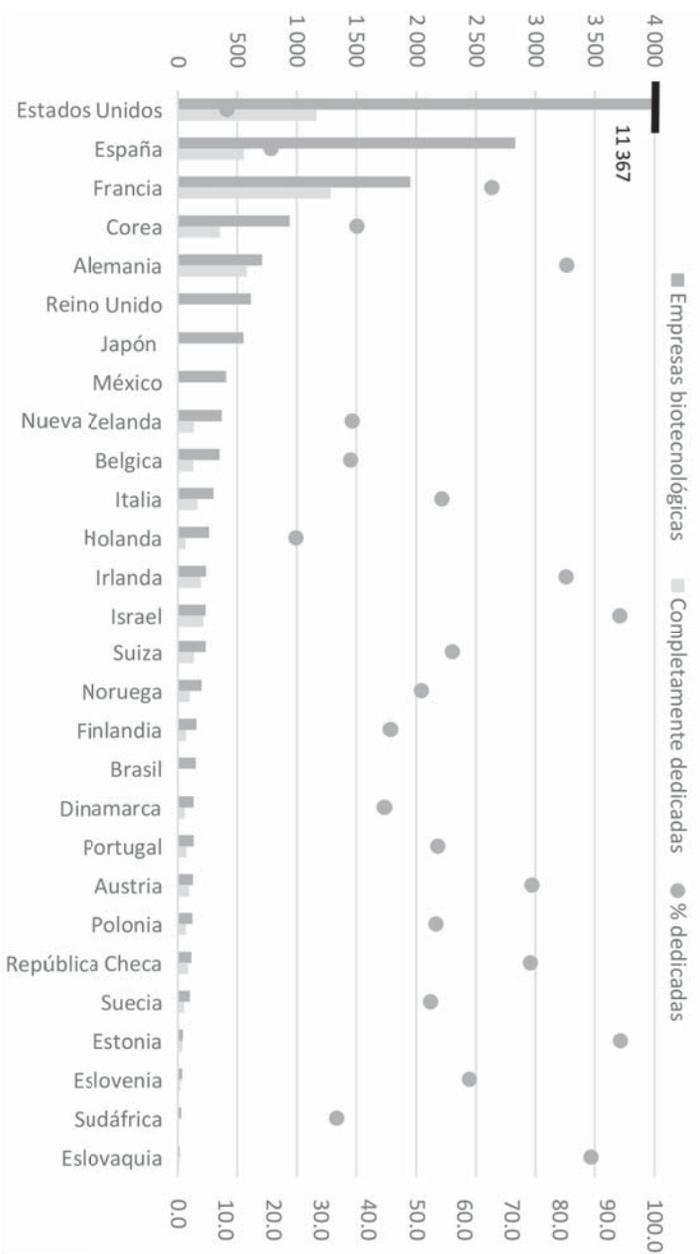
⁹ Disponibles en <<http://www.oecd.org>>.

el caso de Estados Unidos, poco más de 10 % de las empresas biotecnológicas se dedican completamente a realizar actividades relacionadas con la biotecnología (las empresas de este tipo son aquellas que dedican al menos 75 % de sus actividades al desarrollo de actividades biotecnológicas).

En orden de importancia, en cuanto al número de empresas biotecnológicas, figuran los siguientes países: España (2 831 empresas); Francia (1 950 empresas); Corea (939 empresas), y Alemania (709 empresas). Ninguno de ellos se acerca siquiera al número de empresas con que cuenta Estados Unidos (véase gráfica 1). A pesar de que países como Israel, Alemania e Irlanda cuentan con altos porcentajes de empresas dedicadas completamente a actividades biotecnológicas en relación con el total de empresas en biotecnología (92.7 %, 81.5 % y 81.4 %, respectivamente), en números absolutos Estados Unidos cuenta con más empresas dedicadas completamente a este tipo de actividades, pese a que su porcentaje es inferior: 1 165 empresas, comparadas con 578 en Alemania, 554 en España y 216 en Israel. En esta muestra México aparece en la octava posición, con 406 empresas (contabilizadas entre 2010 y 2011) que realizan “alguna actividad en biotecnología”, aunque no existe el dato de las empresas dedicadas completamente a actividades biotecnológicas. No obstante, la OCDE reconoce que este dato está sobrestimado porque sólo considera dos años (puede haber un problema de contabilidad doble) y no toma en cuenta la posible salida de empresas de un año para otro.

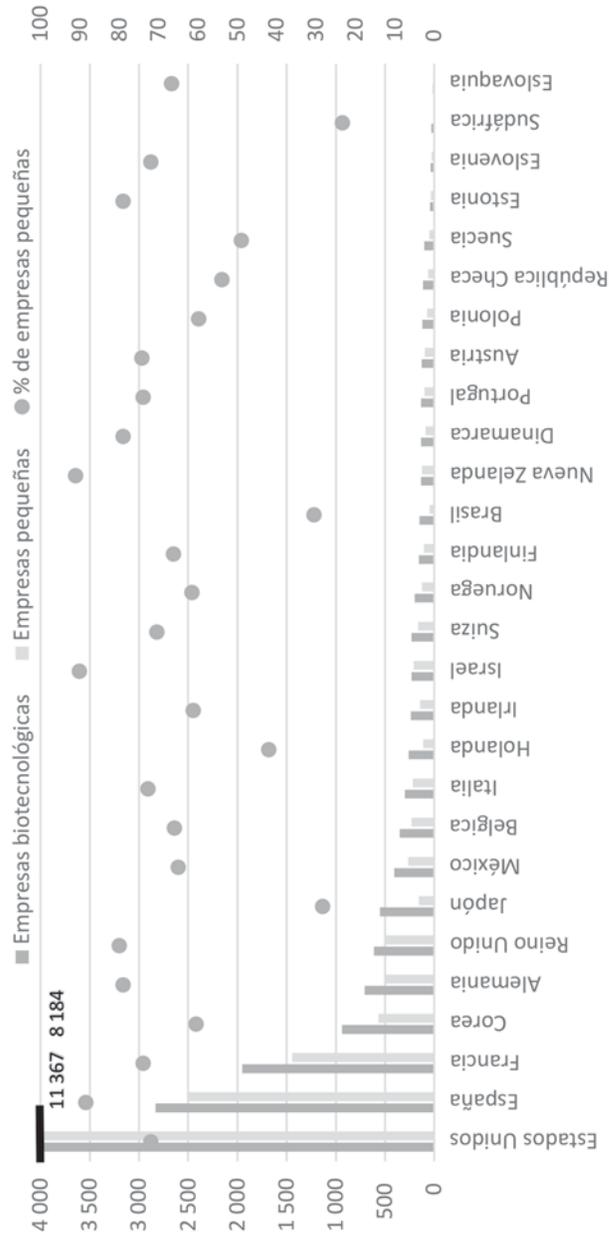
El hecho de que algunos países dispongan de un elevado porcentaje de empresas completamente dedicadas a la biotecnología en relación con el total de empresas biotecnológicas, implica que han encontrado nichos de especialización que les han permitido insertarse en la dinámica de este paradigma tecnológico emergente. Por su parte, el caso de los países que, como Estados Unidos, cuentan con un porcentaje bajo de empresas completamente dedicadas a estas actividades pero con un amplio número de empresas que usan técnicas biotecnológicas como parte de sus procesos productivos habituales, conduce a pensar que han logrado una integración cada vez más sólida entre la biotecnología como sector transversal y los sectores económicos tradicionales, ampliando con ello el mercado y los potenciales usos de estas tecnologías.

GRÁFICA 1
Número de empresas activas en biotecnología 2013 o último año disponible en varios países



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la OCDE.

GRÁFICA 2
 Porcentaje de empresas biotecnológicas pequeñas 2013 o último año disponible en varios países



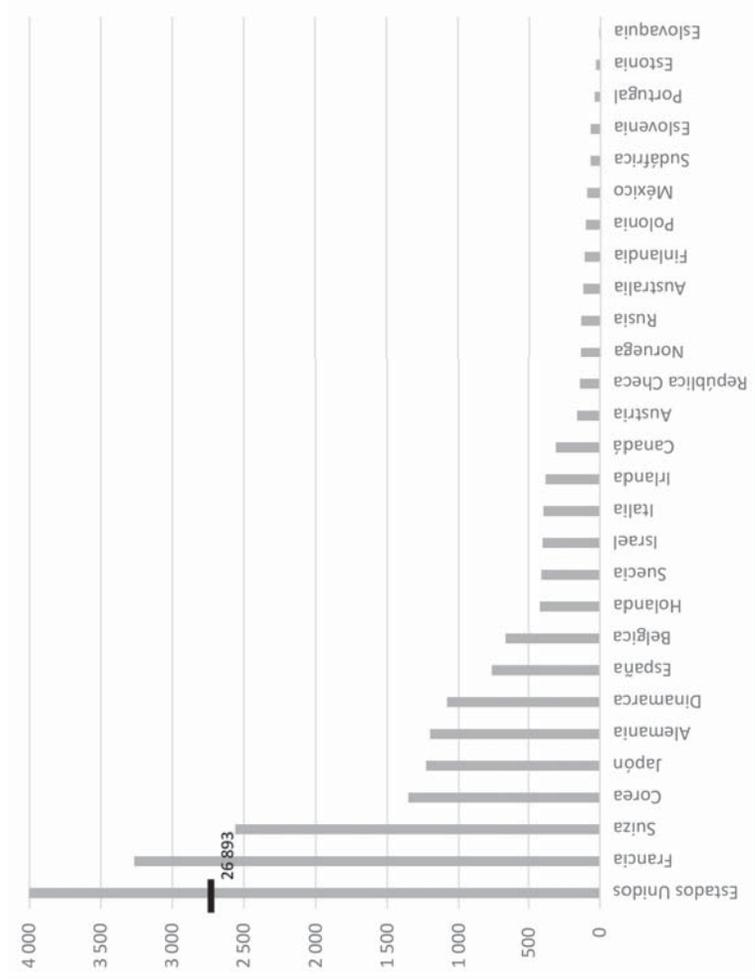
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la OCDE.

Otro aspecto relevante que se desprende de los datos anteriores es que, en los países considerados en la muestra, un porcentaje muy importante de empresas biotecnológicas son pequeñas (con menos de 50 empleados). Los datos pueden observarse en la gráfica 2.

Por ejemplo, en Estados Unidos, 72 % del total de las 11 367 empresas biotecnológicas son pequeñas; en España, el 88.5 %; en Francia, el 73.9 %; en Corea, el 60.5 %, y en Alemania el 79 %, por mencionar sólo los países más importantes en cuanto al número de empresas biotecnológicas. Lo que muestran estos datos es que las empresas pequeñas tienen un papel muy importante en el despliegue del nuevo paradigma tecnológico. Por lo general, cuando se habla del sector biotecnológico se piensa en grandes empresas transnacionales que dominan segmentos importantes de las cadenas de valor. Aunque estas empresas ciertamente existen en algunos subsectores como el agrícola o el farmacéutico, dado el carácter transversal del sector, existe un amplio margen para que empresas emergentes puedan competir en nichos de mercado en los que cuentan con mejores capacidades científicas y tecnológicas, lo cual confiere un dinamismo especial al sector en su conjunto, ya que permite ventanas de oportunidad para la participación de nuevos agentes.

La importancia del mercado estadounidense para el desarrollo de la biotecnología no sólo depende del número de empresas sino también del monto total de gasto en las actividades de I+D que realizan. Al ser la biotecnología un sector intensivo en conocimiento, la competitividad de las empresas depende en gran medida de las capacidades de innovación que logren desarrollar. Estas últimas se incrementan a medida que las empresas destinan mayores recursos para actividades de I+D. En la gráfica 3 se muestra el gasto en I+D en países de la OCDE medido en millones de dólares PPA (Paridad de Poder Adquisitivo). Se observa que el sector privado en Estados Unidos mantiene el gasto más importante en el desarrollo tecnológico, y su monto es mucho más elevado que el de cualquier otro país considerado en esta muestra.

GRÁFICA 3
*Gasto en I+D en el sector biotecnológico por el sector empresarial
 (millones de dólares paridad de poder adquisitivo) 2013 o último año disponible en varios países*



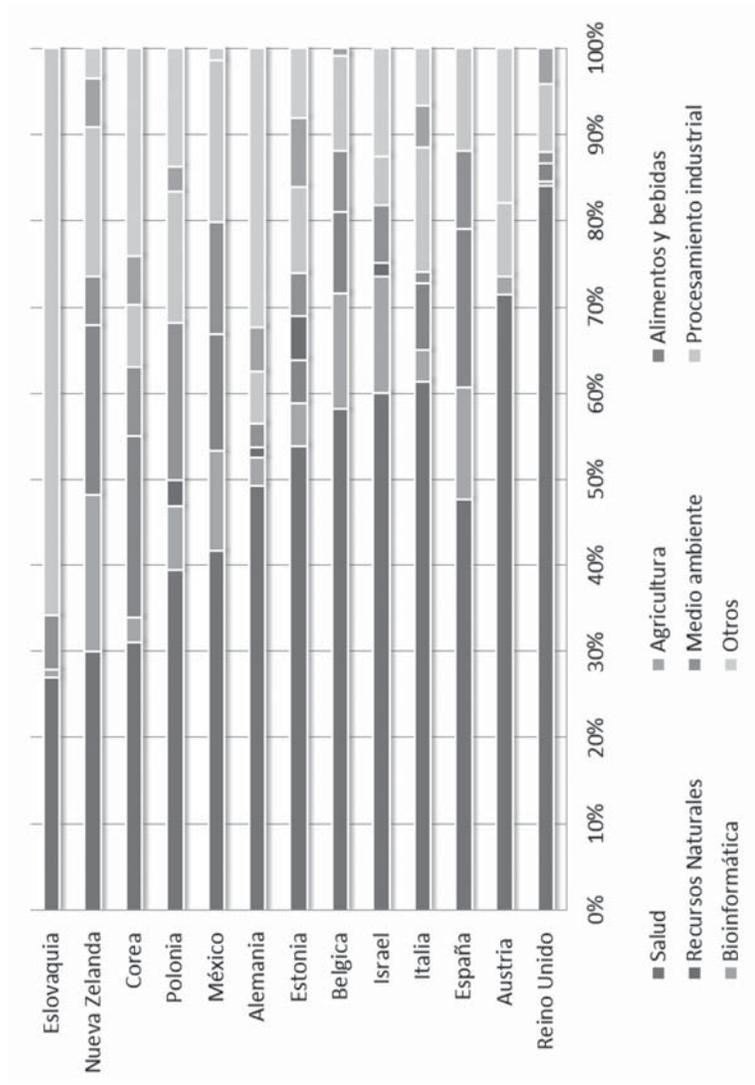
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la PPA.

Por otra parte, al considerar las áreas donde existen más empresas biotecnológicas en aquellos países en los que hay información disponible, se observa que el área de la salud es la de mayor desarrollo hasta el momento en términos agregados (gráfica 4). En países como Reino Unido representa el 84 % de toda la actividad biotecnológica que realizan las empresas. En segundo lugar, considerando el dato agregado, se encuentra el área de procesamiento industrial; aunque si se suprime de la muestra un dato atípico como Eslovenia, otras áreas como la agrícola cobran mayor relevancia. En tercer lugar se encuentra el área de alimentos y bebidas: países como España, Corea y Nueva Zelanda concentran en ella una parte importante de su industria, aunque en ningún caso supera el 30 %. Las áreas con menor peso en esta muestra son, en orden de importancia, recursos naturales, bioinformática y medio ambiente. México muestra una tendencia similar a la de los otros países: el área de la salud es la que cuenta con un mayor número de empresas, seguida por las áreas de procesamiento industrial y alimentos y bebidas.

En parte, los resultados de una mayor inversión en I+D se reflejan en un mayor número de patentes registradas por residentes estadounidenses en las cinco principales oficinas de patentes en el mundo (gráfica 5).¹⁰ Aunque el número de patentes por sí mismo no constituye un indicador que refleje todo el conocimiento tecnológico que se desarrolla en el sector, sí representa una de las mejores aproximaciones para identificar ciertas capacidades tecnológicas, sobre todo en sectores intensivos en conocimiento y relacionados directamente con las actividades científicas, como es el caso de la biotecnología (Jaffe, 1986). El número de patentes también es una muestra del grado de desarrollo de los mercados tecnológicos en los diversos países: se espera que muchas de las invenciones patentadas capturen oportunidades comerciales en los países donde se registran.

¹⁰ Las cinco oficinas principales para el registro de patentes son las de Estados Unidos, Europa, Japón, Corea y China.

GRÁFICA 4
*Porcentaje de empresas dedicadas completamente a la biotecnología
 por área de aplicación 2013 o último año disponible*



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la OCDE.

GRÁFICA 5
Porcentaje de patentes por país en las cinco principales oficinas de propiedad intelectual, 2010-2013



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la OCDE.

En la gráfica 5 se aprecia que Estados Unidos es el país con mayor número de patentes en el sector biotecnológico, y que la diferencia con respecto a los demás países de la muestra es considerable. Las organizaciones residentes en dicho país (principalmente empresas, pero también centros de investigación, universidades, agencias gubernamentales, etcétera) concentran 37 % de todas las patentes que se registran en las principales oficinas del mundo. Los 28 países que integran la Unión Europea en conjunto no llegan a ese porcentaje (sólo concentran 29 %), y el país que más se acerca al primer lugar es Japón, con el 11.5 %. El caso de China, país que ha tenido un crecimiento espectacular en cuanto al número de patentes registradas en los últimos años, constituye apenas el 3 % de la producción mundial de conocimiento con base en patentes en el sector biotecnológico. Por su parte, México es un país completamente marginal en este ámbito, ya que sólo cuenta con el 0.1 % de todas las patentes que se registran a nivel global en dicho sector.

A partir de los datos presentados hasta aquí, es posible formular una conclusión preliminar que parece contradictoria: a pesar de que el sector biotecnológico se encuentra en una etapa emergente donde aún no se han desarrollado todas las potencialidades esperadas (todavía es posible que empresas pequeñas y países en vías de desarrollo se inserten en la dinámica de generación de valor), se observa ya una concentración cada vez más importante del conocimiento tecnológico en el país núcleo de este nuevo paradigma –Estados Unidos– y en unos pocos países más. Esto último propende a convertirse en una barrera importante que, en un futuro cercano, impedirá la entrada y la integración de nuevos agentes. En este contexto, los países en vías de desarrollo como México, deben incrementar sus esfuerzos para insertarse lo más rápido posible en la dinámica del nuevo paradigma; de lo contrario, con el paso del tiempo será más difícil lograr dicha inserción. Por eso nos preguntamos cuál es la situación de México en cuanto a la conformación de capacidades científicas y tecnológicas en el ámbito de la biotecnología. Tema que abordaremos en el siguiente apartado.

El desarrollo de la biotecnología en México

En México la biotecnología ha sido considerada como un sector prioritario dentro de los planes y programas de ciencia, tecnología e innovación (CTI)

a nivel federal¹¹ y, en algunos casos a nivel, estatal. Si bien existe un interés manifiesto en el sector biotecnológico, es importante delinear una estructura capaz de brindar un soporte eficaz al desarrollo potencial del sector. Entre las características específicas con que debe contar dicha estructura, figuran las siguientes: un importante cúmulo de recursos humanos especializados; organismos regulatorios; empresas con potencial de inversión, y mecanismos de financiamiento. En este apartado se presentan algunos datos actuales que nos ayudarán a formarnos una idea de las fortalezas y debilidades de dicho sector.¹²

Empresas

Con respecto al número de empresas mexicanas en biotecnología, no existen datos precisos ni estimaciones claras al respecto, ya que el sector biotecnológico no es considerado como tal en las estadísticas industriales publicadas por las dependencias gubernamentales y las estimaciones realizadas por otras entidades no son del todo exactas.

Como se mencionó anteriormente, los datos que presenta la OCDE (alrededor de 400 empresas) tienen sesgos considerables; quizá el más importante es que se toman en cuenta empresas “con alguna actividad biotecnológica”, y no empresas biotecnológicas como tales, por lo que, por ejemplo, una empresa de bebidas que realiza algún tipo de fermentación pudiera entrar en esta categoría. La estimación que realiza Trejo (2010) también considera empresas que desarrollan biotecnología y empresas usuarias o consumidoras de productos y/o ingredientes biotecnológicos. En su estudio se identificaron alrededor de 303 empresas biotecnológicas en diversos sectores industriales: farmacéutico (36 %); agrobiotecnología (21 %); biotecnología alimentaria (14 %); fermentaciones y productos biológicos (8 %); pecuario (6 %), y ambiental (5 %).

¹¹ Véase el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001-2006, Poder Ejecutivo Federal, México, y el Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2007-2012, Poder Ejecutivo Federal, México.

¹² Los datos de esta sección fueron presentados en la ponencia de Amaro y Morales (2015).

Estimaciones propias cuyo objetivo es determinar el número de empresas biotecnológicas (aquellas cuya actividad principal o donde una de las actividades principales es el desarrollo de productos biotecnológicos) que operan en México, arrojan un número considerablemente menor. Estas estimaciones se hicieron dando un seguimiento puntual, mediante entrevistas y encuestas, a las empresas registradas en otros trabajos, como los mencionados anteriormente. En este ejercicio identificamos 53 empresas que desarrollan productos biotecnológicos en México. Si bien este dato puede estar subestimado porque el método utilizado no es exhaustivo, es muy probable que la masa crítica empresarial para el desarrollo de productos biotecnológicos sea muy reducida, lo cual limita la construcción de capacidades tecnológicas y de innovación en el país.

Si se considera la actividad innovadora de las empresas mexicanas a través de la obtención de patentes, los resultados son aún más precarios. Al analizar los últimos cinco años¹³ se encontraron apenas 12 empresas mexicanas con patentes registradas en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), y sólo cinco empresas mexicanas con registros de patentes en la Oficina de Patentes de Estados Unidos (USPTO, por sus siglas en inglés).¹⁴

Si bien, como se ha mencionado, las patentes son un indicador imperfecto de las actividades de innovación que realizan las empresas, en el caso de sectores intensivos en conocimiento, como la biotecnología, las patentes revisten un interés particular, porque son una de las principales estrategias de competencia en el mercado mundial. Aunque no toda la actividad inventiva se registra en patentes, pero mientras más importante sea la primera, mejores resultados se tendrán en la obtención de las segundas. A juzgar por los datos presentados aquí, existe un rezago muy grande en el sector empresarial por lo que toca al desarrollo de capacidades de innovación en el sector.

¹³ 2015 no forma parte de este análisis porque los registros de patentes para este año cerraron después de la entrega de este artículo.

¹⁴ La búsqueda se realizó de acuerdo con las tecnologías propuestas por la OCDE para el sector con base en la Clasificación Internacional de Patentes (véase Morales y Amaro, 2015).

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

<i>Empresa</i>	<i>Número de patentes en Impi</i>	<i>Empresa</i>	<i>Número de patentes en Uspto</i>
TGT Laboratories	4	Laboratorios Silanes	10
Prolec-Ge Industrias	1	Boehringer Ingelheim Vetmedica	4
Laboratorios Silanes	2	Instituto Bioclon	3
Metco	2	TGT Laboratories	3
Boehringer Ingelheim Vetmedica	1	Cosmocel	1
Laboratorio Avi-Mex	1	Iasa	1
Empacadora San Marcos	1		
Impulsora Nacional De Innovación Tecnológica	1		
Cryoinfra	1		
Sigma Alimentos	1		
Asepro Ecología	1		
Alternativas Bioenergéticas	2		

Fuente: elaboración propia.

Recursos humanos e instituciones de investigación

La situación anterior contrasta de manera clara con otra parte importante del sector: la relacionada con la producción de conocimiento científico. Como ya se ha mencionado, los avances tecnológicos en el sector se encuentran fuertemente ligados con la producción del conocimiento científico susceptible de tener alguna aplicación industrial. Por tal motivo resulta de interés establecer cuáles son las condiciones de dicha producción científica.

En primer lugar, es preciso destacar que México cuenta con grandes e importantes universidades públicas que realizan una parte considerable de la investigación en biotecnología. Los principales establecimientos de enseñanza superior en el país son, en orden de importancia, los siguientes: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que cuenta con el Instituto de Biotecnología (IBT), el Centro de Ciencias Genómicas, el Instituto de Bioquímica, el Instituto de Biología, y las facultades relacionadas con el área, como la Facultad de Biología, la Facultad de Química y la Facultad de Medicina. En segundo lugar se encuentra el Instituto Politécnico Nacional (IPN), donde se ubican el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), el Centro de Biotecnología Genómica (CBG) y el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (Ceprobi). Una mención especial merece el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), también del IPN. Este Centro realiza importantes investigaciones en biotecnología, especialmente en el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio), el cual goza de un amplio prestigio por sus investigaciones en ingeniería genética, en biotecnología de plantas y en bioquímica, entre otras disciplinas.

Otra de las instituciones relevantes es la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), cuya División de Ciencias Biológicas y de la Salud desarrolla investigación relacionada con la biotecnología. Dicha División está integrada por el Departamento de Biología, el Departamento de Biología de la Reproducción, el Departamento de Biotecnología, el Departamento de Ciencias de la Salud, el Departamento de Hidrobiología, el Departamento de Producción Agrícola y Bioanimal, y el Departamento de Procesos y Tecnología.

Existen áreas de investigación destacadas en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM): el Centro de Investigación en Biotecnología; el Centro de Investigaciones Biológicas, y el Centro de Investigaciones Químicas. Y entre las universidades privadas merece especial atención el Tecnológico de Monterrey (TEC), en cuyo Centro de Biotecnología se trabajan las siguientes líneas de investigación: ingeniería en bioprocesos; biotecnología; farmacéutica médica; químico-biológica, y biotecnología de alimentos.

La actividad de éstas y otras instituciones de educación superior en el país se complementa con la de los Centros Públicos de Investigación (CPI) relacionados con la biotecnología, los cuales realizan investigación básica y aplicada en un amplio conjunto de líneas temáticas. La estructura de los CPI en el país está conformada por dos tipos de centros: los que dependen de alguna secretaría de Estado, y los que pertenecen al Conacyt. Los primeros suman once; tres de ellos tienen relación con la biotecnología agrícola, la alimentaria y la medioambiental: el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y el Colegio de Posgraduados (Colpos); tres más pertenecen al área de la salud: el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP); el Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán (INNSZ), y el Instituto Nacional de Medicina Genómica (Inmegen), los cuales destacan por sus importantes investigaciones relacionadas con la biotecnología aplicada a dicho sector. Por su parte, los centros del Conacyt relacionados con la biotecnología se presentan en el cuadro 2.

La actividad conjunta de las instituciones mencionadas ha dinamizado de manera excepcional el campo de la biotecnología en México, no sólo mediante la generación de conocimiento científico y tecnológico sino también a través de la formación de recursos humanos altamente calificados. Dicha formación estuvo a cargo de un amplio conjunto de investigadores a nivel nacional.

CUADRO 2
Centros Públicos de Investigación Conacyt relacionados con la Biotecnología

Área	Centro
	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD)
	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)
	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C (CICESE)
Ciencias Exactas y Naturales	Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C (CICY)
	Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT)
	Instituto de Ecología A.C. (INECOL)
	Instituto Potosino de Investigación Científica (IPICYT)
	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC)
	Centro de Tecnología Avanzada A.C. (CIATEQ)
Desarrollo Tecnológico	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)
	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C. (CIDETEQ)
	Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Conacyt, 2015.

Una parte importante del personal encargado de la formación de los recursos humanos en el país está conformada por la comunidad del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), los cuales han pasado por una evaluación de pares que han reconocido su calidad académica. Gran parte de la investigación que realizan dichos investigadores se encuentra en la frontera del saber humano y tiene potenciales impactos en los ámbitos económico y social. En la gráfica 6 se aprecia la evolución de los investigadores del SNI en el área de biotecnología (área 6) en comparación con las otras áreas que componen dicho sistema. A pesar de que en términos absolutos hay más investigadores en otras áreas, durante el periodo señalado el número de investigadores en biotecnología ha crecido en forma considerable. Esto resulta significativo si se considera que es un área emergente y relativamente nueva en comparación con las demás. Aunque resultaría importante contar con una estimación del conjunto de investigadores que no pertenecen al SNI, no existe ningún instrumento que arroje información al respecto.

El aumento considerable de investigadores en biotecnología y en áreas relacionadas se complementa con el aumento de la matrícula de los alumnos en todos los niveles. El aumento más importante se registra a nivel licenciatura (gráfica 7): en 2008 había sólo 3 142 alumnos matriculados en carreras de biotecnología, pero esta cifra se triplicó en sólo cinco años, de modo que en 2012 eran 10 998 los alumnos registrados. Este aumento se debe en gran parte a que el incremento de investigadores ha repercutido en la apertura de más licenciaturas relacionadas con la biotecnología en cada vez más universidades a nivel nacional.

Si se considera el caso de la matrícula de posgrado (gráfica 8), vemos que ha presentado también un incremento significativo: pasó de 842 alumnos en 2008 a 1 363 en 2012. Aunque el aumento del número no es tan grande como el de los alumnos de licenciatura, ha implicado una ampliación de la infraestructura académica en diversas instituciones públicas y privadas en el país. Al presentar las cifras de posgrado desglosadas (gráfica 9), se observa que la matrícula de doctorado es la que más ha crecido en términos absolutos y relativos, con un ligero decremento en el último año. La matrícula de maestría muestra también una caída en este último año, aunque más pronunciada después de una tendencia creciente durante los otros años. Estas caídas han sido compensadas con un incremento considerable de la matrícula en especialidad, la cual aumentó 10 veces en un solo

año. Se espera que el empuje de las nuevas generaciones de alumnos de licenciatura tienda a nutrir considerablemente los posgrados existentes y los de nueva creación, consolidando con ello la formación de recursos humanos calificados.

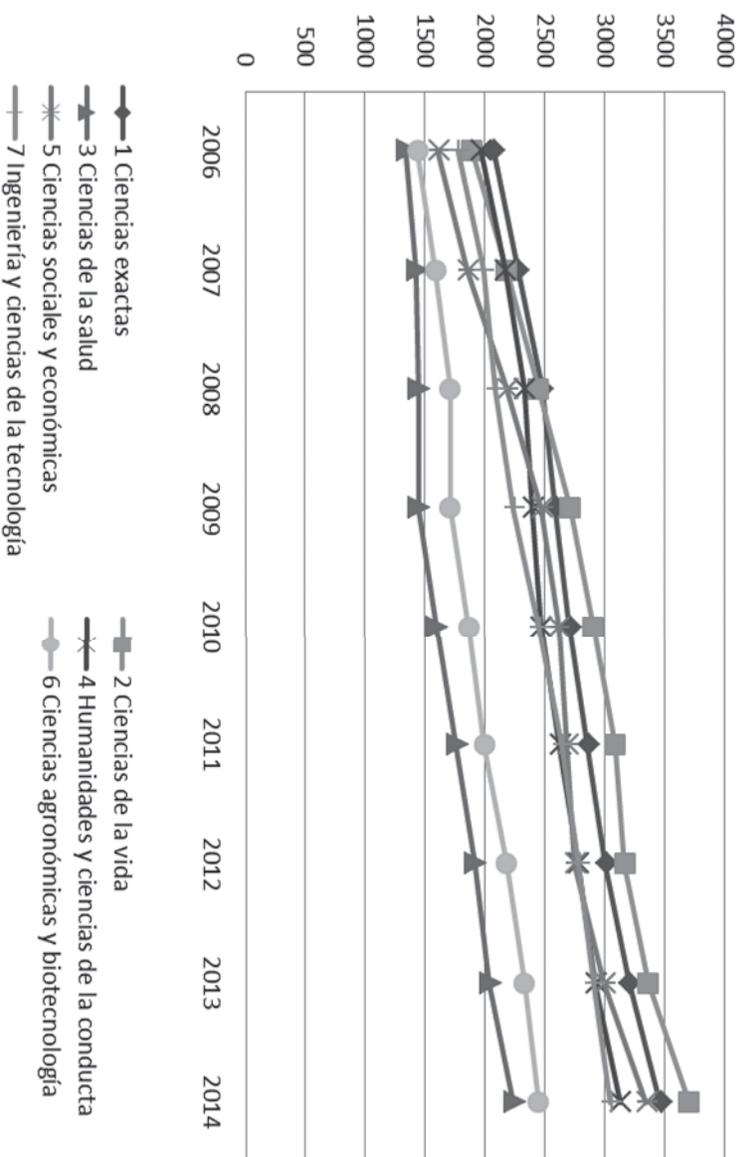
Marco regulatorio

Otro de los pilares fundamentales para la conformación de un sector biotecnológico importante en México, es el marco regulatorio que incentiva la conducta de los diversos agentes y de los organismos encargados de diseñarlas y ejecutar las reglas y normas, lo que conforma un marco institucional de fomento y regulación.

En lo que respecta al marco regulatorio o normativo en México, se han adoptado diversas recomendaciones que derivan de organismos internacionales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y el Protocolo de Cartagena; la Organización Mundial de la Salud (OMS); la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC); la Organización Norteamericana de Protección de Plantas (NAPPO), que desarrolla la Norma Regional sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF No. 14); la Organización Mundial para la Salud Animal (OIE), la Comisión del Codex *Alimentarius*, y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). México también cuenta con marcos regulatorios propios que integran diversas leyes, como la Ley de Sanidad Vegetal; la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM); la Ley Federal de Variedades Vegetales; la Ley Federal de Derechos de Autor; la Ley de Propiedad Industrial, y la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (Amaro y Villavicencio, 2015).

Los organismos que encauzan este marco regulatorio son los siguientes: la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM); 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). Las funciones son diversas, pero se concentran fundamentalmente en la regulación de la producción y el uso de organismos genéticamente modificados; en políticas de producción, importación, exportación, movilización, propagación, liberación, consumo, uso y aprovechamiento de diversos organismos, y en la regulación y supervisión del empleo de diversos productos en la salud humana.

GRÁFICA 6
Total de SNI por área (2006-2014)



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Conacyt.

GRÁFICA 7
Matrícula en carreras de biotecnología (2008-2012)



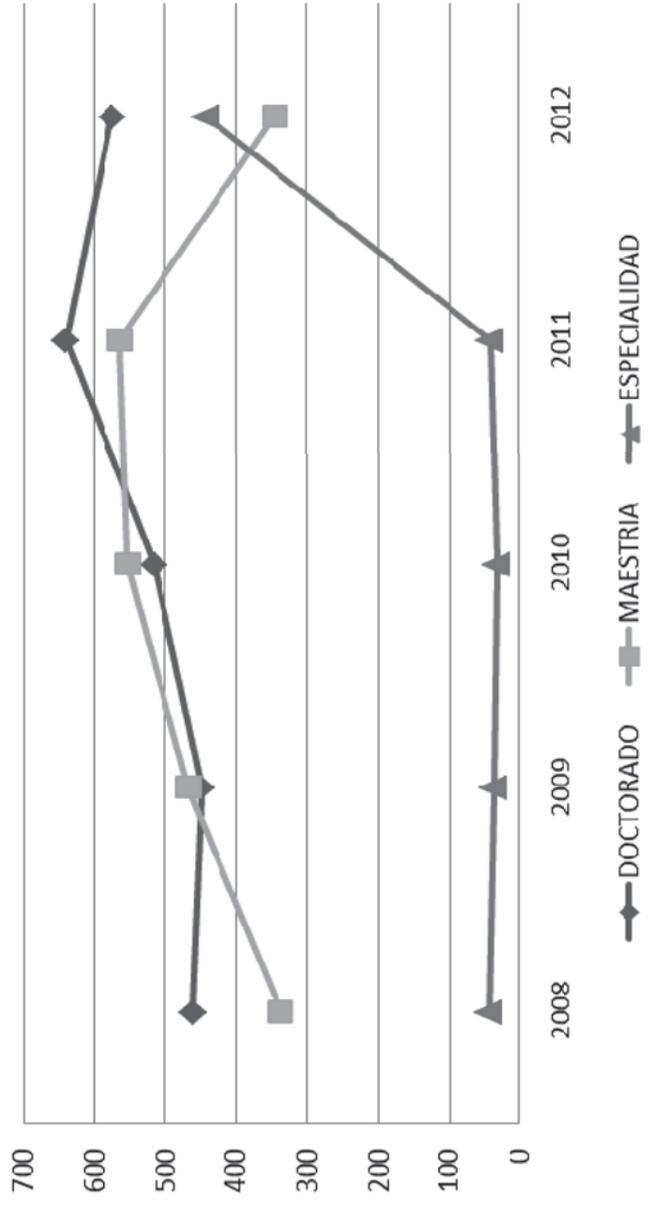
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES).

GRÁFICA 8
Matrícula total de posgrado en el área de biotecnología (2008-2012)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la ANUIES.

GRÁFICA 9
Matrícula por nivel en el área de biotecnología (2008-2012)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la ANUIES.

De acuerdo con nuestras investigaciones sobre el sector de la biotecnología, es posible afirmar que su marco regulatorio aún es débil; hasta la fecha no ha sido un verdadero incentivo para fomentar una mayor actividad de los diversos agentes que conforman el sector. Lo anterior se refleja en el bajísimo número de empresas biotecnológicas en México y en su escaso nivel de patentamiento, lo que confirma su casi nula capacidad para innovar y competir en mercados relevantes a nivel internacional. Además, no ha sido posible establecer sinergias positivas entre los diversos agentes que componen el sistema, a pesar de que la biotecnología requiere mucha colaboración. En México no existen los incentivos de mercado necesarios para que nuevas y mejores empresas emerjan y se fortalezcan (en algunos casos ni siquiera existen mercados para ciertas tecnologías); es por ello que el marco regulatorio y las políticas públicas en general deberían orientarse a la generación de incentivos que fortalezcan y complementen el papel del mercado, e incluso en algunos casos deberían dirigirse a crear mercados propicios para que las empresas capten las oportunidades y realicen actividades productivas y de innovación. Debido a que el marco regulatorio actual no fomenta dichas actividades, se cuestiona su funcionamiento y su falta de capacidad operativa.

Consideramos que todavía no existe la capacidad suficiente para generar incentivos económicos que potencien la actividad productiva de las empresas y tiendan a vincular la generación de conocimiento con su utilización productiva. Si bien existen organizaciones y leyes regulatorias, éstas no configuran un marco coherente y ordenado con metas claras y objetivos comunes; debido a ello persiste un vacío institucional profundo que distorsiona todo el sistema, pues no sólo no ha disminuido la incertidumbre asociada con la actividad en el campo, sino que ha generado mayores controversias. Lo anterior se debe en gran medida a la carencia de coordinación institucional, la cual tiene su causa en la falta de un plan estratégico del sector, falta que a su vez es resultado de la inexistencia de políticas públicas articuladas de ciencia y tecnología (Amaro y Villavicencio, 2015).

Conclusiones

Como lo demuestran diversos estudios en el ámbito internacional, la biotecnología reviste una importancia creciente en algunas economías desarrolladas, no sólo por el progresivo conocimiento científico-tecnológico que ha generado en los últimos años, el cual ha sido de gran utilidad para la generación de valor en áreas de aplicación como la salud humana, la agricultura y la industria, sino que además se vislumbran posibles impactos futuros de la biotecnología, ya que ha revolucionado la forma de producir, distribuir y consumir diversos productos y servicios. Al ser un sector transversal, la conformación de tecnologías genéricas relacionadas con la manipulación controlada, responsable y sustentable de los seres vivos, puede incidir de manera positiva en el crecimiento económico y el bienestar social, generando al mismo tiempo importantes áreas de oportunidad para la inversión y ocasionando el surgimiento de nuevas empresas.

Lo anterior comienza a ser una realidad en países como Estados Unidos, es decir, en países que cuentan con un número importante de empresas biotecnológicas que realizan cuantiosas inversiones en la generación de nuevos productos y procesos cuyos resultados se ven parcialmente reflejados en indicadores como el número de patentes a nivel internacional. Otros países han encontrado nichos de especialización que les han permitido generar una infraestructura científica y tecnológica importante. Aunque la biotecnología está conformada por un conjunto de técnicas y procedimientos que es utilizado desde hace ya varias décadas, la aplicación productiva de muchos de sus desarrollos aún está por consolidarse; ello abre importantes ventanas de oportunidad a empresas ubicadas en países en vías de desarrollo pero que tienen la capacidad para generar innovaciones y especializarse en nichos de mercado poco explotados y con potencial de crecimiento.

Lograr lo anterior requiere al menos de tres pilares fundamentales: *a)* un sector empresarial con capacidades de innovación importantes, dispuesto a asumir el riesgo de invertir en productos tecnológicos; *b)* un sector científico consolidado, capaz de proveer —a las empresas y otros agentes— conocimiento científico y tecnológico de vanguardia y susceptible de valorizarse en el mercado, así como recursos humanos altamente capacitados; y *c)* un marco

regulatorio que incentive la actividad innovadora de las empresas, la actividad de vinculación y de absorción de conocimiento de estas últimas y de las organizaciones académicas, y la capacidad de financiar proyectos a mediano y largo plazos.

Desafortunadamente, en México aún estamos lejos de una situación ideal que nos permita aprovechar las ventanas de oportunidad que trae consigo la emergencia de este nuevo paradigma. De los tres pilares mencionados anteriormente, sólo uno se encuentra en un proceso de consolidación importante: el sector científico. Éste ha ido creciendo en lo relativo a la generación de infraestructura, y ha permitido incrementar la formación de recursos humanos y la generación de conocimiento científico y tecnológico. En contraste, aún se tiene un sector industrial débil, pequeño en número si se le compara con los países líderes, y con una capacidad limitada para la generación de innovaciones tecnológicas que dinamicen el mercado nacional y permitan una inserción adecuada en los mercados mundiales. Este desacoplamiento tan pronunciado se debe en parte, como ya se dijo, a que el marco regulatorio y las políticas públicas no se han articulado debidamente con la actividad de los agentes. Si esta situación prosigue sin cambios sustanciales, México no podrá insertarse adecuadamente en el desarrollo exitoso de las nuevas tecnologías.

Bibliografía

- Amaro, M., y M. Morales (2015), “¿Existe un sistema de innovación para la biotecnología en México?”, XII Congreso Nacional y VII Congreso Internacional Innovación para el Futuro: Emprendimiento, Sistemas e Inclusión, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Ciudad de México, 7-9 de septiembre.
- Amaro, M., y D. Villavicencio (2015), “Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México”, *Estudios Sociales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo*, núm. 45, enero-junio, pp. 35-62.
- Battelle Technology Partnership Practice (2011), *Economic Impact of the Human Genome Project*, Battelle Memorial Institute, Ohio.

- Brooks, F. (ed.) (1995), *Microbiología médica*, El Manual Moderno, México.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) (2009), “Los paradigmas tecnoeconómicos tic y biotecnología”, en J. L. Machinea (ed.), *La transformación productiva 20 años después: viejos problemas, nuevas oportunidades*, Cepal, Santiago de Chile.
- Dosi, G. (1982), “Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change”, *Research Policy*, vol. 11, núm. 3.
- Morales, M. (2014), “La genómica y su impacto económico-social”, *Innovación y Competitividad*, núm. 54, abril-junio.
- _____, y M. Amaro (2015), “Tendencias tecnológicas de la biotecnología: patentes y grupos de investigación en México”, XII Congreso Nacional y VII Congreso Internacional Innovación para el Futuro: Emprendimiento, Sistemas e Inclusión, IPN, Ciudad de México, 7-9 de septiembre.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (1989), *Biotechnology, Economic and Wider Impacts*, París.
- _____, (2005), *A Framework for Biotechnology Statistics*, OCDE, París.
- _____, (2008), *Reviews of Innovation Policy*, OCDE, París.
- _____, (2009), *Reviews of Innovation Policy*, OCDE, París.
- Pavitt, K. (1984), “Sectoral Patterns of Technological Change: toward a Taxonomy and a Theory”, *Research Policy*, núm. 13, pp. 343-373.
- Trejo, S. (coord.) (2010), “La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en el México y factibilidad de desarrollo”, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala.

3. Nanociencias y nanotecnologías en México: desarrollo científico y tecnológico, mercado y regulación

*Eduardo Robles Belmont, Rebeca de Gortari Rabiela
y Leonardo Souza García*

Introducción

La progresión de las tecnologías emergentes sucede rápidamente, y las promesas que éstas aportan llaman la atención de actores de diversos ámbitos sociales pues son vistas como una oportunidad para resolver problemas y para aumentar la productividad en diferentes sectores. Las nanociencias y nanotecnologías (NyN) no han sido la excepción, pues las aplicaciones que han desarrollado abarcan prácticamente todos los sectores industriales. Es por eso que en la primera década de este siglo las inversiones para su desarrollo no dejaron de aumentar, y a eso se debe que en el mercado existan cada vez más productos basados en estas nuevas ciencias y tecnologías (Rejeski, 2009). En países emergentes y en vías de desarrollo, incursionar en estas nuevas tecnologías significa una oportunidad para sobrepasar el subdesarrollo. Sin embargo, en este contexto aún es común observar que la transferencia de nuevos conocimientos al sector industrial sigue siendo una gran dificultad.

Con el fin de situar al lector en el contexto actual del desarrollo en México de estas nuevas tecnologías, el presente capítulo ofrece un panorama de la emergencia, las aplicaciones y el mercado de la nanotecnología, así como de su regulación y de sus implicaciones sociales. Pensamos que es importante contextualizar estos aspectos, para entender mejor los estudios reunidos en este libro acerca de las barreras e incentivos en la transferencia de las nanotecnologías.

Emergencia y desarrollo

Las NyN son consideradas disciplinas emergentes. Sin embargo, diversos trabajos en el campo de la bibliometría y la cienciometría han constatado un importante crecimiento del número de las publicaciones sobre estos nuevos conocimientos. Sobra decir que los países industriales encabezan la producción de publicaciones científicas, la adquisición de patentes y la concentración de capacidades científicas y tecnológicas. Con el lanzamiento de la iniciativa nacional para las nanotecnologías en Estados Unidos, el desarrollo de estas nuevas tecnologías se ha acelerado en todo el mundo. Hemos observado el pronto lanzamiento de otras iniciativas en diversos países, aunque no ha sido necesario contar con programas nacionales para que estos nuevos conocimientos se desarrollen (Robles-Belmont y Gortari-Rabiela, 2014).

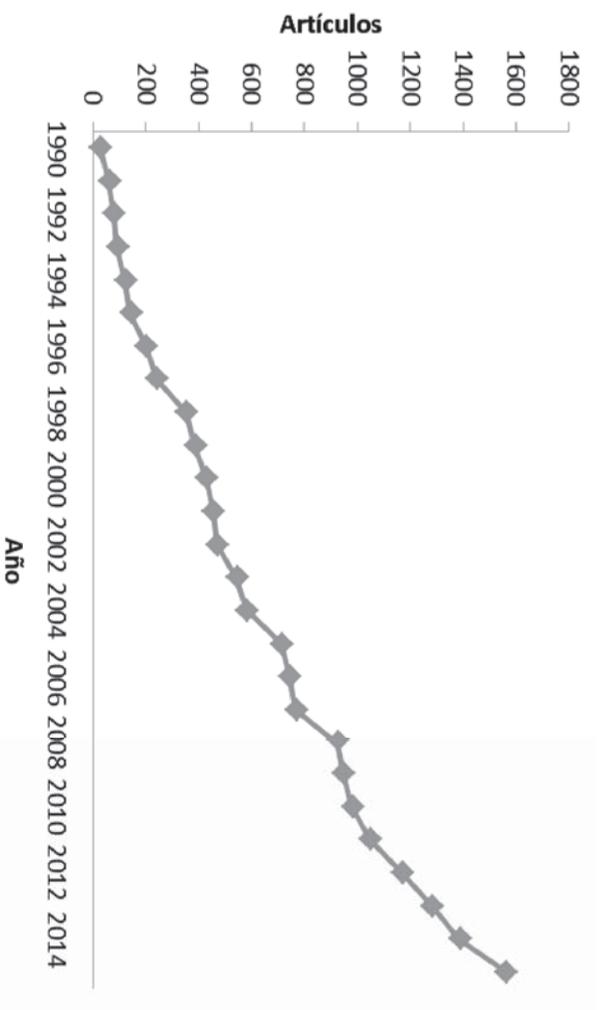
La nanotecnología generalmente es definida como la manipulación de la materia a la escala de 1 a 100 nanómetros. A esta escala las propiedades físicas, eléctricas y químicas de la materia cambian. Las investigaciones en este campo emergente buscan explotar estas nuevas propiedades aplicándolas en diversos sectores: salud, medio ambiente, energía, alimentos, etcétera.

En México, la producción de conocimientos en NyN no es menor y su crecimiento no ha cesado, como se muestra en la gráfica 1. En el desarrollo de este campo emergente participan diversas disciplinas, siendo la ciencia de materiales la principal, con una presencia en 30 % de los artículos publicados. Diversas áreas de la física y la química aparecen también en la producción de artículos científicos en las NyN en México, mientras que las áreas de la biología y ciencias de la vida lo están en menor medida. Por otro lado, las actividades de investigación se encuentran concentradas en las principales universidades y centros de investigación del país. En efecto, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se han producido, desde la década de 1990, 37 % de los artículos publicados. Las otras instituciones donde más actividades se desarrollan son el Instituto Politécnico Nacional (IPN) (19 % del total) y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (14 % del total).

En la emergencia y el desarrollo de las NyN es importante resaltar el papel que cumplen las redes de colaboración, ya que es a través de éstas que se organizan la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Estas redes de colaboración son informales y formales. Las primeras redes científicas formales en las NyN fueron creadas a mediados de la década de 2000 (Robles-Belmont, 2009). Entre ellas figuran la Red de Grupos de Investigación en Nanociencias de la UNAM, y el Centro Internacional para la Nanotecnología y los Materiales Avanzados. Actualmente, las principales universidades del país cuentan con sus propias redes formales de investigación: Red de Nanociencias de la Universidad Autónoma Metropolitana; Red de Nanociencia y Micro-Nanotecnologías del IPN, y la División de Nanociencia y Nanotecnología de la Sociedad Mexicana de Física. Por otra parte, en el marco del programa Redes Temáticas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) dos redes en el campo de las NyN están inscritas: Red Internacional de Bionanotecnología con Impacto en Biomedicina, Alimentos y Bioseguridad, y la Red de Nanociencias y Nanotecnologías. La primera red cuenta con aproximadamente 400 miembros, y la segunda con 360.

La infraestructura ha sido un tema central en el desarrollo de las NyN, ya que éstas requieren de instrumentos científicos y tecnológicos cuyos costos son elevados y pocas instituciones cuentan con los recursos necesarios para adquirirlos. Su importancia es tal que la accesibilidad a los laboratorios es uno de los objetivos que comparten las diferentes redes de colaboración. De hecho, la infraestructura en el país ha ido aumentando. Por ejemplo, uno de los programas que ha posibilitado la instalación de infraestructura es el Programa de Laboratorios Nacionales del Conacyt; gracias a él se han instalado cinco Laboratorios Nacionales orientados al desarrollo de las nanotecnologías desde el año 2006. No obstante, en la primera década de este siglo ha persistido la concentración de recursos e infraestructura en las principales instituciones académicas y de investigación del país (Záyago-Lau y Foladori, 2010).

GRÁFICA 1
Evolución de la producción de artículos científicos en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Redes, IIMAS, UNAM, enero 2016.

Además de las capacidades científicas en términos de grupos de investigadores, redes científicas e infraestructura instalada, en el país se han creado diversos posgrados y programas de estudios en torno a las nanotecnologías. Un total de 79 programas de posgrados están relacionados con la formación de recursos humanos en el campo de las nanotecnologías en el país, de los cuales 36 son de doctorado y 43 de maestría. Asimismo, identificamos cuatro programas de licenciatura e ingeniería. El número de programas de estudios en NyN refleja que este campo emergente está en proceso de consolidación en el país.

Aplicaciones y mercado

La emergencia de las NyN también ha venido acompañada de una serie de promesas técnicas, económicas y sociales que conciernen a diversos sectores, lo que le ha valido a esta tecnología el calificativo de “disruptiva” (Foladori e Invernizzi, 2006). Las aplicaciones de las NyN son bastante amplias y cada día asistimos al surgimiento de nuevas aplicaciones que se reflejan en nuevos productos y usos. A finales de la primera década de este siglo los desarrollos de aplicaciones se orientaron a la industria automotriz y aeroespacial, a la industria electrónica y a las tecnologías de la información, así como a la farmacéutica y a dispositivos para la salud (Lauterwasser, 2005).

En el campo de la energía, las aplicaciones actuales y potenciales conciernen a toda la cadena de suministro que abarca las fuentes primarias de energía, su transformación, transporte, almacenamiento y uso (Luther, 2008). Estas aplicaciones se encuentran relacionadas con la eficiencia energética y las energías renovables; su propósito es disminuir el impacto ambiental mediante la producción de energía eólica y, principalmente, energía solar. Otras aplicaciones se han centrado en la transformación de la energía mediante procesos de catálisis, generación de hidrógeno, electrólisis, etcétera. En el tópico de la transportación de energía, los desarrollos se han focalizado en mejorar los materiales para las líneas de transmisión de alto voltaje, en superconductores y en la transmisión inalámbrica (*wireless power transmission*). El almacenamiento de energía ha sido igualmente un foco de las aplicaciones de la nanotecnología, buscando mejores

materiales y baterías. En cuanto al uso de energías, diferentes proyectos se han focalizado en el desarrollo de nuevos materiales para la construcción, con el doble fin de disminuir el consumo de energía (aislamiento térmico, ventanas inteligentes, etcétera), y obtener una iluminación más eficiente con tecnología LED u OLED.

Otro sector donde las NyN han encontrado usos potenciales, es el de la salud. De hecho, posiblemente se trata de uno de los sectores con mayores aplicaciones potenciales, las cuales abarcan las áreas de diagnósticos *in vitro*, sistemas avanzados de suministro de fármacos, terapias, medicamentos, imagenología *in vivo*, biomateriales e implantes (Wagner *et al.*, 2008). Las aplicaciones de las nanopartículas en el sector salud se deben a las propiedades fisicoquímicas de éstas, ya que pueden ser empleadas para resolver algunas limitantes en terapias tradicionales y en diagnósticos (Zhang *et al.*, 2008). Además es interesante señalar que muchas de las aplicaciones que se han desarrollado y están aumentando en el sector salud, convergen ahí con la biotecnología, lo que ha dado surgimiento al término “nanobiotecnología” (Jain, 2008).

La nanotecnología en México

Un estudio reciente sobre el desarrollo de las nanotecnologías en los sectores de la energía, el agua y la salud en América Latina y el Caribe, muestra las capacidades científicas de los países de la región en estos sectores; México ocupa el segundo lugar, a pesar de que cuenta con pocas iniciativas de alcance nacional para guiar el desarrollo de estas nuevas tecnologías (Invernizzi *et al.*, 2015). En ese mismo estudio sobresalen las investigaciones mexicanas en fármacos, energía fotovoltaica y remediación de aguas contaminadas. Ello constata que en este país los conocimientos producidos por las nanotecnologías buscan aplicaciones concretas en sectores de alta demanda social.

Por otra parte, cabe mencionar que muchas de las aplicaciones ya no son meras promesas. Hoy en día encontramos en el mercado cada vez más productos basados en las nanotecnologías. Recientemente ha sido publicada la última actualización del inventario de productos basados en nanotecnologías

del proyecto Emerging Nanotechnologies del Woodrow Wilson International Center and Scholars. En dicho inventario se contabilizan, para 2014, un total de 1 814 productos disponibles en 32 países. Aunque según el inventario sólo un producto basado en la nanotecnología se comercializa en México (pintura anti-grafiti), el número de empresas que han incursionado en el desarrollo de estas tecnologías tiene una presencia mayor. De acuerdo con un estudio de reciente publicación, en México 139 empresas generan productos basados en nanotecnologías o son usuarios de éstas (Appelbaum *et al.*, 2016).

De estas empresas, 43 % son del sector químico, y 14 % corresponden al sector de componentes electrónicos. De las empresas identificadas en este estudio, el análisis en la cadena de valor muestra que 52 % conciernen a productos finales basados en las nanotecnologías. Además, este mismo estudio muestra una concentración de estas empresas en la Ciudad de México, el Estado de México y el estado de Nuevo León. Cabe mencionar que en este último se encuentra el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, que alberga las principales instituciones de investigación en el campo de las nanotecnologías, así como una incubadora de nanotecnología. Esta incubadora constituye posiblemente la única infraestructura tecnológica en México dedicada al desarrollo de nuevos productos basados en las nanotecnologías. La infraestructura disponible consta de seis plantas piloto (para la fabricación y aplicación de diferentes técnicas y nanomateriales), un laboratorio de pruebas, asesoría de negocios y espacios físicos para nuevas empresas, lo que ha representado una inversión de 7.6 millones de dólares.

Regulación e implicaciones sociales y económicas

La amplia aplicación de las nanotecnologías ha despertado inquietudes en torno a la regulación de su uso y comercialización. Esto se debe a las nuevas características químicas y físicas de los nanomateriales, que presentan potenciales riesgos tóxicos para la salud y el medio ambiente. Anzaldo y Herrera-Basurto (2015) sitúan en 2003 la emergencia de la problemática de la regulación de las nanotecnologías, a partir de las actividades y foros organizados por la organiza-

ción ambientalista Grupo ETC. La preocupación por la regulación de las nanotecnologías pasó posteriormente a las comunidades científicas y actualmente es parte de las agendas de ciencia y tecnología de algunos países. Sin limitar el tema de la regulación, *grosso modo* podemos hablar de dos modelos: *laissez-faire* y precautorio. El primero se inclina por una autorregulación voluntaria de los actores. Este modelo de regulación predomina en Estados Unidos y en algunos de sus socios económicos, como México. En el modelo precautorio se toman las medidas necesarias cuando se sospecha de posibles riesgos a la salud y al medio ambiente ocasionados por el uso de ciertos productos o tecnologías. La aplicación del principio de precaución a lo largo de todo el ciclo de vida de los nanomateriales es apoyado por algunos organismos no gubernamentales y medioambientalistas.

Uno de los rasgos novedosos que muestra el modelo general de regulación, rasgo por el que difiere de la experiencia producida en otros campos,¹ es la aparición de actores ajenos al Estado que cumplen el papel de crear e imponer normatividades, prácticas de referencia y códigos de conducta al desarrollo de la nanotecnología. Un conjunto diverso de actores –entre ellos empresas, organismos supranacionales, gremios y grupos sociales– comienza a tomar el liderazgo de la regulación (Fiorino, 2010), el cual coincide con la ausencia de una regulación formal, aún en construcción, por parte de las autoridades nacionales de los distintos países en donde se conoce la presencia de productos y procesos nanoestructurados. Las normas actuales son de carácter voluntario y por su naturaleza carecen de un marco de supervisión y medidas coercitivas que vigilen y fomenten su cumplimiento.

De acuerdo con Abbot (2010), la incorporación de un marco regulatorio de tipo “suave” es un esquema temporal que atiende las características inherentes a una tecnología emergente, la cual presenta grandes cuotas de incertidumbre para una sociedad. La adopción de medidas “blandas” es una manera de contar con un marco no restrictivo para seguir avanzando hacia el desarrollo de

¹ Por ejemplo el de las tecnologías de la información y el de la biotecnología genómica, entre otros.

nuevas aplicaciones tecnológicas que resuelvan los problemas sociales y económicos que las tecnologías dominantes no han podido atender completamente, al mismo tiempo que se formula el marco legal que impida el uso de aquellos compuestos que resulten adversos.

Uno de los aspectos que ha retrasado la evolución de un marco “suave” de regulación hacia uno “duro”, parece ser la propia novedad de los nanocompuestos, para los que las métricas, las formas de caracterización y las pruebas de evaluación desarrolladas para la industria actual resultan inapropiadas.² Al momento existen diversas iniciativas internacionales para determinar las medidas de referencia que deben seguir las pruebas de análisis y toxicológicas de estos nuevos compuestos; ello es una precondition necesaria para definir con criterios científicos el tipo de compuestos y las concentraciones que deben prohibirse para no poner en riesgo al ser humano y al medio ambiente.

Aunque en México no existe ninguna iniciativa para la evaluación de los riesgos de la nanotecnología para la salud humana y el medio ambiente, se ha iniciado ya un proceso de regulación de las mismas. La primera acción oficial fue la publicación en 2012 de los *Lineamientos para regulaciones sobre nanotecnologías para impulsar la competitividad y proteger al medio ambiente, la salud y la seguridad de los consumidores*.³ Dicha publicación fue realizada por la Secretaría de Economía con la participación de diversos actores de instituciones académicas y gubernamentales encargadas de la regulación en torno a los riesgos sanitarios y medioambientales, así como de actores de la misma Secretaría. Cabe mencionar que estos lineamientos fueron elaborados en el marco del Consejo de Alto Nivel para la Cooperación Regulatoria entre Estados Unidos y México. Es importante tomar en cuenta que existe un contexto internacional en materia de reglamentación sobre los riesgos para la salud y el medio ambiente que trae

² Un ejemplo de ello proviene del campo de la química; para caracterizar un compuesto, dicha ciencia utiliza de manera general la composición química, el peso y el volumen, dejando de lado aspectos como la superficie. Mientras que en los compuestos nano-estructurados la medida de superficie es un aspecto fundamental para identificar los atributos y propiedades que la distinguen.

³ Véase la página web de la Secretaría de Economía.

consigo el uso de sustancias químicas; dicho contexto puede constituir la base para futuras reglamentaciones de las nanotecnologías en México (Záyago-Lau *et al.*, 2015).

Por otra parte, se ha avanzado en el tema de la normalización de los nanomateriales en México con la publicación de cinco proyectos de normas voluntarias. Éstos han sido elaborados por el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías, conformado en 2007 y coordinado por el Centro Nacional de Metrología. Estas normas se encuentran en su etapa básica y son una adaptación de las normas internacionales emitidas por la Oficina Internacional de Estándares (ISO).

La ISO constituye un organismo privado de carácter supranacional cuyo espíritu o misión es la creación de normas y estándares internacionales que permitan contar con términos comunes para evitar cualquier barrera al comercio y el intercambio de productos entre países. En países en desarrollo como México, la ISO funge como base para la construcción de regulaciones nacionales que emulan las normas que los países consideran pertinente adoptar. Actualmente, el Comité Internacional de Nanotecnología (también denominado TC 299) cuenta con 42 estándares, de los cuales México ha adoptado cinco. Estas normas voluntarias se basan en la terminología y las definiciones de nano-objetos, en el establecimiento de algunas técnicas de caracterización para los nanotubos, así como en conceptos básicos en el campo de la nanotecnología (Anzaldo y Herrera-Basurto, 2015).

En el actual proceso de regulación de las nanotecnologías en México, Anzaldo y Herrera-Basurto (2015) distinguen cuatro cuestiones importantes:

- establecer términos y definiciones sobre los diferentes nanomateriales;
- reducir la incertidumbre en lo relativo a los potenciales efectos sobre la salud y el medioambiente;
- evaluar los niveles de exposición a los nanomateriales a largo plazo y en las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos; y
- revisar la compatibilidad de los marcos regulatorios existentes en materia de sustancias químicas. A esto tópicos habría que añadir el problema de

la basura (residuos) de los nanoproductos, como han apuntado Záyago-Lau *et al.* (2015).

Es necesario señalar también que la falta de regulación y normatividad en el caso mexicano y en otros países, permite que haya intersticios para el desarrollo de productos y empresas cuyas acciones pueden “sentar jurisprudencia” en materia de regulación.

Es por ello que las implicaciones sociales son centrales en el desarrollo de las nanotecnologías, el cual ha ido permeando las comunidades científicas y las instituciones gubernamentales. Este tema se halla estrechamente relacionado con la cuestión de la regulación, ya que lo que está en juego es el acceso a la tecnología, los riesgos implicados y los aspectos éticos, todo lo cual puede quedar excluido en el proceso del establecimiento de la normatividad y la regulación que está ocurriendo en México. El desarrollo nanotecnológico tiene asimismo implicaciones económicas para el país; la presión de otros países tiene como objetivo la facilitación de las relaciones comerciales, más que la regulación. Ello se debe principalmente a que un porcentaje muy alto del desarrollo de estas tecnologías está en manos de las grandes empresas.

Conclusiones

Como hemos podido observar en esta revisión de la problemática a que se enfrentan las nanociencias y la nanotecnología, en cuanto campos emergentes, las trayectorias que han seguido y una parte importante de su desarrollo y aplicación se encuentran aún en un proceso de construcción.

Diversos actores con diferentes objetivos han dado lugar a un importante número de desarrollos tanto en las instituciones científicas como en algunos sectores industriales; en unas y otros, dichos campos están transformando la forma de hacer investigación. De manera que además de las fuertes inversiones que son necesarias en infraestructura, la organización está tomando formas distintas, como las redes para aprovechar al máximo los recursos tanto huma-

nos como de equipos, pero también las nuevas modalidades de colaboración donde convergen una diversidad de disciplinas.

También es necesario resaltar la dirección que están tomando estos campos emergentes: si bien el mercado cumple un papel fundamental en ellos, también son esenciales los tipos de sectores a que se están dirigiendo muchos de los resultados. Nos referimos a sectores donde las aplicaciones, además de resolver problemas de la industria, atienden problemas sociales como el agua, la energía y la salud.

Un aspecto muy importante lo constituye la falta de una iniciativa nacional que fomente el desarrollo de estos campos emergentes, aunque existen ya algunas acciones a nivel nacional así como varios programas, entre ellos los del Conacyt. También es necesario señalar el impulso realizado por las instituciones académicas para formar recursos y fomentar la investigación y el desarrollo en estos campos. Sin embargo, el crecimiento y el impulso que la nanotecnología y las nanociencias han tenido en el país, ha obligado a diferentes actores a emprender la discusión y la regulación del uso de estas tecnologías en relación con las implicaciones sociales, los aspectos éticos y los riesgos que entrañan para la salud y el medio ambiente.

Uno de los retos evidentes que enfrenta la regulación actual es lograr precisamente un balance entre la promoción de nuevos productos y procesos nanoestructurados y las medidas de control y seguridad, con miras a posibilitar el desarrollo responsable del campo emergente. Además, en la medida en que el país cuenta con una importante inversión en infraestructura y en la formación de recursos humanos, sería posible obtener mejores resultados mediante la convergencia de las disciplinas y a través de novedosas formas de organización del conjunto de los recursos tanto en redes formales como informales. El fin último de este esfuerzo sería que dichos recursos se encaminen, a mediano y a largo plazo, al desarrollo de productos y tecnologías en sectores que beneficien a la sociedad.

Bibliografía

- Abbott, K. W., y D. Snidal (2010), “International Regulation without International Government: Improving IO Performance Through Orchestration”, *The Review of International Organizations*, vol. 5, núm. 3, pp. 315-344.
- Anzaldo, M., y R. Herrera-Basurto (2015), “Actores, visiones y perspectivas de la gobernanza de la regulación de las nanotecnologías en México”, en G. Foladori, A. Hasmy, N. Invernizzi y E. Záyago-Lau, *Nanotecnologías en América Latina. Trabajo y regulación*, Universidad Autónoma de Zacatecas / Miguel Ángel Porrúa, México, pp. 25-39.
- Appelbaum, R., *et al.* (2016), “Inventory of Nanotechnology Companies in Mexico”, *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 18, núm. 2, febrero.
- Foladori, G. *et al.* (2016), “Patentes nanotecnológicas en México según sectores económicos de potencial aplicación”, *Ciencia ergo-sum*, vol. 23, núm. 3, pp. 255-260.
- Foladori, G., y N. Invernizzi (2006), *Nanotecnologías disruptivas. Implicaciones sociales de las nanotecnologías*, Universidad Autónoma de Zacatecas / Miguel Ángel Porrúa, México.
- Invernizzi, N., *et al.* (2015), “Nanotechnology for Social Needs: Contributions from Latin American Research in the Areas of Health, Energy and Water”, *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 17, núm. 5, mayo.
- Jain, K. K. (2008), “Nanomedicine: Application of Nanobiotechnology in Medical Practice”, *Medical Principles and Practice*, vol. 17 núm. 2, pp. 89-101.
- Lauterwasser, C. (2005), “Small Sizes that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies”, disponible en <<http://www.oecd.org/science/nano-safety/37770473.pdf>>, consultado el 16 octubre de 2015.
- Luther, W. (2008), “Application of Nanotechnologies in the Energy Sector”, disponible en <http://www.hessen-nanotech.de/mm/NanoEnergy_web.pdf>, consultado el 4 noviembre de 2015.
- Panneerselvam, S., y S. Choi (2014), “Nanoinformatics: Emerging Databases and Available Tools”, *International Journal of Molecular Science*, vol. 15, núm. 5, pp. 7158-7182.

- Rejeski, D. (2009), "Consumer Product Safety Commission", disponible en <http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/8278/pen_submission_cpssc.pdf>, consultado el 15 de noviembre de 2015.
- Robles-Belmont, E. (2009), "Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías", *Redes. Revista de Estudios Sociales de la Ciencia*, vol. 15, núm. 29, pp. 93-111.
- _____, y R. D. Gortari-Rabiela, (2014), "Nanosciences and Nanotechnologies without National Initiative? The Mexican Case Study", en S. Ramani (ed.), *Nanotechnology and Development: What's in it for Emerging Countries?*, Universidad de Cambridge, Cambridge, pp. 182-210.
- Robles-Belmont, E., y D. Vinck (2011), "A Panorama of Nanoscience Developments in Mexico Based on the Comparison and Crossing of Nanoscience Monitoring Methods", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 11, núm. 6, pp. 5499-5507.
- Wagner, V., B. Hüsing, S. Gaisser, y A. K. Bock (2008), *Nanomedicine: Drivers for Development and Possible Impacts*, European Commission. Joint Research Centre / Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.
- Záyago-Lau, E., y G. Foladori (2010), "La nanotecnología en México: un desarrollo incierto", *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 10, núm. 32, pp. 143-178.
- _____, *et al.* (2013), "Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario", *Estudios Sociales*, vol. 21, núm. 42, pp. 9-25.
- _____, *et al.* (2015), "Investigación sobre los riesgos de los nanomateriales en México", en G. Foladori *et al.* (eds.), *Nanotecnologías en América Latina. Trabajo y regulación*, Universidad Autónoma de Zacatecas / Miguel Ángel Porrúa, México, pp. 155-170.
- Zhang, L., *et al.* (2008), "Nanoparticles in Medicine: Therapeutic Applications and Developments", *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, vol. 83, núm. 5, pp. 761-769.

4. Las bondades de Transferón®

*Eduardo Robles Belmont, Nelly Medina Molotla
y Carlo Daniel Pineda Almanza*

Introducción

Transferón® es el nombre comercial en México del producto biológico Factor de Transferencia (FT), el cual es elaborado en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN)¹ desde hace tres décadas. A lo largo del proceso de desarrollo de Transferón® se han formado especialistas y producido nuevos conocimientos, los cuales han sido publicados en artículos científicos, tesis y patentes obtenidas. Este producto médico ha sido empleado en terapias de diversas enfermedades, lo que ha permitido la mejora en la calidad de vida de cientos de miles de pacientes mexicanos. Actualmente Transferón® figura en el registro de medicamentos de la Secretaría de Salud, y cada mes alrededor de mil pacientes reciben este medicamento en las instalaciones de la ENCB.

La trayectoria del desarrollo de Transferón® no ha sido sencilla; los actores protagonistas hubieron de enfrentar y sortear diversas barreras académicas, económicas y sociales para que este producto obtuviera el reconocimiento como un medicamento, y para que su comercialización lo volviera un producto accesible. A todo esto, el grupo de trabajo ha recibido incentivos que

¹ Agradecemos a los investigadores y técnicos que forman parte del proyecto Transferón® por su tiempo y paciencia al recibirnos en sus espacios de trabajo. Particularmente agradecemos al doctor Sergio Estrada Parra y a la doctora Mayra Pérez Tapia por su apoyo para la realización de las entrevistas y visitas, así como por sus comentarios a nuestro trabajo.

han permitido su continuidad. En este capítulo describimos la trayectoria del proyecto Transferón® con el fin de identificar aquellas barreras e incentivos que pueden aportar lecciones sobre la transferencia de conocimiento. En un primer apartado explicamos lo que es Transferón®; en el segundo, abordamos los antecedentes históricos de su desarrollo, antes de entrar en la sección sobre el mercado en que se vende este producto. En los siguientes apartados describimos las dinámicas del desarrollo científico y tecnológico, así como la transferencia de conocimiento y la comercialización del producto. Finalmente, se señalan las principales barreras y los incentivos experimentados por los actores del proyecto Transferón®.

Antecedentes históricos

El factor de transferencia (extracto dializable de leucocitos) es el nombre con que tradicionalmente se designa a una mezcla de péptidos inmunomodulares que se encuentran contenidos en un extracto celular derivado de leucocitos humanos. Regula los mecanismos inmunológicos para combatir infecciones virales o por hongos y bacterias; controla el proceso inflamatorio presente en alergias y enfermedades autoinmunes. Este producto fue descrito por primera vez en 1949 por el inmunólogo Henry Sherwood Lawrence (Universidad de Nueva York, Estados Unidos), quien determinó que la capacidad del cuerpo humano para defenderse de una enfermedad puede ser transferida de un individuo a otro por medio de glóbulos blancos purificados de la sangre de un donador, los cuales son reinsertados en el organismo de un receptor para estimular su sistema inmunológico.

El primer factor de transferencia en México

Los primeros trabajos científicos sobre el FT se iniciaron en la década de 1970, a partir del encuentro del doctor Sergio Estrada Parra con el doctor Óscar Velasco Castrejón (Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales en

México) y el doctor González Ochoa (ENCB) en un congreso de inmunología en Sonora. En dicha reunión estos últimos le propusieron al doctor Sergio Estrada elaborar el factor de transferencia en México.

Al trazar los antecedentes históricos de Transferón® sobresalen las trayectorias académicas de los investigadores implicados en el proyecto. En primer lugar, la formación profesional del doctor Sergio Estrada Parra en el área de bacteriología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, así como su formación doctoral. En efecto, fue en esa institución donde el doctor Sergio Estrada se especializó en áreas como la virología, la inmunología y el aislamiento de organismos patógenos que afectan a los seres humanos, especialmente en las vías urogenitales. Gracias a uno de sus profesores —el doctor Adolfo Pérez Miravete— en la ENCB-IPN, Estrada tuvo la oportunidad de llevar a cabo su formación doctoral en el área de caracterización química de microorganismos en colaboración con el inmunólogo Michael Heidelberger, de la Universidad de Rutgers en Nueva Jersey (EUA), quien es considerado el padre de la inmunología contemporánea (Derbez-García, 2003). Fue gracias al trabajo llevado a cabo en colaboración con Heidelberger y Paúl Rivers (de la misma institución) que Estrada pudo graduarse como especialista en inmunología con base en el estudio de los neumococos (organismos residentes del sistema respiratorio humano). Estos organismos son objeto de estudio importante para la medicina, por lo que resultó natural para el investigador realizar proyectos complementarios en instituciones de salud pública en México.

Además, las actividades del doctor Sergio Estrada en el Hospital de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de la Ciudad de México, le permitieron establecer un fuerte vínculo entre su actividad como investigador y el desarrollo de soluciones a problemas de salud pública. Por esta razón fundó el primer doctorado en inmunología de América Latina en la ENCB, junto a personajes como Jesús Kumate (Secretaría de Salud), Carlos Guido (Instituto Nacional de Cardiología) y Félix Córdoba (Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México). Este grupo académico fue la base para el estudio del FT en nuestro país. El doctor Estrada ha afirmado que su inquietud por esta innovación en el campo de la inmunología fue originada por tres hechos: su relativo desconocimiento entre la comunidad

científica, la facilidad de su preparación, y su capacidad de transferir inmunidad de manera segura entre seres humanos.

En el marco de este posgrado se conformó un grupo que inició sus actividades con el estudio de diversas enfermedades infecciosas. Sin embargo, al cabo de poco tiempo decidieron focalizarse en la transferencia de inmunidad entre individuos, un área poco estudiada dentro de la inmunología. Posteriormente, el primer FT específico en el país fue creado con los colaboradores originales y el doctor Emilio García Procel para tratar la enfermedad *coccidioidomycosis*, patología endémica en el norte de México y el sur de Estados Unidos. Después de la aplicación del FT en un paciente infectado con esta enfermedad, hubo una mejora considerable en su estado de salud, lo cual llamó la atención de diversos especialistas e investigadores en medicina quienes, como veremos a continuación, se involucraron en el desarrollo de Transferón®.

Este primer suceso específico incentivó la formación de un grupo de investigación formal dentro de la ENCB encabezado por el mismo doctor Estrada. Dichas colaboraciones sirvieron para combatir el escepticismo que imperaba sobre el FT en distintos grupos académicos a nivel internacional, ya que en esa época se desconocían los componentes y la estructura de la preparación conocida como FT, así como el mecanismo de acción preciso que permitía la activación de la respuesta inmunológica en el cuerpo humano.

Apertura a nuevos campos de investigación

La trayectoria de consolidación del Transferón® ha enfrentado diversas barreras y retos. En los primeros años, las limitadas capacidades de investigación e infraestructura de este grupo restringieron la producción de los primeros extractos leucocitarios a 10 o 12 unidades por semana; en aquella época la obtención del FT (o del extracto dializable leucocitario) implicaba la utilización de 500 ml de leucocitos por unidad. Esta limitada producción era insuficiente para el tratamiento de enfermedades más comunes, principalmente de aquellas relacionadas con infecciones en garganta y oídos de menores de edad. Esta restricción obligó a los académicos a buscar nuevas alternativas para incrementar

la capacidad de producción, entre ellas la extracción de glóbulos blancos de los familiares de los pacientes (padres, hermanos, tíos). Esta estrategia abrió camino, durante la década de 1980, en el tratamiento con FT de otras enfermedades, entre las que destaca la tuberculosis. Posteriormente, la colaboración con el doctor Fernando Rébora Gutiérrez, del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER), permitió la aplicación del FT en experimentos con mujeres que padecían tuberculosis. Para el año de 1985, los resultados confirmaron que 9 de cada 10 pacientes infectadas con la enfermedad registraron mejoras significativas en su estado general de salud, y la paciente restante logró recuperarse al cien por ciento.

Estos resultados incentivaron la participación, junto con el doctor Rébora, de nuevos investigadores para el estudio de *Mycobacterium tuberculosis*, que es la bacteria responsable de la tuberculosis. Este trabajo conjunto logró establecer una relación entre este microorganismo y el medicamento antifímico más efectivo para erradicarlo, lo que aunado a la aplicación sinérgica con FT dio como resultado una recuperación acelerada de los enfermos. Además, la investigación en pacientes de sexo femenino también abrió un nuevo campo de investigación en el tratamiento de mujeres embarazadas infectadas por micosis (hongos). A pesar de los cuestionamientos iniciales, los resultados de las pruebas en grupos de control indicaron que la administración de factor de transferencia no representaba riesgo alguno para las madres ni para sus fetos.

Los resultados anteriores, obtenidos en diversas terapias, facilitaron progresivamente la aceptación general del FT, ya que a pesar de su reconocida efectividad, persistía un ambiente de desconfianza relacionado con el desconocimiento de la estructura que originaba las propiedades terapéuticas. Sin embargo, su innegable eficacia terapéutica como adyuvante en el tratamiento de las enfermedades antes mencionadas, motivó a que se plantearan estrategias para aumentar la escala de producción de los extractos dializables leucocitarios o FT.

En estos primeros 20 años, el contexto del desarrollo del FT en México permitió al doctor Estrada establecer un vínculo de colaboración con el investigador Ramiro Cabezas Quiroga, del Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (Cimeq) en La Habana, Cuba, quien utilizó las propiedades del

FT en el tratamiento de enfermedades alérgicas, como la dermatitis atópica; al mismo tiempo, este intercambio de experiencias favoreció la transferencia de *know-how* para la producción de los extractos en instituciones cubanas. Esta relación igualmente dio fruto en México: el estudio del efecto del FT en la dermatitis atópica; dicho estudio fue realizado en el área de Inmunología del Hospital Licenciado López Mateos del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), gracias a la participación del doctor Modesto Orea Solano, la doctora Graciela Flores Sandoval y el doctor Javier Gómez Vera. Esta relación precedió la participación del doctor Luis Teherán para el tratamiento de herpes zóster y varicela por medio de dosis concentradas del FT.

*Aceptación y confianza pública e institucional
a inicios de la década de 1990*

La investigación sobre la eficacia de los extractos dializables leucocitarios o FT se vio consolidada en la década de 1990. Ello permitió iniciar los trámites regulatorios pertinentes para obtener permisos de fabricación y un registro como medicamento para uso humano. Finalmente, el producto liofilizado obtuvo en 1994 su registro oficial en la Secretaría de Salud (SS); a partir de ese momento fue bautizado con el nombre comercial de Transferón®.

Fue en esta misma década cuando la doctora Iris Estrada García generó una línea de investigación básica sobre Factor de Transferencia. La formación profesional de esta investigadora como química bacterióloga, y su experiencia posdoctoral como bióloga molecular en el National Institute for Medical Research, de Londres (Inglaterra), lugar donde determinó la relación entre las proteínas (*interferón gamma osteopontina*) y la producción de las células inmunitarias del cuerpo humano (macrófagos, neutrófilos y células dendríticas), fueron decisivas en el estudio inicial del mecanismo de acción del FT, hasta ese momento desconocido.

Fue a finales de la década de 1990 cuando Sonia Mayra Pérez Tapia, química farmacéutica bióloga por la Facultad de Química de la UNAM, se suma

(primero como alumna de la doctora Estrada-García y posteriormente como investigadora del IPN) al grupo de investigadores interesados en conocer los componentes y mecanismos de acción de Transferón®, y cuando realiza sus tesis de maestría y doctorado analizando la actividad biológica de extractos dializables obtenidos de diferentes especies sobre modelos *in vitro* e *in vivo*.

Ya como doctora en ciencias, la participación de Pérez Tapia asume un papel relevante en el desarrollo farmacéutico y en el escalamiento del proceso de producción de Transferón®. La doctora Pérez Tapia se encargó de las siguientes tareas: establecer los sistemas de gestión de calidad pertinentes; optimizar y validar el proceso de producción; el escalamiento de la producción, y dirigir la investigación clínica y el desarrollo farmacéutico del producto con miras a cumplir con la nueva normatividad vigente en el país. Como consecuencia, la optimización del proceso generó una patente de proceso y la disminución significativa de la cantidad de material biológico necesario para fabricar Transferón®.

Es también durante esta época cuando se obtienen los registros de marca y comienza una transformación y expansión significativa de lo que originalmente se llamó “Proyecto Factor de Transferencia de la ENCB”.

La doctora Pérez Tapia basó la transformación del proyecto en su conocimiento sobre administración farmacéutica y gerencia de innovación y desarrollo. Por consiguiente, el grupo adquirió progresivamente nuevas capacidades indispensables para expandir el éxito inicial que el FT había logrado. Por otra parte, el trabajo de esta investigadora también fue relevante en la divulgación y promoción del FT en otras áreas de la medicina, para aumentar la capacidad productiva de Transferón®, que pasó de unas cuantas decenas de unidades en 1970 a más de 20 000 unidades a finales de la década de 1990. Además, su contribución permitió sortear obstáculos legales; al comprobar la seguridad del producto, obtuvo el registro sanitario de su aplicación por vía oral. Del mismo modo, la doctora Pérez Tapia lideró los trabajos para lograr el acondicionamiento de las instalaciones de la ENCB donde se fabricaba el Transferón®, con la finalidad de cumplir los requisitos señalados por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) en relación con las buenas prácticas de fabricación de medicamentos para uso humano (NOM-0059-

SSA), y para disponer de sangre humana y sus componentes con fines terapéuticos (NOM-003-SSA2-1993).

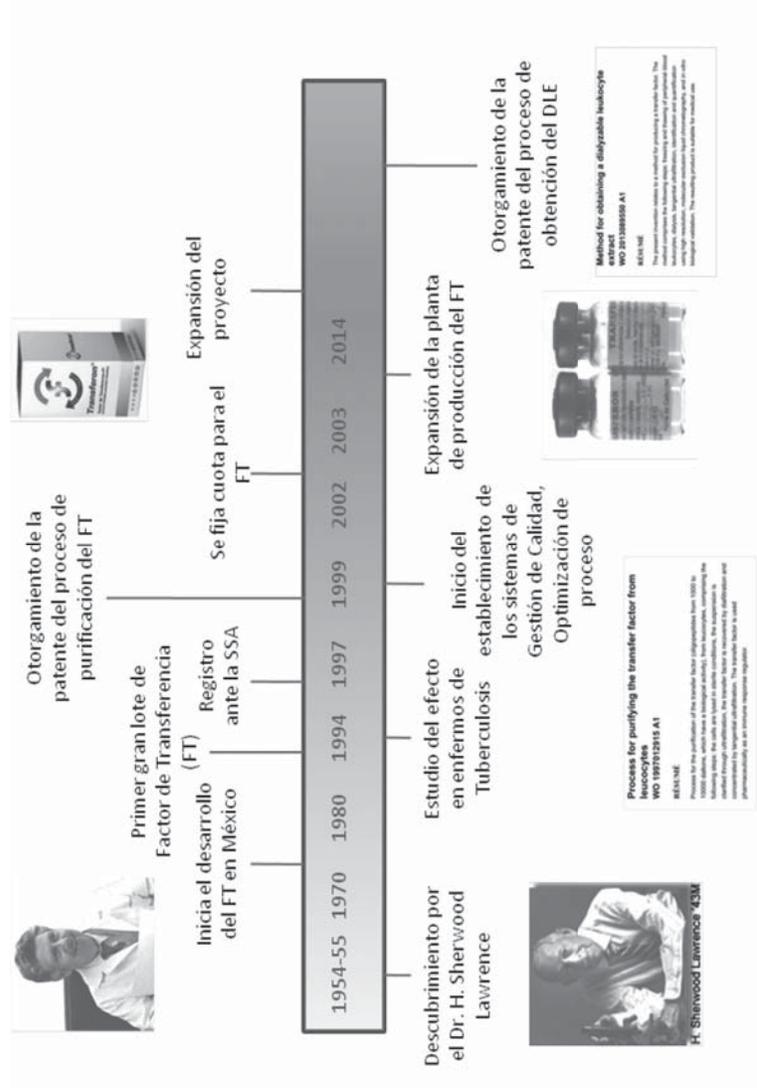
Fue en esta misma época cuando la colaboración entre la doctora Estrada y la doctora Pérez se convirtió en el ingrediente más importante de la transición de la ENCB hacia las actividades relacionadas con la innovación, la fabricación y la comercialización del Transferón®, ya que el doctor Sergio Estrada decidió retirarse por completo de la gestión del equipo de investigación en el año 2002, después de 32 años de trabajo continuo.

Consolidación del proyecto Transferón®

Mediante la gestión de ambas investigadoras y del mismo doctor Estrada, el grupo obtuvo los recursos financieros del IPN –cuyo director general era entonces Diódoro Guerra Rodríguez (1994-2000)– para la construcción del edificio donde se desarrollaría el proyecto FT. Dicho proyecto quedó inconcluso debido a la falta de apoyo institucional en los años posteriores. Sin embargo, esto no impidió que los investigadores lograran acondicionar los laboratorios de la ENCB para incrementar la producción y financiar la construcción de los primeros consultorios clínicos dentro de la escuela con los recursos obtenidos de la venta al público de Transferón®, la cual se formalizó en el año 2003.

A partir de la primera década de 2000, la participación de la doctora Pérez Tapia fue esencial para el incremento de las capacidades de los laboratorios de producción; esto permitió al grupo de investigación organizar las actividades del Proyecto Factor de Transferencia en actividades de investigación, fabricación y consulta médica dentro de las instalaciones de la ENCB. Esta característica, además de significar un ahorro significativo en costos, permitió la constitución de una empresa tipo *spin-off* autogestiva que en la actualidad se autofinancia por medio de la comercialización del producto Transferón® y a través de servicios a la industria farmacéutica nacional e internacional, lo cual le permite sostener la totalidad de sus actividades.

FIGURA 1
Línea de desarrollo histórico de Transferón®



Fuente: elaboración propia.

Esta autonomía financiera continúa siendo respaldada por la investigación constante y la exploración de nuevas indicaciones terapéuticas del Transferón®. Aunado a lo anterior, la incorporación de la doctora María del Carmen Jiménez y de los doctores Marco Velasco Velázquez, Lenin Pavón Romero y Emilio Medina, a la vanguardia de un grupo formado por decenas de químicos, biólogos, farmacéuticos, tecnólogos, estudiantes de licenciatura y de posgrado, ha consolidado la investigación básica, la investigación clínica y el desarrollo farmacéutico del Transferón®.

Las capacidades con las que actualmente cuenta el grupo de investigación le permiten obtener una producción de hasta 800 000 unidades anuales bajo condiciones eficientes de operación. Esta ventaja es resultado de la optimización del proceso productivo mediante el cual se obtiene el hemoderivado, que en 1970 necesitaba un donador de sangre por cada unidad fabricada (proporción 1:1). Sin embargo, a partir de la utilización de procesos biotecnológicos (filtraciones y purificaciones) se ha logrado mejorar su pureza, a tal punto que hoy en día se obtienen 25 unidades por cada donador de sangre (proporción 25:1).

Este incremento masivo obligó a los integrantes del grupo a desarrollar un nuevo modelo de gestión productiva basado en tres unidades de apoyo: la Unidad de Desarrollo e Investigación en Bioprocesos (UDIBI); la Unidad de Servicio Externo e Investigación Clínica (USEIC), y la Unidad de Fabricación de Inmunomoduladores o Pharma FT. Estas unidades han permitido la reorganización de las actividades de investigación y fabricación de Transferón® para lograr cubrir la demanda y las exigencias externas para su acreditación y regulación sanitaria, y han abierto nuevas oportunidades de vinculación y servicios con la industria biotecnológica.

FIGURA 2

Distribución de las capacidades de producción de Factor de Transferencia en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas

<p>UDIBI: Es el laboratorio en el cual se llevan a cabo las actividades de investigación básica y de certificación de calidad de los lotes producidos de Transferón. Laboratorio habilitado por la Cofepris para el análisis de bio-comparabilidad de productos biotecnológicos.</p>	<p>USEIC: Es la unidad encargada de proveer servicios médicos a los pacientes y de realizar investigación clínica regulada por la Cofepris. Se divide en: servicio de inmunología clínica, laboratorio clínico (servicios de diagnóstico), unidad de farmacovigilancia y área de investigación clínica.</p>	<p>Pharma FT: Es la planta de producción de FT. Es la única institución autorizada en México para fabricar Hemoderivados liofilizados y orales.</p>
--	---	---

Fuente: elaboración propia.

Contexto del mercado del Factor de Transferencia

En el mercado mexicano existen otros productos disponibles con características similares a las de Transferón®. Sin embargo, Transferón® es el único producto clasificado como hemoderivado en nuestro país que ha obtenido el registro sanitario como medicamento en la Secretaría de Salud. Este hecho constituye una ventaja competitiva frente a productos con registro de complemento alimenticio. Aquí cabe mencionar que si bien comparten el nombre FT, existen diferencias sustanciales en sus componentes: Transferón® es un medicamento obtenido a partir de células humanas, mientras que el resto de los productos existentes en el mercado son obtenidos de proteínas de origen animal o de células de origen animal; sólo en algunos casos son obtenidos de células humanas, pero se encuentran al margen de la regulación nacional, por lo que representan un riesgo sanitario potencial.

Aunque en el mercado encontramos diversos productos con la etiqueta de Factor de Transferencia, existen muy pocos datos que nos permitan estimar el tamaño de este mercado. Una de las empresas que produce y comercializa uno de estos productos en diversos países es 4Life. Dicha empresa reportó en el año 2010 un aumento de 45 % en sus ventas en el mundo, donde el mercado mexicano representó el 20 % de sus ventas globales.²

Un dato que nos puede dar una idea del mercado potencial del uso de Transferón® son las enfermedades a las que éste se aplica. En la tabla 1 se muestran las enfermedades de pacientes que recibieron consultas para el suministro de Transferón® en el año 2014. Rinitis alérgica es el padecimiento que representa la mayor proporción de suministro de Transferón®. Esta enfermedad es considerada la principal causa de consultas en alergología en México y en muchos otros países, y se estima que el crecimiento de la prevalencia mundial es de entre 10 y 25 % en las últimas décadas (Becerril-Ángeles *et al.*, 2014). A mediados de la primera década de este siglo se estimó que 600 millones de habitantes en el mundo sufrían de este padecimiento. La población infantil es la principal afectada, y en América Latina dicha enfermedad es considerada un problema de salud pública (Baena Cagnani *et al.*, 2009).

Otro indicador interesante son las patentes en el campo tecnológico donde se ha desarrollado Transferón®; dichas patentes pueden reflejar algunos patrones del mercado, así como los intereses económicos de empresas y otros organismos en el desarrollo de productos en el mismo sector. En el campo de biológicos y/o biotecnológicos donde se encontrarían los extractos dializables leucocitarios, en México han sido otorgadas 1 070 patentes, y en la lista de los cesionarios figuran las principales farmacéuticas transnacionales, como Novartis, GlaxoSmithKline, Schering-Plough, Bristol-Myers Squibb y Sanofi-Aventis. La concentración de patentes en estas grandes empresas farmacéuticas revela la existencia de intereses importantes en el desarrollo del mercado de productos biológicos, inmunomoduladores o biotecnológicos.

² Véase <<http://www.4life.com/news/pdetails.aspx?nID=3152>>.

TABLA 1
Enfermedades tratadas con Transferón® en el año 2014

<i>Motivo de consulta</i>	<i>Número de consultas</i>	<i>Frecuencia en 2014</i>
Rinitis alérgica	1460	16.50 %
Artritis reumatoide	966	11.50 %
Cáncer de mama	652	7.40 %
Asma	532	6.50 %
Infección en vías aéreas superiores de repetición(boca, faringe, laringe y tráquea)	488	5.40 %
Lupus eritematoso sistémico	346	3.90 %
Vitiligo	232	2.90 %
Dermatitis atópica	230	2.70 %
Osteoartritis	216	1.80 %
EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica)	174	1.70 %
Virus herpes simple	149	1.60 %
Cáncer de próstata	141	1.50 %
Cáncer de colon	114	1.40 %

Fuente: *Anuario de actividades de la clínica 2014.*

Sin embargo, cabe mencionar que el reconocimiento de productos basados en el FT no se ha hecho por su calidad de medicamentos en todos los países, lo que puede dificultar la consolidación de un mercado en el sector salud. Existen países donde los productos de este tipo (basado en el FT) no son sometidos a los esquemas de regulación como medicamentos para favorecer su comercialización. Tal es el caso de Transfer Factor Classic®, de 4Life, producto que ha sido desarrollado en Estados Unidos y es comercializado en ese país sin ser

sometido a la regulación de la Administración de Drogas y Alimentos (FDA, por sus siglas en inglés), la cual no lo ha reconocido como un medicamento, pero tampoco lo ha prohibido en el mercado. Transfer Factor Classic® es entonces comercializado como complemento alimenticio. Una situación similar sucede en México, donde lo encontramos tipificado en esta categoría como otros basados en FT.

Desarrollo científico y pruebas clínicas

El trayecto de Transferón® desde su desarrollo científico a las pruebas clínicas no ha sido fácil; ha encontrado y superado diversos obstáculos, entre ellos la falta de financiamiento y el escepticismo tanto en el ámbito académico como en el sector salud. En el primer apartado evocamos los antecedentes históricos de Transferón®, cuyos orígenes se encuentran en el ámbito de la investigación y de la medicina. En efecto, desde los primeros desarrollos científicos del FT en México ha habido una estrecha relación con diferentes instituciones de salud que han aplicado el producto con resultados positivos. Esto le ha valido un reconocimiento al FT en el campo de la investigación médica y en el sistema de salud en el país. Reconocimiento de los pacientes y sus círculos sociales, así como de las instituciones regulatorias como la Cofepris, a través de la cual obtuvo su registro y licencia sanitaria.

Aquí es interesante señalar que el registro sanitario como medicamento ante la Cofepris fue otorgado a la presentación de Transferón® inyectable, mientras que las presentaciones Transferón® solución oral y Transferón® específica solución oral (liofilizado) aún se encuentran en la fase de aprobación. Este aspecto es de especial importancia, ya que la transición desde los experimentos en los laboratorios hasta la aplicación en pacientes y la venta al público tuvo lugar mediante la evaluación en fase clínica de las presentaciones tipo oral. Esto fue resultado de la legislación permisiva de la época para el desarrollo de nuevos medicamentos, legislación que permitió la introducción de Transferón® en el mercado de manera rápida, ya que sólo tomó como base la gran cantidad de información obtenida en las décadas anteriores a partir de las pruebas en humanos.

La consolidación de las capacidades que actualmente posee la ENCB es resultado de la superación de diversos obstáculos, pero también del aprovechamiento de las oportunidades que se le ofrecieron. Es por esta razón que la ejecución del modelo de gestión establecido para la producción de Transferón® ha dependido principalmente de los conocimientos que la doctora Pérez Tapia tiene para superar retos de escala industrial, como la gestión de plantas farmacéuticas, el control de procesos en el desarrollo de medicamentos y los métodos de control de calidad.

Dichos elementos han permitido unir los esfuerzos de sus integrantes a través de las unidades mencionadas. La ENCB trabaja como una empresa que genera sus propios recursos y consolida su propia imagen sin salir de las instalaciones del IPN. Tal estructura también ha influido en el crecimiento de su base de colaboradores académicos, que actualmente está constituida por más de 130 investigadores y médicos. Esto se refleja en el número de pacientes en tratamiento, que pasó de unas pocas decenas a principios del año 2000 a 9 234 en el período 2012-2013.

Ambos indicadores comprueban el crecimiento exponencial logrado durante este período. Sin embargo, la creciente demanda de Transferón® por parte de la población ha provocado que la infraestructura se encuentre rebasada en términos del número de dosis requeridas, y lo mismo cabe decir del promedio de atención a pacientes por semana, que asciende a 450 personas hoy en día.

Transferencia de nuevos conocimientos en la ENCB

El tema de la transferencia de nuevos conocimientos y de tecnología en el caso que nos ocupa es interesante por las dificultades que se fueron presentando y por su solución. En efecto, la transferencia tecnológica y la diseminación de nuevos conocimientos no constituyen un desarrollo lineal sino que reflejan los diversos procesos sociales que se van dando a lo largo de las trayectorias. Ya mencionamos algunos hechos que muestran que la transferencia de tecnología y de nuevos conocimientos ha encontrado barreras institucionales y materiales.

A lo largo del desarrollo del FT hemos identificado algunos ejemplos de transferencia de nuevos conocimientos. En los primeros 20 años del desarrollo de este producto en México, han tenido lugar diferentes colaboraciones con instituciones públicas del sector salud (INER e ISSSTE, en las cuales se suministró este producto para tratar diversas enfermedades. Estas colaboraciones son un ejemplo de la forma en que se transfirieron conocimientos desde la ENCB hasta los usuarios finales, en este caso los pacientes. Otro caso de transferencia de conocimientos hace referencia a las colaboraciones con el Cimeq en La Habana, Cuba, donde hubo transferencia de conocimiento para la producción del FT en ese país.

Además, las colaboraciones con instituciones del sector salud continúan actualmente a través de convenios y/o protocolos clínicos. Los productos de estas colaboraciones son publicaciones en coautoría, así como la transferencia de conocimientos científicos y técnicos sobre el FT. De estas colaboraciones han derivado experiencias para el uso continuo de Transferón® fuera de las instalaciones de la USEIC. Sin embargo, la barrera del registro sanitario para cada una de las enfermedades ha dificultado la diseminación y uso de este producto en otras instituciones. Aquí cabe mencionar que el proceso de obtención de los registros sanitarios representa inversiones materiales, tiempos prolongados, así como la *expertise* para la realización de los protocolos clínicos necesarios y el cumplimiento de diversas normas oficiales y otras regulaciones (este tema es profundizado en el siguiente apartado).

La formación de recursos humanos también puede ser vista como un canal de transferencia de conocimientos. De hecho, en el desarrollo de nuevas tecnologías la diseminación de nuevos conocimientos pasa por este tipo de canales (Robles-Belmont y Vinck, 2012). Desde los inicios del desarrollo del FT en México, numerosos estudiantes de licenciatura y posgrado han sido vinculados a las actividades de investigación y desarrollo de este producto. Algunos de los profesionistas que han elaborado sus trabajos de investigación para la obtención de grados académicos en el grupo de investigación del FT, han seguido presentes en el proyecto, a fin de cubrir funciones específicas que ha demandado el desarrollo mismo de Transferón® y para superar las barreras técnicas, organizacionales y administrativas que este desarrollo ha encontrado en su trayectoria.

Sin embargo, otros profesionistas han dejado el grupo, llevándose consigo ciertos conocimientos sobre los procesos de producción del FT que, en algunos casos, han sido explotados en otros lugares.

Por lo demás, del proyecto de Transferón® han surgido dos patentes, las cuales tienen una doble función: proteger la tecnología y el conocimiento creados, y servir como mecanismos para el licenciamiento de dichos conocimientos y tecnología, es decir, para dejarlos en condiciones de ser transferidos. Hasta ahora el producto Transferón® no ha sido utilizado bajo licenciamiento, por diversas razones que van desde regulaciones ambiguas hasta las barreras institucionales (administrativas y legales) con las que el propio IPN limita la transferencia de tecnología.

Los registros sanitarios

La obtención de los registros sanitarios y la emisión de permisos de salud para la comercialización de medicamentos, son procesos que implican inversiones económicas importantes, y los tiempos de obtención son largos. De hecho, aunque se desarrollan miles de moléculas, sólo una o dos llegan a ser aprobadas para su comercialización después de un periodo promedio de 12-15 años en las diferentes etapas de investigación y pruebas clínicas (Marovac, 2001). Esto es indudablemente una barrera para la comercialización de nuevos productos médicos.

La obtención de registros sanitarios para Transferón® no ha sido la excepción. Como ya se mencionó, el reconocimiento del FT no ha sido sencillo en México, y lo mismo se puede observar a nivel internacional, como se verá en el siguiente apartado. En efecto, el desarrollo de Transferón® está inserto en un campo tecnológico en plena emergencia, por lo que los ajustes institucionales y regulatorios no se han verificado. Esto se refleja en el vacío protocolario perceptible en los registros sanitarios para este tipo de productos. Este vacío deja a los productos basados en el FT una única salida: ser comercializados como suplementos alimenticios. Escapan así a los protocolos y procesos costosos de regulación de los medicamentos.

Sin embargo, la emisión de permisos de salud para el producto Transferón® ha sido en parte posible gracias a la movilización del capital social de la doctora Pérez Tapia, quien mantiene estrechos lazos con funcionarios de la Cofepris y forma parte del Subcomité de Evaluación de Productos Biotecnológicos de la mencionada institución. La adhesión a este Subcomité, así como su pertenencia a varias asociaciones vinculadas con el área biológico-farmacéutica, ha permitido a la doctora Pérez Tapia adquirir *expertise* en lo relativo a los procesos de obtención de los registros y licencias sanitarios tanto de los laboratorios (certificado de buenas prácticas de fabricación) como del producto Transferón® en sus nuevas modalidades.

Cabe mencionar que la obtención de estos registros sanitarios ha implicado una serie de ajustes organizacionales y de aprendizajes colectivos dentro del proyecto, ya que los aspectos técnicos que requieren los laboratorios son igualmente contemplados en las normas obligatorias con que deben cumplir. Esto se ha observado en el caso de la planta de producción de Transferón®, la cual fue concebida con miras a cumplir la NOM-059-SSA1-2013 sobre Buenas prácticas de fabricación de medicamentos. Esta norma establece “los requisitos mínimos necesarios para el proceso de fabricación de los medicamentos para uso humano comercializados en el país y/o con fines de investigación”, y su cumplimiento ha sido una condicionante para la obtención de los registros sanitarios.

La instalación de la planta piloto de producción en locales que no habían sido pensados para ese fin, significó una serie de barreras lo mismo de carácter material y técnico que organizacional, pues la planta se encuentra en un edificio donde igualmente se encuentran otras entidades de la ENCB con las que se comparten las instalaciones. Otro aspecto importante de esta norma para la obtención de los registros sanitarios son las medidas que deben adoptarse para asegurar el mantenimiento del equipo de producción, que al incrementar la producción de Transferón®, el servicio de mantenimiento que proporciona el IPN ha sido rebasado. Esto ha llevado a crear una Unidad de Soporte Técnico con el fin de cumplir las exigencias de la nueva planta de producción en materia de mantenimiento al equipo utilizado.

Comercialización y servicios en la clínica de la ENCB

La comercialización de un producto médico emergente cuya aceptación en el sector salud ha tomado un tiempo considerable no es sencilla. Como se ha mencionado en otros apartados de este texto, el uso de Transferón® en pacientes no es reciente, y su comercialización, una vez obtenido el registro de salud, ha permitido la capitalización del proyecto. Sin embargo, además del registro, otras barreras han surgido para la comercialización del producto.

Entre estos obstáculos figura la propia dinámica de producción, diseminación y uso de conocimiento que predomina en las instituciones académicas públicas, donde la comercialización de productos basados en conocimientos nuevos producidos en dichas instituciones no es aún ampliamente aceptada. El caso de Transferón® no es la excepción, ya que en el IPN la reglamentación limita la participación de los investigadores en emprendimientos, por el temor al surgimiento de conflictos de interés. Éste es un factor de importancia, ya que Transferón® ha encontrado la capacidad de producir rendimientos considerables como resultado de su base de pacientes, que se encuentra constituida por alrededor de 12 000 personas mensuales.

La cantidad de pacientes se ha convertido en un factor de presión para el grupo, por cuanto éste enfrenta limitaciones como las siguientes: la falta de espacio para la instalación de nuevos equipos; la falta de plazas de investigación para nuevos colaboradores, y la ausencia de incentivos de seguridad social para la prevención de accidentes de trabajo dentro de los laboratorios. Todo ello ha provocado una tendencia a la fuga de cerebros e ideas entre los investigadores más jóvenes.

A pesar de que las mencionadas circunstancias han obstaculizado la difusión comercial de Transferón®, las experiencias negativas han sido utilizadas para fortalecer la estructura interna de la organización. En este sentido, los avances más importantes se resumen en las siguientes actividades:

- La consolidación de los convenios previamente establecidos con bancos de sangre certificados para un suministro estable de glóbulos blancos.

- El establecimiento de colaboraciones con instituciones públicas del sector salud de distintas especialidades para el tratamiento de nuevas enfermedades.
- La culminación del proyecto de construcción de la fábrica de producción en masa del FT en la ENCB.
- La creación de una estrategia de distribución para el Transferón®, la cual ha quedado inconclusa por la falta de permisos para su transporte a nivel nacional.
- El aumento del número de publicaciones científicas que logren refutar el prejuicio de las instituciones de salud pública en torno a la efectividad y seguridad del producto.
- El aumento de la capacidad de la ENCB para otorgar servicio clínico a pacientes, el cual promedia 12 000 hasta el año 2014.

La sobreexplotación de la infraestructura del IPN ha dado por resultado un impacto negativo en la producción de Transferón®, que alcanza las 500 000 unidades hasta el año de 2014. Sin embargo, en palabras de la doctora Álvarez, actualmente su demanda se encuentra en 1.5 millones de unidades, es decir, que sólo se cubren las necesidades de 33 % de su mercado. Por ello se hace necesario buscar el licenciamiento para la explotación industrial que le permita mantenerse vinculada al desarrollo del producto.

Sin embargo, esta situación implica una distribución pertinente de las regalías entre la universidad y la industria, ya que de lo contrario se puede comprometer la viabilidad financiera de la empresa. Por esta razón, el caso de Transferón® no ha logrado concretarse en un acuerdo formal entre el IPN y las empresas interesadas.

Conclusiones

En este capítulo hemos revisado los antecedentes históricos y los contextos en que se ha desarrollado Transferón®. A lo largo de las cuatro décadas de su desarrollo, aplicación y comercialización, los actores han encontrado diversas

barreras tanto en el interior de su institución como fuera de ella, así como los incentivos que han permitido la consolidación del proyecto.

En lo que concierne a las barreras, en la tabla 2 se muestran las identificadas en este estudio, así como las soluciones encontradas para superarlas. Las diversas barreras que identificamos ya habían sido señaladas en la literatura académica; sin embargo, es interesante documentar las formas en que han sido sorteadas o solucionadas desde el contexto institucional y particularmente en el campo científico y de mercado donde se ha estado desarrollando el FT. Las barreras que han predominado a lo largo de estas cuatro décadas han sido las relacionadas con la falta de infraestructura y de financiamiento, así como las relacionadas con la burocracia y con los desfases temporales entre la institución pública y la industria.

Las estrategias llevadas a cabo han intentado extender los márgenes de acción del proyecto. En el seno de la institución han sido creadas nuevas unidades o departamentos con el fin de sobrepasar las barreras que imponen los tiempos marcados por las dependencias del IPN. Y extramuros se han conformado y consolidado colaboraciones con diversos investigadores de otras instituciones.

Los incentivos han sido más difíciles de calificar. Uno de los más importantes es de carácter social: el aporte a la salud pública de Transferón®. La localización de la clínica y la forma de seleccionar a los pacientes a quienes se administrará Transferón®, son dos elementos importantes para que el acceso al producto sea posible para pacientes de diversas clases sociales. Esto puede ser considerado un beneficio social por parte de Transferón® y ello se trasluce en el reconocimiento y la recomendación del producto por parte de pacientes y familiares.

Otro incentivo ha sido el económico, ya que gracias a la generación de recursos propios por parte del proyecto ha sido posible la instalación de la infraestructura necesaria para la investigación, la fabricación y la aplicación de Transferón®. Para los actores, dicho incentivo es una prueba tangible de crecimiento, aunque no puedan ser beneficiados directamente en términos económicos debido a las restricciones impuestas por las reglas institucionales, que impiden el goce directo del retorno económico por la venta del producto.

TABLA 2
Barreras y soluciones en el desarrollo de Transferón®

	<i>Barreras</i>	<i>Solución</i>
<i>Falta de Infraestructura</i>	Producción limitada de unidades de Transferón® en relación a la tasa de pacientes candidatos.	Obtención de fuentes de glóbulos blancos a partir de familiares consanguíneos (padres, hermanos, tíos).
<i>Capacidades limitadas de investigación</i>	El limitado conocimiento sobre el efecto terapéutico del FT provoca desconfianza en la población.	Los resultados positivos de Transferón® en pacientes impulsan su aceptación general y la colaboración de investigadores para el tratamiento de nuevas enfermedades.
<i>Falta de recursos para la difusión y promoción del producto</i>	La falta de información limitó la capacidad de producción del FT en el laboratorio, lo cual afectó directamente a la cantidad de pacientes beneficiados.	La incursión de nuevos investigadores ante los efectos positivos de Transferón® ha permitido su difusión en otras áreas de la medicina, incrementando su capacidad productiva en más de 10 veces para 1999.
<i>Burocracia gubernamental</i>	Las controversias institucionales en torno a la efectividad del medicamento en los pacientes ha impedido el desarrollo de nuevos métodos de administración del medicamento y el incremento de las capacidades productivas de Transferón®.	Para superar las barreras burocráticas, el Transferón® ha sido fabricado en una Planta Piloto como un medicamento de administración oral, de tal manera que no involucra ningún tipo de peligro para la salud del paciente.

<i>Infraestructura sub-explotada</i>	Las controversias legales y las obligaciones fiscales de la empresa constituida por el Doctor Estrada han sido un factor para el crecimiento inestable de la capacidad de producción de Transferón®.	Las barreras burocráticas para la conformación de una estrategia de producción a nivel industrial han obligado a los integrantes de la ENCB a generar y gestionar sus propios recursos humanos y materiales.
<i>Falta de una política de desarrollo científico y tecnológico nacional</i>	Esta característica ha afectado los planes de desarrollo para la producción masiva de FT, en tanto que no existen los mecanismos legales o financieros necesarios para traducir la innovación desde el laboratorio hacia la industria.	
<i>Falta de apoyo institucional</i>	<p data-bbox="545 1037 894 1188">La falta de recursos en el IPN ha propiciado un crecimiento limitado de la planta de investigadores especializados en el FT.</p> <hr/> <p data-bbox="545 1209 894 1478">El elevado costo del equipo de investigación de la ENCB ha sido un factor decisivo en los obstáculos financieros que el Transferón® ha experimentado para su explotación comercial.</p>	La ausencia de líneas de financiamiento constituye un incentivo potencial a la incursión de actores privados en la producción de Transferón®.

<i>Conflictos de interés</i>	La efectividad probada de Transferón® ha provocado un conflicto de interés con el IPN, empresas privadas de distribución y gobiernos extranjeros como resultado de su potencial impacto negativo en el mercado de medicamentos tradicional.	El conflicto de interés ha provocado el fortalecimiento de las relaciones con el reducido grupo de investigadores y médicos que confía plenamente en la tecnología del FT.
<i>Ausencia de políticas para la participación de investigadores en empresas</i>	Temor al surgimiento de conflictos de interés por violación a reglamentos institucionales. Falta de políticas para la consolidación de empresas <i>spin-off</i> y <i>start-up</i> en el IPN. Discrepancias universidad-industria en la distribución de regalías económicas.	
<i>Obstáculos legales</i>	Las barreras legales han impedido la producción de nuevas tecnologías que se apoyan en el FT, ya que las capacidades de investigación del IPN son limitadas.	
<i>Obstáculos de infraestructura</i>	La capacidad de investigación de la ENCB ha sido rebasada por la demanda de Transferón® por parte de los pacientes y enfermedades en las que se puede aplicar.	La utilización de las unidades Pharma-FT, USEIC-IPN y UDIBI, ha permitido contrarrestar temporalmente la sobre-explotación de la infraestructura de la ENCB.

<i>Fuga de ideas</i>	La falta de incentivos al desarrollo de nuevas tecnologías ha obligado a investigadores a transferir su conocimiento de manera personal a las empresas.
----------------------	---

<i>Fuga de cerebros</i>	La ausencia de plazas de investigación para los colaboradores del grupo incentiva su migración a otras instituciones con mejores incentivos y prestaciones para la investigación.
-------------------------	---

<i>Barreras burocráticas entre Pharma FT y la ENCB</i>	La comunicación deficiente entre la administración de la ENCB y Pharma FT provoca rezagos en la adquisición de recursos básicos para la investigación y producción.
--	---

<i>Falta de tiempo y sobrecarga de trabajo</i>	La ejecución de múltiples actividades para mantener un ritmo de trabajo constante ha impedido el cumplimiento de otras obligaciones como la producción de artículos, la impartición de clases y todos los requisitos necesarios para mantener un registro ante el Sistema Nacional de Investigadores. Esta situación se ve reflejada en el reconocimiento académico del grupo de investigación dentro del IPN, que es nulo.
--	---

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, es interesante señalar un incentivo más que permitió la continuidad del desarrollo de Transferón®: la ausencia de un marco regulatorio en los primeros años del desarrollo del producto hizo posibles las primeras aplicaciones y la obtención de reconocimiento en algunos ámbitos médicos, así como la generación de antecedentes y de *expertise* en el uso del FT.

Bibliografía

- Baena Cagnani, C. E., *et al.* (2009), “Actualización de rinitis alérgica y su impacto en el asma (ARIA 2008)”, *La Perspectiva Latinoamericana*, vol. 56, núm. 2, pp. 56-63.
- Becerril-Ángeles, M., *et al.* (2014), “Diagnóstico y tratamiento de rinitis alérgica”, en *Guía de Práctica Clínica*, recuperado el 15 de abril de 2015, en <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/041_GPC_RinitisAlergica/imss_041_08_EyR.pdf>.
- Derbez García, E. (2003), “Entrevista al doctor Sergio Estrada Parra”, *CiENCiA UANL*, vol. 6, núm. 2, pp. 163-170.
- Marovac, J. (2001), “Investigation and Development of New Medications: from the Molecule to Drug”, *Revista Médica de Chile*, vol. 129, núm. 1, pp. 99-106.
- Robles-Belmont, E., y D. Vinck (2012), “Organismos filantrópicos y no gubernamentales en el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías: el caso de las micro y nanotecnologías en México”, *Revista Tecnología e Sociedade*, vol. 8, núm. 11, pp. 25-70.

Anexos

Palabras clave representativas del campo tecnológico del factor de transferencia empleadas en la estrategia de búsqueda de la consulta de la base de datos *Derwent Innovations Index*:

LAS BONDADES DE TRANSFERÓN®

- Dialyzable leukocyte extract
- Transfer factor
- Factor and glycoforms
- Immunomodulatory
- Hemoderivative
- Immune response
- TH1
- Cytokines
- Interferon gamma
- Cellresponse

5. Vitalmex: barreras a la actividad innovadora de dispositivos médicos en México

Itzel Ávila y Pilar Pérez-Hernández

Introducción

Actualmente las enfermedades con mayor prevalencia en la población son las denominadas no transmisibles, y entre ellas destacan las enfermedades cardiovasculares (ECV). La preocupación mundial por disminuir los porcentajes de casos de morbilidad y mortalidad por tales padecimientos ha sido motivo para que el sector salud y en especial la industria de dispositivos médicos (DM) investiguen y desarrollen tecnologías que coadyuven a las actividades de detección temprana, prevención y tratamiento de enfermedades predominantes en la población.

En México existe una alta incidencia de ECV en personas mayores de 30 años, mientras que en los niños dichas enfermedades se presentan por malformaciones del corazón desde el nacimiento (Conapo, 2013). El índice de mortalidad por ECV, en específico por malformaciones congénitas en niños de cinco años de edad, se elevó en las últimas dos décadas (1990-2010), pasando de la novena a la segunda causa de defunción. En el caso de las mujeres de entre 30 y 59 años, y de 60 en adelante, ocupa la segunda posición. Sin embargo, para el género masculino de entre 30 y 50 años se mantiene como cuarta causa de muerte. Para el rango de personas con más de 60 años, se colocó en la primera causa de decesos. En promedio, ambos sexos tienen en el segundo lugar los fallecimientos por ECV.

El sector de DM se caracteriza por realizar cambios tecnológicos constantes y acciones rápidas y oportunas en la innovación de productos. Emprender el desarrollo de una tecnología médica requiere conseguir e incrementar capacidades tecnológicas, realizar cambios organizacionales y acoger nuevas estrategias para mejorar el desempeño de la empresa. No olvidemos que el valor de los productos y servicios del sector salud se relaciona directamente con los beneficios que ofrecen a los consumidores o usuarios.

En este trabajo se analizan las barreras que se han puesto a la actividad innovadora en el desarrollo de DM en México, particularmente en el caso de la empresa Vitalmex y de la tecnología del Vitacor®UVAD. La metodología empleada en este trabajo es el análisis de casos, para lo cual se revisó la literatura disponible, se recolectaron datos y conocimientos del caso y de sus diferentes fuentes de información directa e indirecta. Además de esta introducción, el trabajo se compone de seis secciones: las características del sector, los antecedentes del proyecto, las características del agente, la trayectoria del caso, los puntos catalizadores de la transferencia, y las conclusiones.

Características del sector

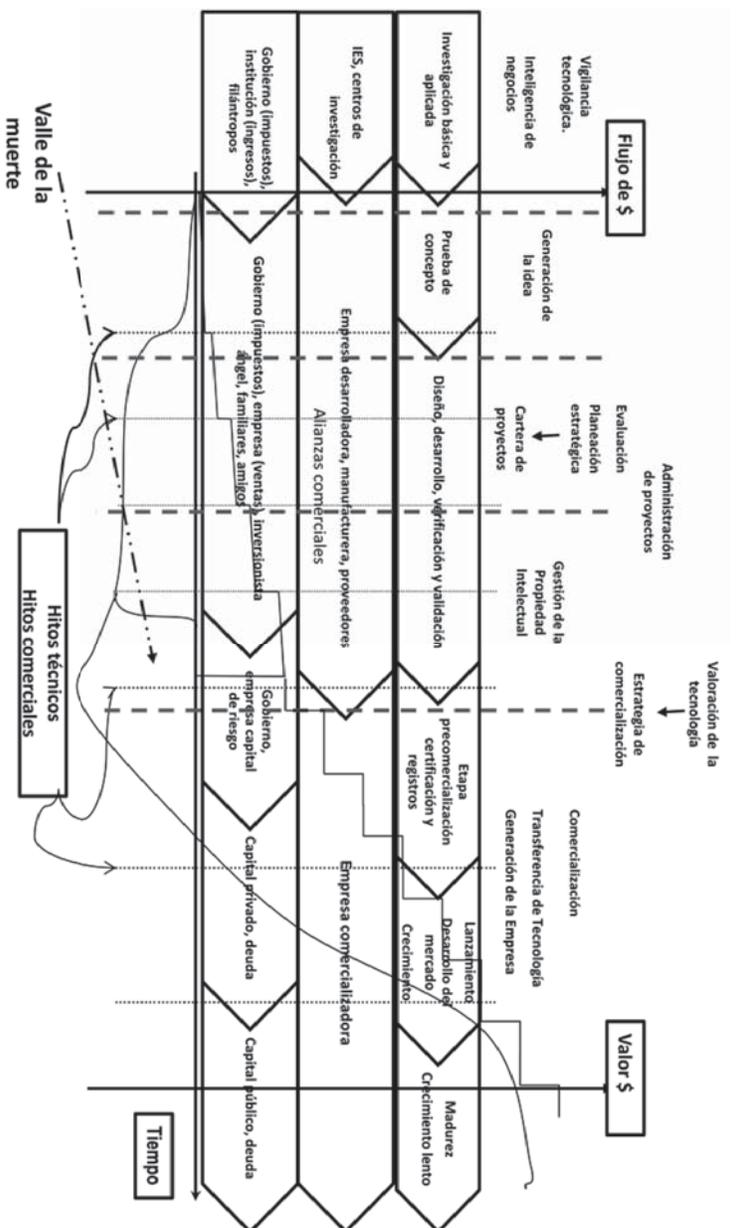
El proceso para la concepción de un DM depende de dos variables: tiempo y flujo de capital, e implica la colaboración entre la industria, la academia y el gobierno. Los atributos que le agregan valor a este tipo de tecnologías son los denominados *hitos*, que se clasifican en técnicos y comerciales. Dichos hitos son la clave para reducir el riesgo y la incertidumbre relacionados con la innovación. La revalorización de la investigación y el desarrollo (I+D) depende directamente de la suma de atributos que caracterizan la tecnología; ello implica que el costo de la misma se vea afectado por el tipo de hitos que ocurran. La circunstancia de que la tecnología no reúna un número considerable o suficiente de características aumenta la incertidumbre y reduce las posibilidades de atraer inversores al proyecto (Porter, 2010; Cabrera, 2010; Flores, 2010; OMS, 2013).

Los hitos técnicos son características que dan valor a la parte tecnológica del desarrollo. Dichas características son las siguientes: respaldo científico; prueba de concepto; protección de la propiedad intelectual (PI); diseño del concepto; diseño a detalle; prototipo funcional; verificación (pruebas de banco); diseño para manufactura, y validación (pruebas preclínicas y clínicas). Por su parte, los hitos comerciales son particularidades o características que ayudarán a posicionar la tecnología en el mercado. Entre ellas figuran las siguientes: definición de la necesidad no satisfecha; estimación del tamaño del mercado; análisis de clientes y competidores, y definición del concepto del producto. Estos últimos hitos son de vital importancia para el lanzamiento de nuevas tecnologías al mercado.

Una de las principales barreras para la innovación en el sector de DM se presenta en la primera fase, la denominada “generación de la idea”, en la que aún no se tiene una noción completa de la necesidad, lo que origina una brecha entre el diseño y el uso del dispositivo (OMS, 2012). En un futuro se puede generar un dispositivo para un contexto donde no existe una necesidad y que, por lo mismo, carece de demanda (Flores, 2010). En efecto, es importante fundamentar la propuesta del desarrollo tecnológico mediante la vigilancia tecnológica y la inteligencia de negocio, para así llegar a la definición de la necesidad. Las fases de investigación básica y aplicada, así como la prueba de concepto, requieren una inversión que es relativamente baja en comparación con el resto del proceso.

La figura 1 muestra la secuencia de las etapas en el desarrollo tecnológico de un DM. La línea roja representa el flujo de capital en el proceso y destaca un punto crítico, el denominado “valle de la muerte”, en la fase que engloba las actividades de diseño, desarrollo, verificación y validación, debido a los montos de la inversión requeridos para realizarlas. La inversión de capital se puede obtener de programas de apoyo gubernamentales, de inversionistas ángeles, y de familiares y amistades (Urrusti, 2013). Sin embargo, los apoyos que el gobierno designa para fortalecer e incentivar la innovación del sector salud representan una parte minoritaria, tomando en cuenta la enorme cantidad de recursos económicos que se requieren.

FIGURA 1
Etapas en el desarrollo tecnológico



Fuente: adaptado de Urrusí *et al.* (2012).

Prever el capital requerido y las fuentes de inversión son acciones trascendentes para el proyecto; si no se tiene una estimación apropiada se corre el riesgo de fracasar y perder cuantiosas inversiones.

También requieren la solidez del flujo de capital las siguientes acciones: las pruebas piloto; las mejoras del diseño; la contratación de servicios de laboratorios certificados (en caso de no contar con la infraestructura requerida), los cuales son necesarios para realizar las pruebas clínicas; los pagos correspondientes a la protección de la PI, y las compras a proveedores (en algunos casos alianzas estratégicas) que conforman la cadena del valor para la producción de la tecnología.

La gestión de la PI es la clave para competir en el mercado, ya que contar con los derechos correspondientes permite bloquear a los rivales de la industria y obtener una ventaja competitiva que debe ser explotada en relación con la vigencia de la misma. El tipo de estrategia también depende del creador de la tecnología.

En ese contexto, el *hito* técnico aporta valor a la tecnología y debe cubrirse en etapas críticas del proyecto (véase figura 1). Esta acción es un tema complejo, debido al desconocimiento de los mecanismos y estrategias de los desarrolladores, lo que se refleja en la carencia de una cultura de PI en México (Flores, 2010; Urrusti *et al.*, 2012).

La etapa de las actividades relacionadas con la precomercialización, certificación y registros sanitarios implica cumplir los requisitos exigidos por los organismos de regulación sanitaria para obtener la aprobación de uso y comercialización de la tecnología. Muchos proyectos fallidos no superan la barrera de la regulación previa a la comercialización, debido a la falta de planificación y a una estrategia inadecuada (Urrusti *et al.*, 2012). Esta etapa es determinante en el desarrollo de tecnología médica.

Por otro lado, al inicio de la etapa de precomercialización se recomienda llevar a cabo un estudio de valoración de la tecnología; es decir: se aconseja determinar el precio de venta tomando en consideración el estado tecnológico y los propósitos lucrativos del desarrollador. Este estudio permitirá diseñar una estrategia de comercialización alineada con las ventajas competitivas de la tecnología y con las expectativas creadas.

La penúltima fase concierne al licenciamiento y lanzamiento del producto y al desarrollo del mercado. Estas actividades derivan del tipo de estrategia de

comercialización vislumbrada para el desarrollo tecnológico. La última etapa se refiere a la maduración en el mercado, que al principio es lenta debido a cuestiones de aceptación y promoción del bien ofertado. Se caracteriza por tener un flujo alto de capital y se hace tangible el beneficio económico esperado.

Urrusti *et al.* (2012) aseguran que en México existe poca producción de nuevas empresas y productos debido a la escasez de inversionistas ángeles y de capital de riesgo, así como a lo engorroso de los procedimientos burocráticos en los departamentos jurídicos de las instituciones para celebrar convenios de colaboración entre ellas y los inadecuados programas gubernamentales de apoyo a las empresas para las fases de prueba de concepto, desarrollo, y pre-comercial. Asimismo son problemas la carencia de una cultura de protección de PI, la falta de una visión de largo plazo y la ausencia de mercados globales.

Por otro lado, la relevancia de la colaboración entre la academia, la industria y el gobierno para desarrollar tecnología médica, radica en una logística adecuada que respalde el trabajo involucrado así como en comprender el objetivo de la tecnología, para evitar problemas de conceptualización y planeación.

El caso que aquí presentamos es el desarrollo de un dispositivo médico de corazón, el Vitacor®UVAD. El corazón está expuesto a sufrir diferentes tipos de ECV llamadas cardiopatías. Dentro de estas enfermedades se encuentra la insuficiencia cardíaca (IC), que consiste en una falla en el funcionamiento del bombeo del corazón. Los tratamientos para la IC son: farmacológico; dispositivos electrónicos para evitar una muerte repentina o para optimizar el funcionamiento ventricular; procesos de revascularización; trasplante cardíaco, y métodos de asistencia ventricular en IC en fase terminal o avanzada (clase IV). Los pacientes que sufren IC de clase IV en algunas ocasiones requieren trasplante de órgano, aunque en otros casos no son candidatos o ya no responden a tratamientos farmacológicos. Sin embargo, la demanda de corazones es alta en comparación con el número de donaciones.

Dentro de las opciones de tratamiento orientadas a reducir los índices de IC avanzada, se encuentran los dispositivos de asistencia ventricular (VAD, por sus siglas en inglés), que brindan apoyo mecánico para el corazón de los pacientes por medio de bombas que reducen la carga de trabajo.

Este segmento de mercado se encuentra en pleno crecimiento, ya que las enfermedades cardiovasculares ocupan los primeros sitios en la clasificación de los padecimientos de mayor prevalencia a nivel mundial. El valor del mercado global de los VAD en 2010 fue de 500.3 millones de dólares (md) con una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) de 11 %, y se espera que para 2017 el valor se incremente por arriba de mil millones de dólares. Esta situación es resultado del aumento de la población que presenta problemas cardiovasculares avanzados.

Entre las empresas del sector se encuentran las siguientes: HeartWare International (EUA); Berlin Heart GmbH (Alemania); MicroMed Cardiovascular Inc. (EUA); Jarvik Heart (EUA); Terumo Heart, Inc. (EUA); Abiomed Inc. (EUA), y Thoratec Corporation (EUA). Esta última se posiciona como líder mundial en apoyo circulatorio con 73 % de participación en el mercado de los VAD.

Los VAD tienen años utilizándose; en 1963 se registró el primer implante. Estados Unidos cuenta con registros importantes de su uso, y México sólo tiene registro de tres casos: uno en el que se realizó el implante bajo el tratamiento de terapia de destino, y otros dos como puente para trasplante (en uno de estos casos se utilizó el Vitacor®UVAD). Cabe resaltar que México es pionero en investigación y en los trabajos de soporte mecánico en Latinoamérica (Gómez, 2014).

Antecedentes del proyecto

En 1976, el ingeniero Jaime Cervantes Hernández, egresado del Instituto Politécnico Nacional y presidente y dueño del grupo Vitalmex, decide incursionar como empresario en el sector de dispositivos médicos, en un principio como vendedor de equipos para hemodiálisis y cirugía del corazón, a fin de mejorar los servicios de salud en el país. El detonante de su decisión fue una experiencia familiar.

En los años ochenta y noventa la empresa se consolida como comercializadora, lo que ocasionó su reestructuración como grupo empresarial conformado por empresas y fundaciones creadas a lo largo de más de tres décadas en el mercado de los DM, lapso en que no dejó de perseguir el sueño de convertirse en un líder a nivel mundial revolucionando los sistemas de salud a través de

sus modelos de negocio como comercializadora de DM y Servicios Integrales (SI) adaptados a las necesidades de los clientes. Vitalmex brinda disponibilidad de recursos que se traducen en accesibilidad al sistema de salud y en atención oportuna para la población. En la política de esta comercializadora, la relación proveedor-usuario es vital.

Los esfuerzos por estar a la vanguardia se han visto reflejados en la creación de diversas empresas cuya finalidad es investigar, diseñar, desarrollar y manufacturar nuevos productos para el sector salud, así como extender su mercado a nivel internacional con sus líneas de productos y servicios.

El proyecto del “ventrículo artificial” se inició en 2001 con la generación de la idea, que nace como inquietud de un usuario potencial que propuso desarrollar una tecnología médica para el área de cardiología. Se crea Innovamédica como empresa dependiente del grupo Vitalmex —empresa cuyo giro está orientado a la investigación e innovación de tecnologías dirigidas al sector de DM—, lo que implicó invertir en infraestructura y en la formación de capital humano para diseñar, investigar e innovar. Para el apoyo y financiamiento de dicho proyecto se contó con la participación de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), de las instituciones de salud y de organismos públicos como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

El resultado de este esfuerzo fue una invención para el Sistema de Salud Mexicano (SSM), invención que pretende brindar nuevas alternativas al mercado global de los VAD y ofrecer una propuesta para reducir los índices de mortalidad y morbilidad por insuficiencia cardíaca en el país. La definición de la necesidad se centró en resolver dicha problemática. Posteriormente la tecnología tomó el nombre de Vitacor®UVAD. La decisión de Vitalmex para invertir en un desarrollo tecnológico de esta índole estuvo incentivada por la fuerte competencia industrial que caracteriza al sector de los DM en México, inclusive por la necesidad de expandir sus horizontes al mercado internacional; de ahí el esfuerzo por fortalecer su posición a través de la comercialización de productos innovadores hechos en casa. Esta decisión trajo consigo el desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas de innovación al llevarlas del nivel básico al intermedio.

Características del agente

En la evolución de la empresa se pueden distinguir cinco fases:

1. *Creación de la empresa.* Al inicio de sus operaciones, Vitalmex reveló que sólo contaba con capacidades de inversión básicas, pues se había focalizado en la operación de la empresa (rutinas simples); posteriormente y considerando la naturaleza del sector en que se encuentra inmersa, desarrolló capacidades para la planeación e inversión en nuevos proyectos, lo que dio como resultado la constitución de la empresa. En la evolución de sus capacidades (inversión y producción), el grupo detectó una necesidad que aún no estaba cubierta en el mercado, y de esta manera introdujo en el país equipos para diálisis peritoneal mecánica. De igual manera se logró asimilar la tecnología y se buscaron opciones para incrementar su competitividad en el mercado.

2. *Consolidación como empresa comercializadora (1980-1989).* En esta etapa ya se tenía un mejor conocimiento del entorno y del propio desempeño de la empresa, como base para adquirir capacidades esenciales de producción y vinculación mediante la corrección de problemáticas internas, la asimilación de tecnología, la mejora de la logística del trabajo e inventario, y el establecimiento de relaciones con empresas proveedoras de bienes y servicios para el sector salud. Después las capacidades de inversión se elevaron a un grado intermedio con la creación de la empresa Instrumed de México, para fabricar y manufacturar DM (específicamente insumos para diálisis peritoneal, y consumibles para cardiología). Ello también permitió adquirir habilidades básicas de producción para asimilar la tecnología, el diseño, el flujo de trabajo y el control de inventarios, así como para mantener sus capacidades de vinculación dentro de la economía. La relevancia de este periodo se encuentra en el avance hacia la obtención de destrezas de innovación para la producción de DM simples, nuevos para la empresa mas no para el mercado.

3. *Crecimiento basado en alianzas (1990-1999).* Vitalmex creó nuevos vínculos a través de alianzas estratégicas con empresas transnacionales (Medigrant – empresa rusa– en 1990, y Cobe de México en 1994) para incursionar en el

modelo de negocio de los SI en el área de hemodiálisis del sector mexicano; así se consolidó como pionera en dicho modelo de negocio. Como consecuencia, sus capacidades relacionales subieron de nivel al establecer colaboraciones exclusivas con proveedores mediante la transferencia de tecnología. Por otro lado, las capacidades tecnológicas de inversión, producción y vinculación aumentaron al adoptar una nueva estrategia de mercado, mientras que las correspondientes a la innovación se mantuvieron en el mismo estado. Por lo demás se infiere que la empresa aprendió y asimiló oportunamente el dinamismo del sector, lo que le favoreció; y para el apoyo y financiamiento de dicho proyecto paralelo al cambio tecnológico, adaptó los SI al contexto nacional. Ya desde entonces los empresarios tenían un especial interés en participar y acudir a eventos nacionales e internacionales relacionados con los DM (congresos, exposiciones, foros, etcétera), a fin de conocer su entorno, actualizarse, crear vínculos y mostrar los servicios y productos que ofertan al mercado.

Como resultado de esta práctica exitosa, el grupo Vitalmex ha identificado oportunidades y establecido relaciones para su crecimiento y desarrollo; por ello en 1991 incursionó en el mercado internacional por medio de Instrumed. Las acciones realizadas hasta entonces por el grupo le permitieron colocarse como empresa líder en la comercialización de hemodiálisis.

4. Consolidación, expansión y diversificación (2000-2009). La empresa llevó a cabo una reestructuración en la dirección y organización de los SI con el fin de incursionar en otras áreas, como quirófano, alta especialidad (cardiología y trasplantes), hemodinamia, imagenología y hemodiálisis, y para extender los servicios ya brindados a mínima invasión y electrocirugía. El crecimiento consistió en establecer nuevos convenios estratégicos y en fortalecer los ya existentes, en el sentido de robustecer la vinculación y la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio. El incremento de tales habilidades se tradujo en la creación de una empresa destinada a la investigación, diseño y desarrollo de equipo médico: Innovamédica. El ascenso a otro nivel de capacidades de vinculación, inversión e innovación –sobre todo de éstas últimas– permitió establecer relaciones con instituciones de investigación, académicas y financieras con miras a emprender nuevos proyectos a través del trabajo colaborativo.

Innovamédica fue concebida con el propósito de atender las demandas del sector salud mediante proyectos innovadores orientados al desarrollo de DM nacionales, ello sobre la base de la retroalimentación que Vitalmex recibe por parte de sus proveedores y clientes, con quienes mantiene una relación de cercanía y confianza. Este grado de innovación se relaciona con un nivel intermedio caracterizado por el riesgo implícito en la investigación. Vitalmex, por medio de Innovamédica, incrementó también sus capacidades en todas sus dimensiones.

El caso resulta relevante porque se trata de una empresa mexicana que decidió arriesgarse a invertir en un desarrollo tecnológico, específicamente en un DM avanzado, como parte de una oportunidad de crecimiento. Si bien la tecnología desarrollada por Vitalmex no es nueva a nivel mundial, sí lo es para el contexto nacional, ya que este tipo de equipos no se comercializan ni se producen en el país. Pro México (2011), por ejemplo, menciona que las empresas mexicanas del sector de DM se han focalizado en la producción y manufactura de dispositivos convencionales o simples, es decir, de bajo nivel innovador (OMS, 2010). Por otro lado, en la misma década se crean otras empresas del grupo Vitalmex que atienden varias necesidades del sector salud, como Vitalmex Internacional, Médika Humana, Vitalmex Germany, y una planta de producción de consumibles e insumos (tecnologías simples), como Intrubag, Intrupack, Byconex, Intrubin e Intrupack SI.

5. *El presente de Vitalmex.* En la actualidad no todas las empresas del grupo siguen vigentes, ya que fueron absorbidas por el propio corporativo. En 2013 Gimmi GmbH (empresa alemana, especialista en instrumentos y equipos de endoscopia y para aplicaciones de micro y mínima invasión) empezó a formar parte del grupo con la idea de fortalecer su presencia y desarrollar actividades a través del acceso a la red de distribución directa en 30 países y a aliados estratégicos en 80 naciones, con la que cuenta dicha filial. El proceso de aprendizaje relacionado con el desarrollo del Vitacor®UVAD sigue adelante. Dicha tecnología se encuentra en la fase de pruebas clínicas, las cuales son la antesala para obtener el registro sanitario y la autorización de comercializar un DM en México. Sin embargo, el proyecto lleva más de una década en desarrollo y la empresa aún no lo rentabiliza.

TABLA 1
Caracterización de las capacidades de Vitalmex

		Inversión (inversión previa y proyecto ejecutivo)
Grado de complejidad	Básico	Rutina Simple (Basado en la experiencia)
	Intermedio	Duplicación adaptativa (Basado en la búsqueda)
	Avanzado	Innovación riesgosa (basado en la investigación)

Estudios previos de factibilidad de inversión.
Estudios de la puesta en marcha.*

Búsqueda de tecnología.
Negociación de la tecnología.
Adquisición de maquinaria y equipo.
Contratación de recursos humanos.*

Diseño de procesos y equipo.*

Funcional		
Producción (ingeniería de proceso, producto e industrial)	Vinculación (dentro de la economía)	Innovación (desarrollo y estructura organizacional)
Control de calidad. Mantenimiento preventivo. Asimilación de la Tecnología de proceso y productos (adaptaciones). Planificación de trabajo e inventario.*	Compra local de bienes y servicios. Intercambio de información con los proveedores.*	Centro de I + D. Estrategia de Innovación alineada a la estrategia de mercado. Inversión de I + D.**
Economía de escala y costos. Adaptación de tecnología licenciada. Mejora de la calidad del producto. Asimilación del producto importado. Monitoreo de la productividad y logística.*	Transferencia de tecnología. Diseños coordinados. Enlaces de ciencia y tecnología.**	Innovación incremental en productos y procesos. Planta de producción de productos desarrollados. Desarrollo de nuevos mercados.**
Diseño básico de procesos, productos y suministros. Innovación de proceso y producto en casa. Investigación básica.*	Compra de tecnología, llave en mano. Concesión de licencias propias a terceros.**	Venta de tecnología. Desarrollo y fabricación de tecnología avanzada. Estructura vertical. Spin off.***

Fuente: Ávila (2015). * Dominadas, ** Incompletas, *** No dominadas

La capacidad para sostenerse y mantenerse en la industria de DM implica acrecentar las capacidades de inversión, producción, vinculación e innovación —sobre todo de estas últimas— para captar inversionistas asociados y conservar una ventaja competitiva mediante los ajustes organizacionales y estructurales que se requieren para comercializar un DM como el Vitacor®UVAD. Así pues, cabe afirmar que la empresa adquirió capacidades tecnológicas en todas las directrices, como se describe en la tabla 1.

Sin embargo, vemos que la empresa aún carece de capacidades avanzadas de innovación, pues no realiza actividades de venta y fabricación de tecnologías complejas. Aún así, es una empresa proactiva; la experiencia y aprendizaje obtenidos son encauzados para mejorar su posición en el mercado y con miras a redoblar los esfuerzos necesarios para relacionarse con su entorno e incursionar en el ámbito de la innovación. Ejemplo de ello es el dominio de los SI; ello le ha permitido realizar las mejoras y adaptaciones pertinentes al cambio tecnológico. Adicionalmente, a lo largo de su trayectoria ha tenido que cumplir ciertos requisitos que le demanda el sector tanto para la comercialización de productos y servicios como para la fabricación de insumos y equipo médico. Entre dichos requisitos figuran los siguientes: la acreditación y certificaciones de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) para las Buenas Prácticas de Fabricación de DM, NOM-059- SSA1-1993 (2006); ISO 9001:2000 para Sistemas de Gestión de Calidad: Requisitos; ISO 13483:2003 para Productos Sanitarios, y Sistemas de Gestión de Calidad: requisitos para fines reglamentarios.

El grupo también ha obtenido premios y reconocimientos que le otorgan credibilidad: el *Mérito Tecnológico*, concedido por el Fideicomiso para el Desarrollo Industrial del Banco de México a Instrumed, la empresa mexicana más exitosa en investigación, desarrollo de tecnología y comercialización de nuevos productos (1988); *Distribuidor en América Latina*, por Láser Industries Ltd. (1993); Trofeo Internacional a la *Mejor Imagen de Marca* en el 26th International Award for the Best Trade Name, New Millennium Award (2012); premio *Experiencias empresariales de éxito*, otorgado por la World Confederation of Business (2012); premio The Diamond Eye Award (2012) al *Mejor proyecto empresarial*, concedido por la Otherways Management and Consulting, promovida por Arabia Saudita y Suiza.

Trayectoria del caso

Vitalmex se ha abocado a brindar SI al sector salud, y una de sus líneas de producto atiende la cardiología. Este tipo de servicios permite tres cosas importantes: un acercamiento directo a los jefes de departamento de áreas especializadas; crear un ambiente de confianza, y tomar en cuenta las propuestas y necesidades de los clientes. Tal contacto ha sido la clave para que la empresa se encuentre en un estado de constante innovación y relacionada con tecnología de vanguardia, siempre en busca de la satisfacción del cliente.

Con la creación de Innovamédica, en 2000, Vitalmex buscaba desarrollar y transferir tecnología al sector de DM. En 2001, el cirujano cardiorrástico Moisés Calderón propuso a los directivos de la empresa desarrollar un DM para el área cardiovascular; debido a que como usuario identificó una necesidad y una oportunidad para el desarrollo de un dispositivo en este ámbito. Asimismo, el grupo decide emprender nuevos proyectos y vislumbra la oportunidad de expandir su mercado en dicho segmento. Para Vitalmex, esta línea de negocio requiere de mayor inversión, ya que representa mayores oportunidades de crecimiento.

Ese mismo año se contacta al doctor Emilio Sacristán, investigador del Departamento de Biomédica de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, con la finalidad de invitarlo a participar en el desarrollo de tecnología cardiovascular. También le proponen formar parte de la estructura organizacional de la empresa Innovamédica.

La experiencia del investigador tanto en el desarrollo de tecnología médica como en derechos de propiedad intelectual, fue quizá el motivo por el que se le convocó a participar en un proyecto tan ambicioso como el desarrollo de un ventrículo artificial; además, ello permitió estrechar el vínculo empresa-academia.

El primer trabajo encomendado al investigador tuvo una duración de seis meses y consistió en realizar un estudio tecnológico y de factibilidad para encontrar un nicho de mercado en el área cardiovascular. En dicho trabajo participaron otros dos ingenieros biomédicos, Javier Pinzón Todd (actual director

de negocios) y Jazmín Aguado, ambos pertenecientes a Vitalmex y reubicados para trabajar específicamente en los proyectos de Innovamédica.

En noviembre de 2001, una vez finalizada la vigilancia, se estructuró un plan de trabajo, ya que se encontró un nicho de oportunidad en el sector de los VAD. El reporte final fue entregado y presentado a Vitalmex para su revisión. El proyecto fue aprobado, y a inicios de 2002 se formalizó el trabajo para el desarrollo tecnológico de un VAD, el Vitacor®UVAD.

El doctor Sacristán asumió el cargo de director general dentro de Innovamédica, con la responsabilidad de reportar directamente a Vitalmex los avances de cada uno de los proyectos llevados a cabo dentro esta empresa de desarrollo. Otra de sus funciones fue gestionar los recursos humanos, financieros y los pertinentes para la logística.

El trabajo colaborativo con instituciones académicas y médicas se coordinó de tal modo que el equipo de especialistas médicos participaba en todas las reuniones, para que el proyecto no se desviara del punto de vista técnico y médico. Además, la empresa tuvo que adoptar una estructura organizacional matricial, por dos motivos:

- había que coordinar un equipo de trabajo numeroso, y
- las diversas tareas debían realizarse de manera multidisciplinaria.

El seguimiento del proyecto implicaba poner al tanto de los avances a las partes involucradas, de tal manera que se pudieran replantear los procesos o actividades que limitaban el progreso del trabajo. Las reuniones con médicos especialistas (eran aproximadamente 10 y pertenecían a diversas instituciones de salud pública), liderados por el doctor Calderón, fueron fundamentales para no perder de vista el sentido que debía imprimirse a la tecnología, ni la necesidad y el objetivo del resultado esperado. Para ello era imprescindible el completo entendimiento tanto de la parte académica como de la industria y los usuarios de la tecnología.

Desde el inicio del proyecto se realizaban juntas dos o tres veces por semana con el director general —representante del comité médico encargado del proyecto— y con personal de las áreas de desarrollo y administrativa. Así pues, la relación entre el investigador y el representante médico tenía que ser muy

estrecha y con comunicación fluida para lograr una coordinación y sincronización de las acciones relacionadas con el proyecto.

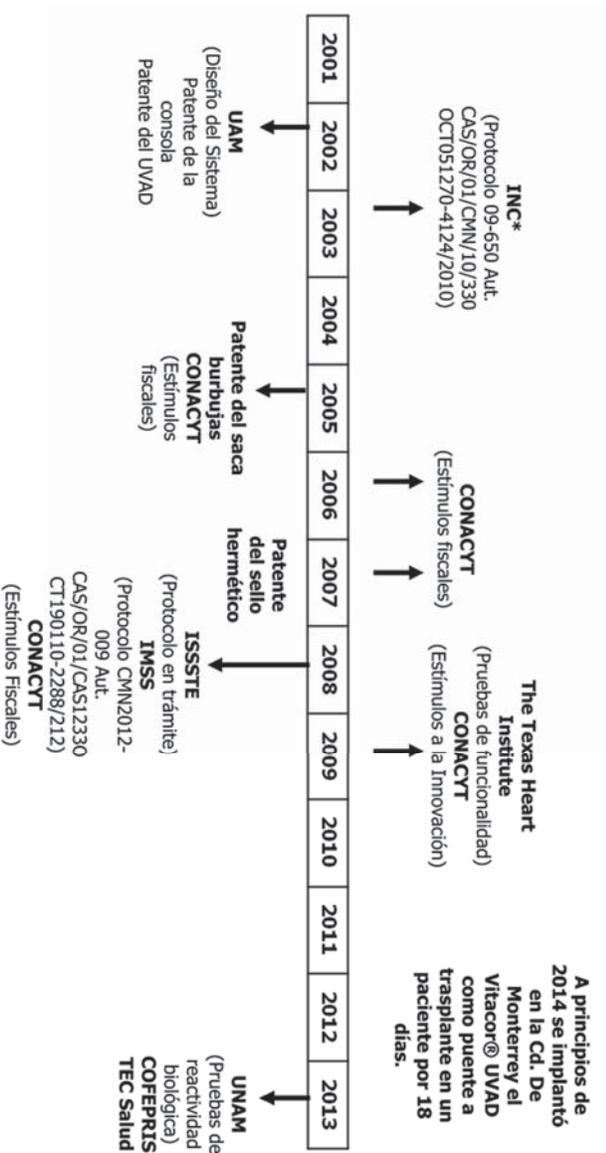
Por ello fue también imprescindible establecer una relación cercana con los representantes de cada una de las entidades participantes en el desarrollo tecnológico en cuestión, como el Instituto Nacional de Cardiología (INC), la Universidad Autónoma Metropolitana, Conacyt, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Cofepris, el Texas Heart Institute y el Tec Salud. Y ello en cada una de las fases en que participaron, como se observa en la figura 2.

El espíritu emprendedor de Vitalmex fue transmitido al conjunto de investigadores, médicos y demás involucrados, por cuanto la idea era generar tecnología de vanguardia –y además pionera en el país– y ser parte de un proyecto que beneficiaría a la población. La empresa también inició el proyecto con la doble finalidad de expandir sus horizontes y fortalecer su presencia en el mercado de los DM, pero no sólo como comercializadora sino ahora como desarrolladora de tecnología. Sin embargo, ha faltado visión y desapego con relación al desarrollo tecnológico, pues un emprendedor analiza el abanico de posibilidades que tiene ante sí para hacer rentable su negocio; no se limita a una sola posibilidad.

Crear una empresa dedicada a la investigación, desarrollo e innovación tiene sus limitaciones; según parece, aún no se acaba de entender por completo la dinámica del sostenimiento de una empresa de tal índole, ya que, como se mencionó anteriormente, a Innovamédica le anteceden dos intentos, y el último fue absorbido por el grupo empresarial.

Por otro lado, cabe señalar que en un comienzo el proyecto sólo se planteó para diseñar una consola y el corazón. Sin embargo, por cuestiones de estrategia y del modelo de negocios operado por Vitalmex, el proyecto se prolongó debido a que las investigaciones y desarrollos continuaron con la finalidad de conseguir algunas patentes complementarias a la tecnología principal, como cánulas y métodos para asegurar el funcionamiento adecuado de la misma. Ello tuvo repercusiones en tiempo y dinero invertidos. La trayectoria del proyecto se puede observar en la figura 2.

FIGURA 2
Trajectory of Vitacor® UVAD



*INC, Instituto Nacional de Cardiología

Fuente: elaboración propia con datos de Vitalmex.

Las estrategias tanto de desarrollo como de comercialización fueron establecidas con la finalidad de hacer más competitiva la empresa dentro de la industria de DM, mediante la incursión en un nuevo mercado (los VAD). Asimismo se vislumbró la posibilidad de generar mayor rentabilidad para la empresa al ofrecer mantenimiento y un servicio que coadyuvara a la adquisición de tecnología de vanguardia en los hospitales.

El inventor asegura que los resultados que se tomaron en cuenta para el desarrollo de la tecnología se basaron en el análisis de patentes y bibliografía comprendidas en el periodo 1965-2000, por lo que varias patentes ya estaban vencidas.

El desarrollo del Vitacor®UVAD retomó el principio de funcionamiento descrito en la patente US5332403, concedida al investigador Jack Kolff y expirada en 2002. A esta propuesta se le hicieron mejoras importantes y adaptaciones, con el objetivo de brindar una nueva alternativa de VAD, con mayores aplicaciones y dirigido al contexto mexicano. Además, el precio sugerido, en comparación con el del mercado, podría reducirse a sólo una décima parte de lo que cuestan los equipos actuales.

La patente vencida es la de una bomba de apoyo al corazón, que se coloca en el vientre del paciente sin retirar el órgano original. Ayuda al bombeo de sangre cuando el paciente presenta IC por infarto o alguna enfermedad cardiovascular degenerativa. Se puede utilizar por periodos cortos y largos.

Una de las adaptaciones realizadas fue el control de la bomba por una consola a través de *software* (también diseñado por la misma empresa), con un sistema de soporte que, en caso de falla eléctrica pueda seguir proveyendo sangre vía mecánica.

También cabe mencionar que Vitalmex es poseedora de los títulos de propiedad intelectual correspondientes a las patentes de la invención (tecnología relacionada con la consola, la bomba neumática, el sello hermético de la cápsula y el método del sacaburbujas), el registro de la marca Vitacor®UVAD, y el secreto industrial que resguarda el *software* que acciona el funcionamiento de la consola.

La etapa de conceptualización y desarrollo se llevó a cabo en el periodo comprendido entre 2002 y 2010 —lo que implicó muchos años de investigación, desarrollo y grandes inversiones de capital—, y en ella se realizaron las actividades concernientes al diseño y construcción del prototipo del Vitacor®UVAD. El doctor Calderón fue pieza clave en dicha fase, ya que se tenía que asegurar

el completo entendimiento de la necesidad, el tipo de tecnología, el nicho de oportunidad, el funcionamiento y la aplicación del dispositivo.

La estrategia de protección de la PI consistió en patentar primero en EUA, ya que ese país permite proteger métodos, da una mayor cobertura del mercado y es la nación con mayor participación y experiencia en el desarrollo de VAD. La protección se extendió a México, Brasil, Hong Kong, China y Europa. La PI que protege al Vitacor®UVAD está conformada por cuatro patentes principales —que con las familias da un total de 25 patentes— y un registro de marca ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI).

Posteriormente se realizaron las siguientes actividades: pruebas de laboratorio, pruebas en animales, publicaciones, capacitación de personal, desarrollo de productos y planteamiento de los protocolos para las pruebas preclínicas y clínicas, todo ello con la finalidad de comprobar la seguridad y eficacia del VAD.

A lo largo del proceso de desarrollo tecnológico, Vitalmex ha obtenido diversos apoyos de Conacyt para solventar la inversión requerida. Como se puede observar en la figura 2, en el periodo 2005-2008 se participó en el Programa de Estímulos Fiscales (PEF) que condonaba impuestos a empresas que invertían en ciencia y tecnología.

En 2009 la empresa recibió apoyo del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI), el cual otorga incentivos complementarios a las empresas que invierten en proyectos de investigación, desarrollo de tecnología e innovación, dirigidos al desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios. Aunque cabe mencionar que para solventar la inversión de una cuestión tan específica y delicada como el corazón artificial, el apoyo económico fue mínimo en comparación con el monto total de la inversión.

Los protocolos de investigación (lineamientos y especificaciones de las pruebas clínicas en humanos) fueron elaborados con apoyo de algunas instituciones de salud (INC, IMSS, ISSSTE y TEC Salud); después se solicitó la autorización sanitaria a la entidad encargada de regular y otorgar estos permisos: la Cofepris. Las pruebas de funcionalidad con ovejas se realizaron en el Texas Heart Institute en 2009.

La fase clínica no empezó hasta diciembre de 2013, fecha en que se realizó el primer implante del Vitacor®UVAD como puente para trasplante por 18

días, en un paciente que se encontraba en espera de un donador de corazón en un hospital de Monterrey.

Actualmente la tecnología se encuentra en la fase de precomercialización, en la que se llevan a cabo las pruebas clínicas requeridas para obtener el registro sanitario previo a su posterior comercialización. Al implantar el dispositivo en pacientes, es imprescindible medir los parámetros fisiológicos y evaluar su desempeño y rendimiento durante el uso, tal como lo exige la Cofepris.

Dado que aún no se cuenta con el reconocimiento institucional para vender el dispositivo, se coloca en pacientes que entran al programa de protocolo de investigación, informándoles de posibles complicaciones durante el procedimiento, así como de los beneficios esperados en caso de responder favorablemente al mismo. Sin embargo, Vitalmex y sus socios inversionistas no abandonan su interés por producir y comercializar de manera directa el producto.

Pese a que Vitacor®UVAD es un DM muy especializado y a que la empresa Vitalmex es relativamente nueva en ese segmento de mercado –como se puede observar en el comparativo entre la evolución tecnológica de los VAD y la ubicación del inicio del proyecto del VAD (figura 3)–, se puede inferir que la empresa se encuentra en una curva de aprendizaje y es probable que pueda carecer de un entendimiento completo del entorno, donde su modelo de negocio no es quizá el adecuado para comercializar dicha tecnología.

Puntos catalizadores

En el periodo 2002-2010 se llevó a cabo la etapa de conceptualización del desarrollo tecnológico, pero debido a diversas problemáticas generadas en Innovamédica, Vitalmex decidió disolverla y absorber parte de la PI generada durante su tiempo de operación. Dicha transición significó una pérdida de tiempo y de continuidad en el proceso. Vitalmex enfrentó a la sazón una etapa compleja de reestructuración del personal y de implementación de nuevas medidas de seguimiento de las actividades correspondientes al desarrollo del VAD. En Innovamédica se realizaban bitácoras como parte del seguimiento, pero actualmente Vitalmex tiene el control completo de las actividades concernientes al Vitacor®UVAD. Por lo tanto, el proceso de seguimiento es diferente.

FIGURA 3
Evolución tecnológica de los VAD

1963: Primer reporte de ventrículo artificial implantable por Liotta.	1970: NIH forma los grupos de trabajo para explorar los DAVs.	1980: NIH segunda solicitud para propuesta de LVAD implantables para largo plazo.	1992: Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) aprueba Abiomed 5000 como puente para trasplante.
1964: Instituto Nacional del Corazón (NIH, por sus siglas en inglés) formaliza los Programas de Corazón Artificial.	1976: Surge Vitalmex S. A. de C. V.	1982: Implante del primer TAH (Jarvik-7) intentado para soporte permanente.	1994: FDA aprueba LVAD neumático (Thermo Cardiosystems) como puente para trasplante.
1966: Primer implante de un LVAD por DeBakey para destete y puente para recuperación poscardiotomía.	1977: NIH solicita propuestas para los componentes de las bombas implantables a largo plazo.	1984: Primer implante exitoso de LVAD de impulso eléctrico Novacor como puente para trasplante de un corazón con insuficiencia crónica.	1995: FDA aprueba LVAD eléctrico (Thoratec XVE) como puente para trasplante.
1969: Denton Cooley usa el primer Corazón Artificial Total (TAH, por sus siglas en inglés) como puente para trasplante para shock poscardiotomía.	1978: Norman <i>et al.</i> Reporta el primer uso de un LVAD como puente para trasplante para poscardiotomía del síndrome de corazón roto.	1984: CMS* define estrategias para el soporte de LVAD.	1998: FDA aprueba Novacor y Thermo Cardiosystems LVADs como puentes de trasplante.
1960	1970	1980	1990

<p>2001: REMATCH muestra HeartMate XVE superior a la terapia médica óptima para trasplante no elegible para pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada.</p> <p>2001: Inicio del proyecto Vitacor@UVAD.</p> <p>2003: La aprobación de la FDA de hito Thoratec HeartMate XVE para la terapia de destino.</p> <p>2004: Reportes exitosos de TAH SyndCardia como puente para trasplante por insuficiencia biventricular conduce a la aprobación de la FDA.</p> <p>2006: Se estableció el Registro Interinstitucional de Apoyo Circulatorio Mecánico Asistido (Intermacs, por sus siglas en inglés).</p> <p>2007: Primer reporte de LVAD de flujo continuo (Thoratec HeartMate II) como puente para trasplante.</p> <p>2008: FDA aprueba LVAD de flujo continuo (HeartMate II) para puente a trasplante.</p> <p>2009: Thoratec HeartMate II supera a HeartMate XVE como terapia de destino.</p>	<p>2010: FDA aprueba Thoratec HeartMate II para la terapia de destino.</p> <p>2010: Resultados preliminares de HeartWare VAD de flujo continuo intra-pericardio como puente para trasplante (estudio Advance**).</p> <p>2011: Instituto Nacional del Corazón, Pulmón y Sangre (NHLBI, por sus siglas en inglés) patrocinador del estudio Evaluación Aleatoria de Intervenciones con Dispositivos de Asistencia Ventricular antes de Dependencia Inotrópica (Revive-IT, por sus siglas en inglés) para comparar LVAD con el tratamiento médico en pacientes estables de la Asociación del Corazón Nueva York (NYHA, por sus siglas en inglés).</p>
2000	2010

Fuente: adaptado de Stewart y Givertz (2012).

* Centros para Servicios Medicare and Medicaid (CMS, por sus siglas en inglés, Medicare refiere a seguro médico y Medicaid a seguro de enfermedad).

** Advance indica Evaluación del dispositivo HeartWare de asistencia ventricular para el tratamiento de la insuficiencia cardíaca avanzada

El *Master Report* es una base de datos creada para dar seguimiento a las actividades relacionadas con los proyectos de I+D de la empresa; es un control de cada acción realizada. Se clasifican los diferentes procesos (producción, diseño, prueba, diseño de prueba o reporte), se les asigna un folio y se indican los nombres del personal responsable así como el sistema o proceso al que se refieren (desechable, unidad ventricular, consola, etcétera), la fase del proceso (verificación o revisión) y el *status* (abierto o cerrado), y la fecha de inicio y término. *Grosso modo*, éste es el funcionamiento de la base.

Otro inconveniente que surgió fue el retraso de los recursos financieros; es decir: el capital no estaba disponible en tiempo y forma para dar secuencia al proceso. Es probable que las problemáticas enfrentadas por Vitalmex se hayan originado en el hecho de que se encontraba en un proceso de aprendizaje al incursionar en el desarrollo de tecnología médica avanzada. Por otra parte, es indiscutible la inexperiencia de la Cofepris al evaluar tecnología desarrollada en México, sobre todo por tratarse de un DM avanzado dirigido a un segmento de mercado muy especializado.

Las principales novedades que ofrece el VAD de Vitalmex son dos:

- el tipo de materiales utilizados son de bajo costo, y
- la cantidad de aplicaciones que se le atribuyen. A continuación se explican con mayor detalle tales características.

El Vitacor®UVAD es una nueva bomba pulsátil de diseño simple, de bajo costo, paracorpóreo y con control neumático; está constituido con elementos de plástico reutilizables y una bomba implantable de silicona elástica y titanio desechable. Este dispositivo puede facilitar el soporte circulatorio mecánico en cirugía cardíaca, soporte que de otro modo es difícil brindar debido a limitaciones económicas (Tuzun *et al.*, 2012).

El dispositivo es considerado universal, ya que el sistema fue diseñado para múltiples aplicaciones de apoyo circulatorio, al seleccionar las cánulas y los accesorios adecuados (tecnologías complementarias). Se puede utilizar a corto plazo como apoyo transoperatorio (unas horas), como apoyo en poscardiotomía aguda (hasta un par de semanas), como puente de trasplante (BTT, por

sus siglas en inglés) por un periodo de entre tres y seis meses; como puente de recuperación (BTR) por varios años, y como terapia de destino (DT) hasta la muerte (Sacristán *et al.*, 2003).

También se puede colocar para asistir a un solo ventrículo, a ambos, o para reemplazar el corazón. Es posible implantarlo o colocarlo externamente, a diferencia de los VAD disponibles en el mercado, que tienen algunas limitantes de aplicación. El Vitacor®UVAD funciona bajo el principio de primera generación, es decir, es una bomba pulsátil neumática que requiere de menos energía y dura más tiempo energizada.

Como se puede observar, el reto de la empresa consistió primordialmente en diseñar un sistema complejo para dar soporte al corazón que sufre de alguna falla mecánica aguda en cualquiera de sus ventrículos o en ambos. Además fue adaptado con un dispositivo versátil capaz de cubrir la mayoría de las aplicaciones que los dispositivos comercializados actualmente ofrecen por separado, es decir, que sólo cubren una necesidad muy específica; por consiguiente, su segmento de mercado es más pequeño.

La tecnología que ofrece Vitalmex parece ser una mejor opción para el tratamiento de la IC. ¿Pero hasta qué punto esta tecnología puede ser rentable para el contexto nacional de DM?

En cuanto a las desventajas, el Vitacor®UVAD no está planteado para utilizarse en pacientes infantiles y pediátricos; tampoco se recomienda para pacientes de la tercera edad (60 años en adelante) ni para personas con problemas de obesidad; su uso se limita a personas con una superficie corporal menor o igual a 1.7 m², y el dispositivo sólo otorga un flujo máximo de 6 L/min. Es decir, los candidatos deben poseer determinadas características.

Otra desventaja es su tamaño y diseño; el dispositivo no está disponible en presentación portátil, ya que sólo puede ser utilizado dentro del hospital. El paciente debe estar conectado a la consola de control.

En cuanto a la validación y a las pruebas clínicas, sólo se tiene el antecedente de un caso clínico. Las agencias reguladoras requieren más evidencia que respalde la funcionalidad y eficacia del dispositivo. Estos requisitos son fundamentales para conceder la autorización para su distribución comercial.

Si bien el Vitacor®UVAD ha sido diseñado para múltiples aplicaciones, sólo se ha probado en un paciente como puente a trasplante; falta todavía mucho por hacer para cubrir el resto de validaciones de las demás aplicaciones del dispositivo.

Conclusiones

La complejidad del proceso de desarrollo de los dispositivos médicos es alta. Ello no sólo se debe al dinamismo de un sector que requiere constante investigación y actualización de las nuevas tecnologías; también a las regulaciones sanitarias que surgen en su entorno, así como a la conciencia de las propias limitaciones, las cuales suelen retrasar o impedir la comercialización de la tecnología. Además, las etapas intermedias del proceso de desarrollo tecnológico implican cumplir con ciertos *hitos* comerciales y técnicos (certificaciones y registros sanitarios) indispensables para obtener la autorización y el registro sanitario para la comercialización. Al mismo tiempo se requiere mayor inversión para superar el riesgo latente de caer en el denominado “valle de la muerte”.

La política pública relacionada con estas fases del proyecto es incipiente; sólo incentiva las etapas de investigación básica, la colaboración entre la academia y la industria, el desarrollo de prototipos, y después da un salto a la fase de comercialización, de tal manera que deja un vacío estructural en las etapas de validación y pruebas clínicas.

Por tal motivo, las propuestas innovadoras mueren en esta etapa, ya que para dar continuidad al desarrollo o para concluir el proyecto, es necesario contar con altas capacidades de vinculación, inversión, producción e innovación. Es importante disponer de un flujo de capital constante o contar con inversionistas para mantener un trabajo continuo y reducir el riesgo de demoras en los procesos; si no se cuenta con dicha solvencia económica, el proyecto puede alargarse, lo que implicaría mayores costos para el desarrollador.

El caso analizado permite afirmar que el entorno es clave en el desarrollo de tecnología, pues puede facilitar o inhibir el proceso de innovación; éste no sólo depende de la simple intención de realizarlo, sino que es necesario conocer

las condiciones externas e internas de la firma que pueden propiciarlo. Para el contexto mexicano, el desarrollo de DM tiene como limitante las exiguas capacidades del entorno; la Cofepris no cuenta ni con los recursos humanos ni con los procesos adecuados, y tampoco dispone de información que ayude a evaluar de manera rápida y eficaz la tecnología médica avanzada o de alta especialidad, sobre todo cuando se trata de un desarrollo hecho en casa.

Desarrollar capacidades tecnológicas va de la mano con el aprendizaje, la experiencia y la estrategia de la empresa para ser más competitiva; ésta debe responder a los cambios tecnológicos y a las demandas del sector, pero también considerar el grado y el compromiso de inversión de la firma; aunque esto no garantiza su disposición a arriesgarse a invertir en nuevos proyectos o en innovación.

Si bien las empresas como Vitalmex innovan y establecen sus propias redes de colaboración motivadas por el deseo de expandir sus horizontes, su crecimiento económico y su competitividad en la industria en que se desenvuelven, se pueden ver limitadas por los diferentes tipos de barreras que ya se mencionaron, las cuales son tanto de administración interna como de vinculación con otros sectores y con las instancias reguladoras; sin embargo, estas empresas representan una experiencia valiosa para el desarrollo de las innovaciones en nuestro país.

Bibliografía

- Ávila, I. (2015), “Propuesta de una estrategia de comercialización para una tecnología médica”, tesis de maestría, Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México.
- Cabrera, E. M. (2010), “La comercialización de tecnología”, *Fundación Premio Nacional de Tecnología (FPNT)*, núm. 9, recuperado en septiembre de 2013 de <http://www.fpnt.org.mx/bletin/Diciembre_2010.html>.
- Concejo Nacional de Población (Conapo) (2013), “Indicadores demográficos básicos 1990-2010”, recuperado el 31 de marzo de 2013, de

- <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_de_la_Poblacion_2010-2050>.
- Flores, E. (2010), “Transferencia de tecnología en el ámbito de la salud”, *Medigraphic*, vol. 5, núm. 3, pp. 124-129, recuperado el 20 de mayo de 2014, de <<http://www.medigraphic.com/pdfs/residente/rr-2010/rr103f.pdf>>.
- Gómez Mena, C. (2014), “México, pionero en América Latina en implante de corazón artificial”, *La Jornada*, recuperado el 22 de noviembre de 2014, p. 38, de <<http://www.jornada.unam.mx/2014/11/22/sociedad/038n2soc>>.
- Guadalajara Boo, J. F. (2006), “Entendiendo la insuficiencia cardíaca”, en *Archivos de Cardiología de México*, vol. 4, p. 76.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2010), “Foro mundial para mejorar el acceso a los dispositivos médicos en los países en desarrollo”, recuperado el 13 de marzo de 2014, de <http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2010/medical_devices_20100908/es/>.
- (2012), “Dispositivos médicos: la gestión de la discordancia. Un resultado del proyecto sobre dispositivos médicos prioritarios”, recuperado el 16 de diciembre de 2013, de <http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789243564043_spa.pdf>.
- (2013), “Bases de datos globales del gasto en salud”, recuperado el 19 de marzo de 2014, de <http://apps.who.int/nha/database/StandardReport.aspx?ID=REPORT_2_WHS>.
- Porter, M. E. (2010), “What is Value in Health Care?”, *New England Journal of Medicine*, vol. 26, p. 363.
- Pro México (2011), “Mapa de ruta de dispositivos médicos”, recuperado el 5 de febrero de 2013, disponible en <<http://www.promexico.gob.mx/documentos/mapas-de-ruta/MRT-Dispositivos-Medicos.pdf>>.
- Sacristán, E., *et al.* (2003), “Development of a Universal Second Generation Pneumatic Ventricular Assist Device and Drive Unit”, en *Engineering in Medicine and Biology Society / Proceedings of the 25th Annual International Conference of the Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*, vol. 1, Cancún.
- Schumpeter, J. (1934), *Teoría del desarrollo económico*, Universidad de Harvard, Harvard.

- Stewart, G. C., y M. M. Givertz (2012), “Mechanical Circulatory Support for Advanced Heart Failure Patients and Technology in Evolution”, *Circulation*, vol. 125, núm. 10, marzo.
- Tuzun, E., *et al.* (2012), “In Vivo Performance Evaluation of the Innovamedica Pneumatic Ventricular Assist Device”, *ASAIO Journal*, vol. 2, núm. 58, marzo-abril, pp. 98-102.
- Ulrich, K. T., S. D. Eppinger, y A. Goyal (2015), *Product Design and Development*, McGraw-Hill, vol. 2, Nueva York.
- Urrusti, J. L., M. Acero, y M. Álvarez (2012), Curso de Diseño de Dispositivos Médicos, Universidad Iberoamericana, México.
- (2013), “Desarrollo de dispositivos médicos: el ambiente regulatorio global”, en *Memorias Expo Ingenio 2013*, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, octubre, México.

6. Nuevas estrategias institucionales y de competitividad en el sector biotecnológico agrícola. El caso StelaGenomics

Federico Stezano

Introducción

Este capítulo analiza la experiencia de la empresa mexicana del sector biotecnológico (BT) agrícola StelaGenomics (SG). Se presenta un análisis de su desarrollo hasta la actualidad, haciendo particular énfasis en sus dinámicas tecnológicas, de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D), de mercado y de innovación. El análisis de esta trayectoria de la empresa revela los principales obstáculos e incentivos institucionales y las formas en que SG ha intentado sortear y aprovechar esos factores críticos para su crecimiento.

StelaGenomics resulta un caso de interés en primer lugar por su carácter excepcional: es una empresa innovadora mexicana inserta en un segmento tecnológico de la cadena de valor agro-alimentaria, donde casi no existen actores productivos nacionales. Este segmento del BT supone el uso de técnicas modernas complejas y se distingue especialmente de la actividad industrial semillera, en donde sí pueden encontrarse algunas empresas nacionales. En segundo lugar, el caso de SG es relevante porque muestra una empresa con un modelo de gestión y una estructura organizacional adecuados para vencer barreras institucionales y aprovechar incentivos del entorno. Estas capacidades organizacionales le han permitido situarse como una empresa nacional (y ya internacional) que realiza I+D con la finalidad de generar procesos de diseño y transformación genética para usuarios altamente especializados, como el segmento industrial semillero.

En este contexto presentamos la evolución del caso de SG como sigue: en primer lugar se presentan los rasgos más salientes del sector agro-BT considerando sus dinámicas de innovación, tecnológicas, de mercado e institucionales. En segundo lugar se plantean las principales características de la evolución de SG con base en dichas dinámicas. Finalmente, la tercera sección del trabajo concluye con una reflexión sobre los dilemas y posibilidades de la empresa en función de los obstáculos institucionales sorteados y de los incentivos aprovechados en su desarrollo.

El sector agro-BT: tecnología, mercado e instituciones

Esta primera sección del documento desarrolla la complejidad inherente al sector agro-biotecnológico, a las dinámicas multi-dimensionales que determinan sus instituciones, a su régimen de mercado y competencia, y a su esquema de generación de capacidades científicas y tecnológicas. El discernimiento de este sector permite comprender la especificidad tecno-económica y tecnológica del segmento de la cadena agroalimentaria en que SG se inserta y busca competir. La empresa es en tal sentido un caso excepcional, ya que ha logrado entrar en un segmento de mercado dominado por la presencia de grandes empresas de carácter preeminentemente trans-nacional y que además ocupan espacios en otros segmentos de la cadena, aguas abajo.

Así pues, esta sección no busca ser una introducción al sector biotecnológico en México; sólo realiza una caracterización y descripción del altamente internacionalizado segmento tecnológico BT donde se ubica el caso de SG. Este entorno institucional, tecnológico y de mercado permite comprender con mayor claridad los márgenes de acción y las posibilidades de desarrollo y expansión de la empresa; unos y otras se desarrollan en la siguiente sección del documento.

Cadena de valor: eventos transgénicos y semillas mejoradas

Las semillas genéticamente modificadas por métodos de ADN (ácido desoxirribonucleico) recombinante son una innovación radical de producto que ha transformado profundamente la actividad productiva agrícola al permitir altos incrementos de productividad, lo mismo aumentando rendimientos que reduciendo costos productivos.

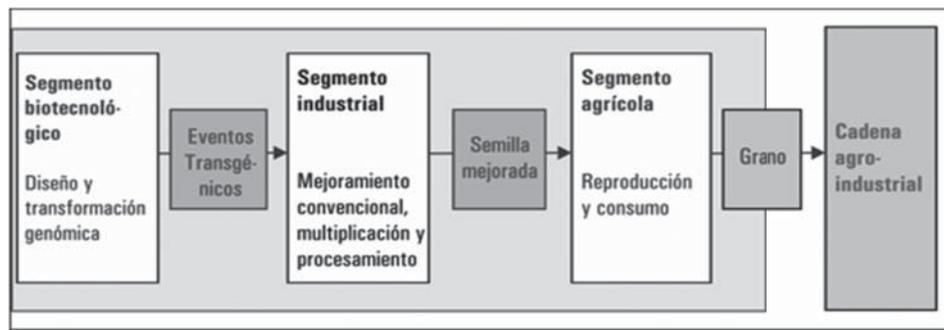
En primer lugar, este hecho modifica la base cognitiva del sector. El campo de conocimiento genómico proporcionó una nueva base que modificó el campo agrícola. En este marco surgen las plantas transgénicas (plantas en que se introducen uno o varios genes nuevos, o en la que se ha modificado la función de algún gen propio), manifestación del desarrollo de las nuevas técnicas de transgénesis que suponen un cambio tecnológico radical en la forma de mejoramiento vegetal. Estas técnicas suponen la consolidación de una nueva forma de transferir información genética: se manipulan las plantas insertando, alterando o removiendo genes con un fin específico, a partir del conocimiento de la información que cada gen codifica como instrucción en el interior de cada célula (Sztulwark, 2012: 65-80).

Las aplicaciones de BT más importantes en la producción agrícola han sido las derivadas de la ingeniería genética; ésta ha difundido, para un número limitado de cultivos, semillas genéticamente modificadas, resistentes a herbicidas y a enfermedades, y recientemente semillas con genes apilados que las hacen resistentes a más de un elemento (Gutman y Lavarello, 2008).

En segundo lugar, el nuevo marco cognitivo del sector modificó la cadena de valor agroindustrial. Surge ahí un nuevo actor dentro de la cadena de valor: el que se encarga del diseño y transformación genéticos; éste intercambia eventos transgénicos (una construcción de ADN insertada con un gen cuyas propiedades y funciones fueron identificadas y clasificadas) con el segmento semillero, el cual vende a los productores las semillas mejoradas. Finalmente, el proceso de producción agrícola culmina en el segmento agrícola, el cual vende su producto final para la alimentación humana o animal, o para procesamiento en el resto de la cadena (Sztulwark, 2012: 80-85).

En México, el sector agro-BT implica tres tipos de empresas. El primero incluye empresas que desarrollan BT de propagación vegetativa de plantas, lo que resulta en la producción de grandes cantidades de plántulas asociadas a cultivos agrícolas (caña de azúcar, agave), a plantas de ornato, o a especies frutales de alto valor (café, plátano o mango). Un segundo grupo se basa en procesos y productos en el mercado de insumos biológicos o bioquímicos de aplicación en producción agrícola y en tratamiento poscosecha.

FIGURA 1
Segmentos de la cadena agroindustrial e intercambios



Fuente: Sztulwark (2012: 80).

Los productos que el sector agro-BT desarrolla son inoculantes microbianos orientados a la promoción de crecimiento de plantas y a la protección vegetal contra patógenos, en particular insecticidas, nematocidas, fungicidas y bactericidas. Otras empresas de este grupo desarrollan humus y productos derivados de extractos vegetales y concentrados de suelos, productos que cuentan con capacidades enzimáticas orientadas a la fertilización de plantas y a la sanidad vegetal. Finalmente, el tercer grupo, una serie de empresas de BT pecuaria producen fármacos para uso veterinario: nutrición, quimioterapia farmacológica y vacunas para la prevención de enfermedades infecciosas (Trejo, 2010: 342-348).

Modelos de negocios y estrategias de mercado

Los conocimientos científicos base de la moderna BT en los sistemas agroalimentarios, se han sustentado en gran medida en innovaciones previas de las industrias químicas y de las fármaco-BT. Esto explica que buena parte de las empresas clave para la difusión de la agro-BT sean grupos diversificados provenientes de la química, como las empresas transnacionales (ETN) Dow Agrochemical, Du Pont, Syngenta, Monsanto y Bayer. Estos grupos combinaron el desarrollo de capacidades propias con la formación de alianzas con empresas especializadas en agro-BT que luego absorbieron (Gutman y Lavarello, 2008).

En cuanto a las estrategias competitivas de las empresas del sector, predominan dos modelos de negocios. El modelo clásico es el de las empresas BT especializadas. Éstas se concentran en desarrollos en ciencia y tecnología (CyT) de investigadores de universidades y hospitales con potencial comercial. Muchas de estas empresas tardan años (y décadas) en pasar de un descubrimiento a un producto comercializable, pues suelen carecer de los recursos necesarios para fabricar, distribuir y comercializar sus invenciones. Su modelo de negocios depende de los siguientes factores: la obtención de financiamiento del capital de riesgo; la venta de licencias de conocimiento especializado a grandes firmas, y desarrollar I+D para ellas bajo contratos o alianzas conjuntas. Para estas empresas es difícil llegar al mercado por sí mismas, ya que deben cumplir tres requisitos complejos en un sector con fuertes barreras de entrada y unos pocos grandes jugadores dominantes:

- recursos para cubrir costos de regulación e I+D;
- una infraestructura de *marketing* que incluye contactos con una base de clientes, y un sistema de administración para vincular a la empresa con sus clientes; y
- conocimiento protegido sobre germoplasma de alto rendimiento, lo cual es crucial en países que tienen un sistema basado en las patentes para las variedades vegetales.

El segundo modelo es el de la gran firma verticalmente integrada. Ésta se involucra en la mayoría de las actividades para desarrollar y comercializar un nuevo producto o proceso BT, incluyendo I+D, producción, distribución y *marketing* ingeniero. Estas empresas tienen dos fuentes de ingresos: la venta de productos de la BT, y el desarrollo de sus propios productos. Y proporcionan además un mercado para los descubrimientos de las firmas BT especializadas (OCDE, 2009: 164-167). En la última década, estas ETN han diferido en el grado en que invirtieron en tecnologías de organismos genéticamente modificados, para reemplazar tecnologías previas o como una adición a otras trayectorias tecnológicas y líneas de productos.

En este grupo se destacan tres estrategias centrales de las ETN. La primera fue la seguida por Monsanto y DuPont, empresas que invirtieron gran cantidad de fondos tanto en adquisiciones que implicaron la compra del canal de mercado para sus productos químicos, como en la construcción de su base tecnológica en BT. Monsanto en particular, al ser relativamente débil en su gama de productos agroquímicos, focalizó radicalmente su estrategia de innovación en la parte de semillas de la cadena de *commodities*. En segundo lugar, Zeneca, Novartis, Seeds –luego Syngenta–, Dow y Aventis –más tarde comprada por Bayer– buscaron captar valor de otra forma: invirtieron mucho en tecnología e hicieron algunas adquisiciones para darles una razonable vía hacia el mercado, pero no invirtieron en empresas de semillas o en mecanismos de distribución en la misma proporción que Monsanto y DuPont. Finalmente, BASF adoptó de forma más tardía una estrategia de fortalecimiento de sus negocios de agroquímicos: compró BT sin pasar por la fase más temprana de innovación desarrollada por las otras ETN (Wield *et al.*, 2010).

La última década muestra una creciente concentración en la industria. Por ejemplo, las 10 principales firmas de agroquímicos en 1997 se habían fusionado en seis a mediados de la década de 2000 (las tres primeras europeas y el resto de EUA). Tres de estas empresas también controlan cerca de la mitad del mercado mundial de semillas patentadas: Monsanto (que controla 23 % del mercado mundial), DuPont (15 %) y Syngenta (9 %). Estas seis empresas están desarrollando actividades de I+D en semillas e incrementando rápidamente su

gasto al respecto, mientras que la I+D en productos agroquímicos crece más lentamente (Wield *et al.*, 2010).

La firma agro-BT puede comercializar un rasgo a través de la emisión de una licencia exclusiva a una empresa semillera situada en un nivel inferior de la cadena jerárquica, o emitiendo una licencia no exclusiva a múltiples firmas ubicadas en un rango inferior de la jerarquía. Dado que los rasgos deben transferirse en variedades, el éxito de las empresas agro-BT está condicionado por las decisiones de las empresas semilleras. Estas razones llevaron a una oleada de fusiones y adquisiciones del sector de semillas de granos en EUA desde mediados de los años noventa, especialmente para explotar la complementariedad de activos.

Las empresas agro-BT comenzaron a comprar empresas semilleras debido a la presunta necesidad de poseer una empresa semillera como mecanismo para la venta de sus rasgos innovadores. Coincidentemente con el surgimiento de los primeros rasgos GM, las firmas agro-BT compraron empresas semilleras líderes en las ventas de maíz y soja. No obstante, la adquisición de estas semilleras no impidió que las empresas agro-BT continuaran licenciando sus rasgos genéticamente modificados a firmas semilleras independientes. Por ejemplo, Monsanto adquirió Dekalb Genetics Corporation y Plant Breeding International Cambridge, a la vez que siguió licenciando sus rasgos a firmas independientes de semillas, como Pioneer y Golden Harvest (Wilson y Huso, 2008).

El proceso de reordenamiento global de las grandes empresas del sector surge en buena parte de la fuerte complementariedad en la demanda de estos insumos, así como de la posibilidad de armar paquetes tecnológicos con productos de marca en que un elemento está atado tecnológica y comercialmente a los restantes (Sztulwark, 2012: 83). Por ejemplo, el producto de mayor difusión global de Monsanto (la soja Round Up Ready [RR]) tiene incorporado el gen de resistencia al herbicida Round Up (glifosato), producto desarrollado y patentado por la propia empresa, que de este modo controla el evento transgénico, la semilla mejorada con el gen RR y el herbicida.

En este marco adquieren importancia dos formas de vinculación y coordinación de la cadena:

- horizontales entre grandes empresas que forman alianzas estratégicas, y
- relaciones verticales entre firmas agro-BT y semilleras; a través de estas relaciones se transfiere una tecnología genéticamente modificada desde el innovador del segmento BT hacia el semillero en cuanto firma de menor jerarquía en la cadena.

En estas relaciones verticales, el modo en que se comercializan los rasgos genéticamente modificados de interés es central para el éxito de las empresas agro-BT y semilleras. Así, para la empresa agro-BT es clave la decisión de cuándo licenciar sus rasgos a empresas semilleras y/o cuándo comprar una empresa semillera. Por su parte, las empresas semilleras deben decidir cuáles rasgos adquirir y cuáles variedades producir y vender a los agricultores (Wilson y Huso, 2008).

Cambio institucional: redes de innovación, patentes y mercados financieros

El desarrollo industrial de las nuevas tecnologías sobre la base de la transgénesis tuvo un fuerte apoyo no sólo en la nueva base de conocimiento del sector, sino también en tres cambios institucionales profundos:

- la decisión de la Suprema Corte estadounidense en 1980 de extender la protección a organismos vivos;
- el acta Bayh-Dole de ese mismo año, que además de autorizar a instituciones de ciencia, tecnología e innovación (CTI) para patentar sus resultados de investigaciones públicas, favoreció la exploración de esos resultados a través de asociaciones con privados, mediante la creación de empresas por parte de investigadores, o por medio de licenciamientos exclusivos a empresas privadas; y
- la directriz de la Oficina de Patentes y Marcas estadounidenses de 1987 de poder patentar cualquier organismo vivo pluricelular (excepto humanos), por cuanto se consideraba que la identificación y clasificación

de las propiedades y funciones de un gen eran condición suficiente para reclamar el invento de ese gen.

De este modo, desde los años ochenta se consolidó un modelo global de negocios e innovación sectorial al estilo estadounidense: basado en una fuerte investigación científica pública licenciada a empresas privadas y en la creación de nuevas empresas, con fuertes derechos de propiedad intelectual establecidos y con un alto protagonismo de los inversores de riesgo para financiar nuevas empresas (Sztulwark, 2012).

En este esquema institucional y de difusión tecnológica, el sector privado es un actor de gran relevancia sectorial: invierte en innovaciones que puede proteger vía patentes o por otras formas de protección de la propiedad intelectual (Vanloqueren y Baret, 2009), y forma alianzas estratégicas de negocios que se configuran como centros coordinadores de redes especializadas en BT (Gutman y Lavarello, 2008).

Los arreglos institucionales que articulan las relaciones de los distintos agentes de la cadena de valor, están marcados por el tipo de acceso que puede obtener cada uno. Este acceso está determinado por el grado de desarrollo de sus capacidades tecnológicas, pero también depende de la mediación de los derechos y normas que regulan el mercado. En un esquema dominado por arreglos de mercado, lo que posibilita que un conocimiento se transforme en mercancía es la existencia lo mismo de un derecho de propiedad intelectual que del derecho a comercializar. En el sector agro-BT, el liderazgo de las ETN se basa en mantener un rol clave en la definición de este conjunto de derechos (Gutman y Lavarello, 2014).

En este nuevo marco institucional, las empresas usan las patentes como mecanismos de apropiación de la innovación y como activos estratégicos para crear y mantener posiciones dominantes. Las transacciones en los mercados de tecnología (licencias de patentes) son un componente de los nuevos mercados de conocimiento. Adicionalmente, persiste un antiguo mercado (el de la ciencia) donde los jugadores (universidades) generan innovaciones protegidas por patentes derivadas de la investigación básica, y donde universitarios patentan I+D básica antes no patentable.

A la vez se crean mercados adicionales donde las patentes son un activo estratégico (se use o no la innovación protegida) para redefinir posiciones jerárquicas de las empresas y aumentar su poder de negociación. Las patentes se vuelven activos líquidos –intercambiables entre empresas– que permiten resolver disputas legales y facilitan acuerdos de licencias cruzadas.

Las expectativas sobre el valor de una patente y la posibilidad de combinar patentes de bajo valor en carteras de patentes, animan a las empresas a desarrollar estrategias agresivas. Emerge así otro mercado de conocimiento (derivado) donde las firmas solicitan patentes con el fin explícito de no usarlos en transacciones con otras empresas. En este mercado, las patentes tienen un valor en sí con base en expectativas de futuro: por la potencial importancia de la innovación patentada para futuras innovaciones; para bloquear la entrada de nuevos competidores, o para aumentar el valor de la firma al indicar capacidades tecnológicas potenciales (Cimoli y Primi, 2008: 20-21).

El otro aspecto clave de evolución del sector BT se vincula con la necesidad de generar alianzas y redes para favorecer el desarrollo de nuevas firmas. A través de contratos de I+D, inversiones de capital de riesgo y *joint ventures* entre grandes y pequeñas empresas del sector e instituciones públicas de investigación, crecientemente se articulan redes de colaboración e innovación (Luukkonen, 2005; Saviotti y Catherine, 2008).

En los últimos años, la industria BT –más que cualquier otro sector de alto crecimiento– ha recibido financiamiento de origen diverso: gubernamental, de grandes empresas, de mercados de capital y de la comunidad de capital de riesgo. Las *start-ups* BT se enfrentan a un alto riesgo de fracaso en sus primeros años de existencia. Los gerentes de estas nuevas empresas tienen así el gran desafío de construir una plataforma de recursos financieros con el fin de obtener una ventaja competitiva junto a capitalistas de riesgo, equipos de gestión, banqueros inversores, analistas de investigación y/o inversores institucionales (Schweitzer y Knyphausen-Aufsess, 2008). En este marco adquiere creciente importancia el análisis de las barreras legales y regulatorias que coordinan las instituciones y mercados de capital que pueden financiar las firmas emprendedoras del sector (Wilson y Silva, 2013).

Trayectoria de StelaGenomics

SG y su estrategia de competitividad: tecnología y mercado

StelaGenomics es una *start-up* biotecnológica fundada –con capital totalmente privado– por Damar López-Arredondo junto con Luis Herrera-Estrella, Simon Goldbard y Adolfo Nemirovsky. StelaGenomics, en cuanto propietaria de los derechos mundiales de una tecnología de modificación genética basada en el aprovechamiento del fósforo, está abocada a desarrollar su potencial, a optimizarla y comercializarla a nivel global una vez finalicen los estudios de campo (*MIT Technology Review*, 2013).

Actualmente SG está realizando el desarrollo aplicado de esta tecnología; antes de que termine 2015 espera comenzar a validar la tecnología en invernadero y dar inicio a las pruebas experimentales en campo. Maíz y soja han sido dos granos en que SG ha avanzado en este desarrollo aplicado; ha logrado decenas de eventos exitosos. Durante el año 2016, SG comenzó a realizar procesos de hibridación; y según las variedades y el material genético del que dispongan los potenciales socios, en unos cinco años más podría comenzar a desarrollarse la etapa industrial de producción de semillas para la comercialización.

Surgimiento de la idea y producto principal de la empresa

El proyecto que creó a SG nace de la investigación de tesis de López-Arredondo, supervisada por Herrera-Estrella del Doctorado en Biotecnología de Plantas e Ingeniería Genética del Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio) del Centro de investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)-Irapuato. Esta tesis doctoral se centró en diseñar sistemas moleculares que optimizan el aprovechamiento del fósforo por parte de numerosas plantas con interés agronómico y bioenergético. De esta investigación surgió el diseño de un gen que, incorporado a las plantas, permite metabolizar un compuesto de fósforo distinto al fosfato: el fosfito, que actúa además como herbicida y fungicida. Gracias a este gen, las plantas transgénicas asimilan el fosfito y lo convierten en el fosfato que necesitan para nutrirse. De esta forma, los agricultores necesitarían menor cantidad de fertilizantes y her-

bicidas, ya que las malas hierbas –incapaces de asimilar fosfito– no compiten por él (*El Economista*, 2013a).

Para Vicente Rubio, investigador del Departamento de Genética Molecular de Plantas del Centro Nacional de Biotecnología (CNB-CSIC) de España, la búsqueda de fuentes alternativas de fósforo y la obtención de variedades vegetales que utilicen fertilizantes fosforados de manera más eficiente, son dos áreas de interés biotecnológico por sus beneficios económicos y medioambientales.

En este sentido, la propuesta de López-Arredondo de usar plantas de interés agronómico (como el trigo, la soja o el maíz) modificadas genéticamente (para volverlas capaces de asimilar fosfito), es para Rubio “una alternativa muy novedosa e interesante”. Esta tecnología, que puede aplicarse también a la cría de microalgas productoras de biocombustibles, está siendo considerada actualmente para su publicación por una revista científica de alto impacto.

El uso del nuevo producto desarrollado por SG con base en esta tecnología, disminuye entre 30 y 50 % la cantidad requerida de fertilizante; elimina o disminuye el uso de herbicidas, y es inocuo para humanos y animales.

De este modo, la biotecnología distintiva desarrollada por SG consiste en realizar modificaciones genéticas a plantas para que sean capaces de nutrirse absorbiendo un componente que naturalmente no podrían ocupar en su favor, lo cual significa que aprovecharán mejor el fertilizante, el cultivo se optimizará, y otras plantas, como las malezas, no competirán por los nutrientes. Las plantas obtienen así de la biotecnología una característica selectiva que les permite conseguir fósforo (*idem*).

Producto desarrollado y sus mercados potenciales

StelaGenomics se enfoca en combatir las malezas sin afectar el medio ambiente; de ahí que use productos creados con base en herramientas de la ingeniería genética. Los investigadores proyectan que el uso de plantas modificadas no sólo ayudará a disminuir el uso de fertilizantes; también disminuirá la aplicación de herbicidas en cultivos como el maíz, la soja, el trigo y el algodón, entre otros. Y hará descender lo mismo el costo de producción de los cultivos que el precio de los mismos en el mercado, beneficiando tanto al productor como

al consumidor y al medio ambiente. Todavía están en desarrollo pruebas de la tecnología en campo y de generación de las siguientes variedades de plantas modificadas: papa, arroz, soya, tomate y maíz (ídem).

Evaluaciones realizadas tanto por SG como por grupos de empresas semilleras nacionales, han estimado que la aplicación de esta tecnología supondría un ahorro de 25 % respecto a los costos actuales de otras tecnologías. Adicionalmente se considera que entre los beneficios de esta tecnología debería considerarse la reducción significativa en el uso de fertilizantes e insecticidas, y una reducción casi completa del uso de herbicidas. De esta forma, las ventajas de la tecnología desarrollada en términos de aumento de la productividad y de reducción de costos, importarían en un mercado que a nivel nacional implica más de 70 000 millones de pesos.

Stelight™ es una plataforma tecnológica que permite la generación de plantas capaces de utilizar el fosfito como un poderoso herbicida de espectro amplio, y como una fuente de fósforo de alta eficiencia alternativa al fosfato. Además, el fosfito es menos reactivo que el fosfato con los componentes del suelo, y no es metabolizado por malezas ni microorganismos. Las dos líneas de productos de la empresa (Stelight™) se denominan:

- semillas transformadas SL™, y
- sistema dual herbicida/fertilizante SL Phi™ (LatIPnet, 2015).

El caso de SG muestra el paso desde una investigación académica centrada en el desarrollo de fertilizantes ecológicos a una empresa que se consolida para lograr comercializar una tecnología patentada de desarrollo de un sistema dual de fertilización y control de maleza (Planeta Azul, 2013). La tecnología de SG tiene un rango de aplicación bien definido: zonas donde la carencia de fósforo del suelo es grave, de modo que se necesita poner fertilizante para producir. La tecnología de SG ofrece las siguientes ventajas: permite fertilizar a un costo que constituye la tercera o cuarta parte del total actual; hace innecesario el uso de herbicidas, y las semillas reducen el costo a un menor valor. Hoy en día todas estas zonas que presentan carencias de fósforo no son muy productivas, dado que la inversión en fertilizantes fosfatados requerida es muy alta.

Hay una potencial derivación de la tecnología propia a SG: la aplicación de esta técnica de la BT moderna al cultivo de algas. Algunas empresas de Phoenix y San Diego en Estados Unidos se han mostrado interesadas en el uso de esta tecnología. Si se viabilizara esta posibilidad, sería necesario establecer un *spin-off* de SG consagrada a la comercialización de la tecnología, pero orientada a la producción de algas.

Por lo demás, la empresa continúa estableciendo múltiples vínculos de mercado a nivel internacional; entre ellos figuran los siguientes: la venta de licencias a las empresas transnacionales Pioneer, Monsanto y Dupont; contactos con productores de trigo en Europa, y con empresas de Argentina y de Holanda (las de este último país se muestran especialmente interesadas en las posibilidades de la tecnología en alfalfa y pastos de ganado).

Otros dos mercados clave a los que apunta la empresa son España y China. En España han comenzado a realizarse pruebas de validación de la tecnología de la empresa, la cual sería clave para conseguir una puerta de entrada al mercado europeo. Otro espacio potencial por explorar ha sido el mercado chino; un futuro socio de ese país está realizando pruebas de la tecnología sobre el arroz, y considera la posibilidad de analizar esta tecnología en el té.

No obstante, para SG un espacio de negocios futuros fundamental debe ser el establecimiento de alianzas y apoyos con productores de semillas a nivel nacional, pero con un fuerte apoyo de las autoridades gubernamentales del área. Desde la perspectiva de los directores y creadores de SG, la tecnología de la empresa es no sólo más limpia y ecológica por las razones anteriormente mencionadas; también es una tecnología que tiene un valor agregado porque se basa en una tecnología nacida en un centro de investigación local.

Estructura de la empresa

La sociedad mercantil StelaGenomics Inc. fue registrada en septiembre de 2011 en Dover, poblado del estado de Delaware de Estados Unidos. Tras ser constituida en Delaware, cerca de la costa atlántica, la empresa se asentó en el otro extremo de Estados Unidos, en Santa Ana, California, en la zona de

Silicon Valley. En 2012 la empresa fue inscrita en Guanajuato bajo la figura legal de Sociedad de Responsabilidad Limitada.

El fundador de StelaGenomics es el científico Luis Herrera-Estrella, director de Langebio y reconocido internacionalmente por sus contribuciones a la biología molecular y al desarrollo de métodos de transferencia de genes. Simon Goldbard es el director general y quien ha impulsado la creación de otras empresas de biotecnología, como Genet Corporation y Vitra Bioscience Inc. Otro emprendedor del grupo es Adolfo Nemirovsky, director de operaciones, socio fundador de la empresa alimenticia Simply Agave y de las compañías de tecnología XStream Logic y FlowStorm, que han recibido capital de riesgo por más de 36 millones de dólares.

Así como el doctor Herrera desempeña un papel clave en la empresa en cuanto líder científico nacional con reconocimiento internacional, Goldbard y Nemirovsky han contribuido a la internacionalización de la empresa y han operado como los líderes de negocio para el impulso de SG. Un factor central de su influencia radica en la experiencia de ambos como comercializadores de tecnología de punta en sectores emergentes en el entorno de Silicon Valley, así como en su conocimiento del sector empresarial mexicano, particularmente a partir de su vinculación con el programa TechBA de la Secretaría de Economía en su sede de San José, California, en el centro del Silicon Valley. Así pues, estos tres líderes científicos y de negocios han cumplido un rol clave en el proceso de crecimiento, internacionalización y visibilidad en el mercado de SG.

El equipo lo completa Damar López-Arredondo, egresada del Doctorado en Biotecnología del Cinvestav de Irapuato, y quien el año pasado fue reconocida por el Instituto Tecnológico de Massachusetts con el premio a los jóvenes innovadores. Los emprendedores de StelaGenomics han lanzado otras seis empresas en Estados Unidos, una de las cuales cotiza en la bolsa de valores de Nueva York (Nasdaq), además de sumar 40 patentes en BT y en la industria alimentaria (AM, 2013).

La empresa emplea actualmente a 18 personas, 12 de las cuales desarrollan tareas de investigación científica y desarrollo; 10 de ellas son candidatos a doctor por Langebio.

Dinámicas institucionales: financiamiento, derechos de propiedad intelectual y redes de vinculación

Capital de riesgo y patentes

En términos de estrategias de financiamiento, SG partió de una inversión inicial de capital de riesgo por 1.6 millones de dólares, los que se destinaron a contratar personal administrativo y de investigación, a caracterizar líneas transgénicas de maíz, soja, papa y trigo, y a adaptar la tecnología al cultivo de microalgas (*El Economista*, 2013a). A esta inversión inicial debe agregársele la nueva ronda de financiamiento de capital de riesgo –por 1.5 millones de dólares– obtenida por la empresa. Para la obtención de este capital de riesgo, la empresa contó con el apoyo de LatIPnet, una organización intermedia especializada en servicios intensivos de conocimiento que, en 2011 y contratada por el gobierno estatal, asesoró a investigadores de Cinvestav Irapuato y Langebio en la detección de proyectos de I+D con potencial futuro de explotación comercial. Más adelante se detalla el tipo de vínculo establecido entre SG y LatIPnet.

En términos de financiamiento, SG ha obtenido además una suma cercana a los dos millones de dólares de fondos de investigación públicos y privados. A nivel nacional, los encargados de la empresa destacan tres fuentes o vías de gobierno a través de las cuales se han buscado y siguen buscándose fondos y apoyos:

- proyectos conjuntos de la Secretaría de Economía y Conacyt (particularmente el programa Finova);
- proyectos coordinados por Sagarpa en torno a la transformación de especies, y
- junto a Promexico para delinear la etapa de posicionamiento global futuro de los aspectos comerciales de la empresa.

Adicionalmente, SG ha obtenido fondos para realizar actividades de I+D en su proyecto de producción de maíz en África subsahariana por parte de la Grand Challenges Explorations de la Fundación Gates.

La protección en términos de los derechos de propiedad intelectual con que SG ha patentado su tecnología y diversos aspectos de ella, se ha reflejado en

la aplicación de más de 20 patentes a nivel internacional en Estados Unidos, Canadá, Brasil, Argentina, China, India, España Australia y Nueva Zelanda. Las primeras de esas patentes ya tienen cerca de cuatro años de presentadas y en breve se están preparando otras solicitudes vinculadas a la tecnología de SG.

Colaboraciones con actores no empresariales (1):
sector de investigación científica

En términos de expansión de las capacidades tecnológicas y de I+D, la empresa ha intentado establecer relaciones de colaboración con centros y grupos de investigación expertos en biotecnología de plantas a nivel internacional. Para SG ha sido clave la delimitación y consolidación de las líneas centrales de I+D de la empresa en sus distintas interacciones con grupos de investigación de primer nivel mundial:

- centros de investigación del clúster BT de San Diego, Estados Unidos;
- reconocidos centros estadounidenses, como Texas A&M, Iowa State y Penn University;
- universidades europeas de Inglaterra (Cambridge), Alemania (centros del Instituto Max Plank) y Finlandia (Helsinki);
- universidades de Sudáfrica y Nigeria, y
- centros de investigación y universidades de Jiangnan –la principal región productora de té en China–, donde se han explorado las posibilidades de aplicabilidad de la tecnología a la producción de esta planta.

Todos estos vínculos han permitido a la empresa mantenerse actualizada en los desarrollos científicos y de BT básica vinculados a la tecnología de que es propietaria la empresa. A nivel nacional es muy destacado el vínculo de la empresa con Langebio y, en menor medida, con la Unidad Irapuato del Cinvestav (Stezano, 2012).

Cinvestav reúne en sus instalaciones la Unidad Irapuato (UI) y el Langebio. Aquí hay actualmente 16 investigadores senior en genómica, cada uno de los cuales ha conformado un grupo con investigadores posdoctorales, estudiantes de posgrado y algún técnico en laboratorios. En la UI, 19 investigadores con-

forman el Departamento de Ingeniería Genética, y 13 el Departamento de BT y Bioquímica (Stezano, 2013).

Langebio surgió de una propuesta de cuatro expertos en Genómica de la UI (uno de los cuales es el doctor Herrera-Estrella) para desarrollar una unidad de investigación de clase mundial, con un triple objetivo: hacer uso de la biodiversidad de México; proveer servicios en genómica a organizaciones de investigación y empresas, y desarrollar un programa de protección de la propiedad intelectual. En 2005, en una experiencia inédita para la ciencia mexicana, tres organizaciones federales (Conacyt y las secretarías de Educación y Agricultura) y el gobierno de Guanajuato asignaron 50 millones de dólares para su construcción, la adquisición del equipo (incluido el mayor equipo de secuenciación de América Latina) y la creación de puestos de trabajo, con miras a iniciar actividades en 2009 (OCDE, 2009).

Sin embargo, la influencia más notoria de Cinvestav Irapuato y Langebio en el desarrollo de SG (además del natural vínculo surgido por ser Herrera-Estrella investigador y López-Arredondo egresada doctoral de la empresa) se vincula con la regulación y normatividad de la institución y con las posibilidades de transferir tecnología desarrollada en la misma institución con fondos públicos.

En este sentido, un aspecto crítico de la transferencia de la investigación de Langebio hacia SG atañe a la negociación de los derechos de propiedad intelectual de la tecnología base de la empresa. Por su carácter de centro federal, Langebio, como parte del Cinvestav, es propietaria de la tecnología generada por las investigaciones desarrolladas en sus centros. Así pues, los investigadores no cuentan con la posibilidad de comercializar tecnología surgida en sus trabajos de investigación.

El entorno institucional del Cinvestav relacionado con la BT predominantemente ha apoyado la orientación a modelos de actividad científica basados en investigación básica. El contexto de apoyos de las políticas públicas, las reglamentaciones internas de Cinvestav y el volumen de demanda de conocimiento de las empresas, han llevado a la falta de espacios autónomos para que los investigadores utilicen sus redes con miras a contribuir al desarrollo local. La mayoría de los proyectos de los investigadores se orientan a fines académicos y son financiados con fondos públicos. La relación entre investigadores y productores, y las posibilidades de aplicar los resultados de la inves-

tigación a procesos productivos, son aún azarosas y frágiles. Una minoría son proyectos de investigación aplicada que incluyen financiamiento obtenido por contrato con un usuario externo, y especialmente proyectos de nuevos tipos de iniciativas gubernamentales federales (de Conacyt) y estatales (Gobierno de Guanajuato). Estos últimos proyectos son los que en los años recientes han tenido mayor relevancia en la experiencia de estas instituciones en términos de vinculación tecnológica con el sector productivo (Stezano, 2012).

Para la empresa, la negociación de la tecnología ha sido un obstáculo clave para el proceso de transferencia. Los conocimientos centrales de SG son altamente codificados y por tanto es clave su regulación a través de los sistemas de propiedad intelectual. La negociación entre las partes ha sido compleja y, por momentos, conflictiva. La solución alcanzada hasta el momento es el licenciamiento exclusivo de la tecnología por parte del Cinvestav hacia SG. El reciente cambio en la dirección de esta institución ha abierto expectativas de futuras negociaciones del centro con la empresa.

Herrera-Estrella ha declarado en los medios de comunicación la importancia de ajustar la Ley Federal de Responsabilidades de los Servidores Públicos, la cual impide a los investigadores en instituciones federales o que manejan fondos públicos, licenciar patentes como creadores o participar en actividades de vinculación con el sector privado mediante la conformación de consorcios, alianzas tecnológicas, nuevas empresas privadas de base tecnológica, participación como socios y otras figuras (*El Economista*, 2013b).

A inicios de mayo de 2015, el pleno del Senado de la República aprobó modificaciones a la Ley de Ciencia y Tecnología y a la Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos, mediante el establecimiento de instancias de gestión para la transferencia tecnológica y la vinculación de la empresa con las instituciones que desarrollan actividades científicas.

La reforma permite a investigadores de universidades, centros públicos y entidades de la administración pública federal la realización de actividades científicas y tecnológicas, y que se beneficien de las invenciones que desarrollen de manera conjunta; les permite asimismo ser accionistas de empresas y obtener regalías. Además elimina el posible conflicto de intereses por su condición de servidores públicos, y establece mecanismos para transparentar el uso de recur-

tos e infraestructura pública. Finalmente, la reforma mandata la creación de unidades de transferencia para que instituciones de educación, centros de investigación y entidades puedan vincular su desarrollo a las demandas de la industria (Coordinación de Comunicación Social del Senado de la República, 2015).

Colaboraciones con actores no empresariales (2): gobierno estatal

En junio de 2012 y con la presencia del gobernador de Guanajuato, se inauguró la sede de SG en Irapuato dentro del Parque de Innovación Agrobioteg. En este marco, SG y Agrobioteg firmaron un convenio de colaboración para formalizar los términos y condiciones de su alianza estratégica, cuyo propósito es desarrollar una estructura de transferencia de conocimiento especializado en biotecnología (ENES, 2012).

Desde este momento, SG se convirtió en la empresa emblema del Agrobioteg. Este parque, cuya construcción comenzó a planearse en 2009, actualmente alberga nueve empresas. Cinco de ellas se relacionan con agro-BT. Las cuatro restantes se vinculan, respectivamente, a las siguientes actividades: tecnologías ambientales de manejo de agua; servicios de diagnóstico genético; tecnologías de información, y servicios de innovación centrados en gestión tecnológica y propiedad intelectual. La tabla 1 presenta la lista de estos parques tecnológicos.

Agrobioteg se inserta en el sistema de siete parques tecnológicos estatales denominado Novaera. Todos los parques del sistema Novaera ofrecen distintos tipos de servicios a las empresas que hospeda o espera hospedar. Cada parque dispone de una red de consultores especializados que asesoran sobre estos distintos temas, y cuenta con independencia operativa para su funcionamiento. No obstante, en todos los consejos asesores y directos de cada parque tecnológico tiene presencia el gobierno estatal. En virtud de este proceso de provisión de servicios especializados para empresas de base tecnológica, se han dado procesos de aprendizaje y retroalimentación colectivos que han favorecido también alianzas y colaboraciones entre los parques, aun cuando no sean del mismo sector.

Estos servicios externos especializados que brinda cada parque incluyen asistencia en cinco servicios de negocios e innovación:

TABLA 1
Parques tecnológicos del sistema estatal Novaera

<i>Nombre del parque</i>	<i>Vocaciones sectoriales y productivas</i>	<i>Tipo de agente coordinador</i>	<i>Ubicación</i>
<i>Iberoinnovación</i>	Sectores tradicionales Turismo Nanotecnología Tecnología interactiva	Privado (Universidad Iberoamericana)	León
<i>Parque de innovación de la Salle</i>	Salud Educación Hábitat	Privado (Universidad La Salle)	León
<i>Parque tecnológico Cien</i>	Automotriz Aeronáutica Biomédica	Privado (Tecnológico de Monterrey)	León
<i>Parque tecnológico Sanmiguelense</i>	Ingeniería Desarrollo de software Diseño basado en simulación Prototipado virtual Modelación numérica avanzada	Público (Instituto Tecnológico Sanmiguelense de Estudios Superiores)	San Miguel de Allende
<i>Guanajuato Tecno Parque (GTP)</i>	Manufactura, diseño y nuevos materiales TIC	Público (Universidad de Guanajuato)	Silao
<i>Centro Mexicano de Energías Renovables (Cemer)</i>	Energías renovables Energética (simulación y modelado) Eólica Solar (fotovoltaica y térmica) Biomasa	Público (CEMR de la Universidad de Guanajuato)	Salamanca
<i>Agrobioteg</i>	Alimentos Agrícola Farmacéutica Biocombustibles	Público (Langebio y Convestav-Irapuato)	Guanajuato

Fuente: elaboración propia con base en información de Agrobioteg.

- transferencia tecnológica: validación comercial y tecnológica, valuación del proyecto, estrategia de propiedad intelectual, estrategias de transferencia y modelo de negocios;
- creación de la empresa de base tecnológica: figura jurídica, acta constitutiva, trámites ante SAT y Reniecyt;
- hospedaje;
- validación comercial: producto mínimo viable, prueba de concepto, validación de mercado, y
- propiedad intelectual: patente, registro de marca y/o modelo de utilidad.

El objetivo de Agrobioteg es articular una estructura favorable a la innovación que permita la incubación y aclaración de pequeñas empresas de base biotecnológica. Los servicios que ofrece el parque en términos de organización dedicada a la provisión de servicios de negocios intensivos en conocimiento, se vinculan a tres tipos de apoyos:

- servicios de innovación: gestión y transferencia tecnológica, vigilancia y prospectiva, articulación tecnológica y empresarial, y gestión de fondos público-privados;
- servicios de negocios: incubación y aceleración de empresas, modelos de negocios, entrenamiento gerencial y vinculación financiera, y
- servicios de infraestructura de instalaciones y servicios de apoyo a la operativa de las empresas instaladas en el parque.

Para SG, el parque tecnológico ha sido un soporte clave en términos de infraestructura, laboratorios e instalaciones (Agrobioteg, 2015).

Colaboraciones con actores no empresariales (3): organizaciones intermedias

LatIPnet es una organización internacional que promueve la generación de valor de la innovación en América Latina; y la promueve sensibilizando a los agentes del conocimiento sobre el valor de los siguientes objetivos: la comercialización de la propiedad intelectual; la colaboración universidad-industria, y la creación de empresas globales de base tecnológica. La organización apoyó a los creadores de la tecnología central de SG con conocimiento experto en torno

al potencial de proyectos de investigación con visión y conocimiento del mercado de negocios de la BT. LatIPnet ha demostrado poseer capacidades para detectar la calidad científica de proyectos de I+D en BT básica y su potencialidad de negocios, conjugando conocimientos sobre la calidad de proyectos de investigación y competencias no académicas, como la evaluación de mercados y oportunidades de negocios del sector agro-BT (Stezano, 2012).

En 2008, la Secretaría de Desarrollo Económico de Guanajuato se vinculó con LatIPnet para diseñar e implementar una iniciativa de transferencia tecnológica y comercialización estatal orientada al fortalecimiento del sistema estatal de innovación, a través de acuerdos de licenciamiento de tecnología, alianzas estratégicas y formación de *start-ups*.

LatIPnet colaboró con investigadores de Cinvestav Irapuato y Langebio para licenciar sus tecnologías e iniciar colaboraciones en proyectos conjuntos de I+D con grandes empresas del sector BT, como Pioneer/DuPont, que firmó un acuerdo de investigación colaborativa con Cinvestav. La actividad de LatIPnet incluyó además la asistencia para identificar, lanzar y registrar 13 patentes en Estados Unidos, incluyendo al sector agro-BT nanotecnológico, nuevos materiales y educación. Entre esas patentes iniciales se encuentran algunas de la tecnología de SG. Además, como se señaló previamente, LatIPnet fue clave en la búsqueda de financiamiento de capital de riesgo para fondar las actividades de SG.

Conclusiones: la inserción de SG en las dinámicas del sector y el aprovechamiento de incentivos institucionales

La revisión del caso de SG da cuenta de un emprendimiento tecnológico originado en el desarrollo de una tecnología creada en el marco de investigaciones desarrolladas en un centro de investigación público. La estrategia que adoptó la empresa para transferir el conocimiento generado en una institución pública de investigación, siguió una trayectoria habitual en el segmento BT de la cadena de valor agro-alimentaria internacional de los últimos 15 años. En el proceso se conjugaron tres elementos decisivos: el licenciamiento de tecnologías desde el sector público de investigación hacia el sector privado a través de nuevas

empresas de base tecnológica; la protección de los derechos de propiedad intelectual de la tecnología a través de su patentamiento, y el financiamiento de emprendimientos tecnológicos de largo plazo con capitales financieros de riesgo.

No obstante, estos recorridos no han sido habituales en México, donde en cambio han existido:

- muy pocas empresas especializadas en agro-BT con capacidades de manejo de técnicas transgénicas para el diseño y transformación genómica;
- escasas patentes BT de inventores nacionales, y
- escasas posibilidades de acceso a financiamiento de capitales financieros de riesgo para empresas de base tecnológica.

La tabla 2 resume estilizadamente el modo en que SG logra insertarse en el mercado para afrontar competitivamente las tendencias del sector.

TABLA 2
Estrategia de SG

<i>Dimensión</i>	<i>Tendencias globales del sector</i>	<i>Inserción de SG en esas tendencias: estrategias / buenas prácticas</i>
Tecnología y cadenas de valor	Cadena de valor que diferencia y separa la actividad semillera entre empresas especializadas en BT que desarrollan eventos transgénicos y empresas semilleras que adaptan rasgos genéticos en la producción industrial de semillas mejoradas	Producto y tecnología original (reduce uso de herbicidas, insecticidas y desmalezadores químicos) a nivel global A través de una estrategia de internacionalización de la empresa, la empresa busca contactar empresas semilleras que industrialicen su tecnología distintiva (rasgos genéticos específicos)

Modelos de negocios y mercado	Se distinguen empresas BT especializadas (pequeñas firmas surgidas de investigaciones de académicos en muchas ocasiones) y firmas integralmente verticales (grandes ETN que dominan en ocasiones también el segmento semillero, compran empresas especializadas prometedoras y dominan la mayoría del mercado)	Empresa de BT especializada que ha recurrido a una estrategia de internacionalización para superar las barreras de entrada e intentar llegar al mercado a través de asociaciones con grandes firmas globales
Instituciones e innovación	Fuerte presencia de capitales financieros de riesgo, complejo mercado de patentes determinante de las estrategias competitivas del sector y alta relevancia del sistema de investigación pública que se licencia a privados o sale al mercado en forma de <i>spin-off</i> o <i>start-up</i> .	La estrategia de internacionalización de la empresa le ha permitido a la empresa registrar múltiples patentes a nivel global (como estrategia de protección del mercado tecnológico) y obtener financiamiento de riesgo. La inadecuación y conflictos entre la ley de CyT y la de Servidores públicos federales dificultó la constitución de la empresa por la negociación entre los derechos de los creadores de la tecnología y el centro de investigación que financió su investigación.

Fuente: elaboración propia.

La estrategia de SG ha permitido aprovechar factores y oportunidades críticos para superar tres barreras clave que el entorno institucional y tecnológico nacional pone al desarrollo de este tipo de empresas.

En primer lugar, SG supo aprovechar sus capacidades de I+D (sustentadas en las capacidades de investigación básica de Cinvestav Irapuato y Langebio) y la originalidad de una tecnología que no cuenta con desarrollos similares a nivel mundial, para insertarse en el segmento de mayor complejidad tecnológica y cognitiva de la cadena de valor agro-BT. StelaGenomics logró así situarse como una empresa que realiza procesos de diseño y transformación genética, y por ende busca vender a empresas semilleras rasgos genéticos útiles para la transformación de una semilla.

Este punto permite situar a SG como una empresa innovadora en un segmento de alta complejidad cognitiva de la cadena que involucra el uso de complejas técnicas modernas de BT (genómica, ingeniería genética, transformación celular para regeneración de plantas, desarrollo de variedades e híbridos, marcadores moleculares) y requiere fuertes inversiones para, a largo plazo, ingresar al mercado. En este segmento BT, el desarrollo que lleva al segmento industrial que producirá y comercializará una semilla genéticamente mejorada de alto rendimiento, implica de 12 a 14 años para el caso de las plantas transgénicas (7-8 años de I+D más 5-6 años de procesos regulatorios), y 10 años en el caso de material genético de élite.

De esta forma, el segmento BT se distingue de la actividad industrial semillera (donde sí existen algunos actores nacionales) en que es un sector cuya tarea es la adaptación del evento transgénico a la planta; un sector donde, por consiguiente, influye más la dimensión territorial, toda vez que las variedades mejoradas tienen valor en la medida en que responden a las condiciones propias de su territorio (Sztulwark, 2012: 79). Esta diferencia entre sectores se refleja en la intensa estrategia de internacionalización que SG ha emprendido: el producto que ofrece (el evento transgénico asociado al aislamiento de un gen con ciertos rasgos) servirá en Asia, África o México.

De igual modo, la estrategia de internacionalización de SG ha sido decisiva para que la empresa supere dos obstáculos institucionales que afectan a las empresas especializadas en BT. En primer lugar, al ubicar su sede en Estados

Unidos, SG ha sido capaz de obtener elevados recursos financieros de capitales de riesgo difícilmente accesibles en México para proyectos tecnológicos que, como éste, poseen una alta incertidumbre. Adicionalmente, el reconocimiento de la calidad de la investigación que desarrolla el grupo científico que la conforma ha permitido obtener recursos a la I+D de fuentes públicas (en México) y privadas (en Estados Unidos). En segundo lugar, también gracias a la internacionalización y a la obtención de capitales de riesgo fue posible que la empresa registrara más de una decena de patentes en distintos países donde la tecnología que desarrolla tiene potencial de mercado.

Finalmente, es preciso reseñar el obstáculo institucional de carácter legal y normativo que impide a los investigadores nacionales (exceptuando a los de centros públicos de investigación) licenciar por su cuenta las tecnologías desarrolladas o participar en nuevas empresas de base tecnológica originadas en investigaciones públicamente financiadas. Estos aspectos institucionales que fueron la base del cambio legal que reorientó el modelo de innovación en el sector BT (la reforma Bayh-Dole en 1980 en Estados Unidos), obstaculizan posibles actividades de emprendimiento académico en sectores innovadores intensivos en conocimiento en México. La reforma aprobada en el Senado en mayo de 2015 abre una posibilidad de modificación más acorde con las dinámicas de innovación y emprendimiento en el segmento genómico de la cadena agro- BT. En el caso de SG, la solución que se logró acordar fue la cesión de los derechos de la tecnología al Cinvestav, para luego negociar con la empresa una licencia exclusiva de uso para la empresa. Los involucrados destacan la complejidad legal e institucional de este proceso, la cual derivó de la falta de armonía e incluso de las contradicciones entre la Ley de Ciencia y Tecnología y la Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos.

Bibliografía

Trejo, S. (coord.) (2010), “La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en el México y factibili-

- dad de desarrollo”, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN), Tlaxcala.
- Cimoli, M. , y A. Primi (2008), “Intellectual Property and Development: An Interpretation of the (NEW) Markets for Knowledge”, en J. Martínez-Piva (ed.), *Knowledge Generation and Protection. Intellectual Property, Innovation and Economic Development*, Economic Commission for Latin America and the Caribbean / Springer, Nueva York, pp. 3-26.
- Didou, S, y E. Remedi (2008), “La unidad Irapuato del Cinvestav: una obsesión cifrada en la búsqueda de la excelencia”, en S. Didou y E. Remedi, *De la pasión a la profesión: investigación científica y desarrollo en México*, Casa Juan Pablo / United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, México, pp. 71-116.
- Gutman, G. y P. Lavarello (2008), “Biotecnología y desarrollo. Avances de la agrobiotecnología en Argentina y Brasil”, *Economía: Teoría y Práctica*, vol. 27, pp. 19-39, México.
- (2014), “Biotecnología industrial en Argentina: estrategias empresariales frente al nuevo paradigma”, Gran Aldea, Buenos Aires.
- Luukkonen, T. (2005), “Variability in Organisational Forms of Biotechnology Firms”, *Research Policy*, vol. 34, pp. 555-570.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2009), *OECD Reviews of Innovation Policy: Mexico*, OECD, París.
- Saviotti, P. P., y David Catherine (2008), “Innovation Networks in Biotechnology”, en H. Patzelt y T. Brenner (eds.), *Handbook of Bioentrepreneurship*, Springer, Nueva York, pp. 53-82.
- Schweitzer, L., y D. Z. Knyphausen-Aufsess (2008), “Mergers and Acquisitions in the Biotechnology Industry”, en H. Patzelt y T. Brenner (eds.), *Handbook of Bioentrepreneurship*, Springer, Nueva York, pp. 133-148.
- Stezano, F. (2012), “Construcción de redes de transferencia ciencia-industria en el sector de biotecnología en México”, *Estudios Sociales*, vol. 20, núm. 39, pp. 9-38, disponible en <http://www.ciad.mx/desarrollo/revista/archivos/res39/Federico_Stezano.pdf>.
- (2013), “Construcción de redes inter-organizacionales de transferencia de conocimiento e innovación en el sector de agro-biotecnología en México”, en J. Aboites y C. Díaz (coords.), *Innovación. Instituciones, redes*

- y aprendizaje, Porrúa / Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 179-214.
- Sztulwark, Sebastián (2012), *Rentas de innovación en cadenas globales de producción: el caso de las semillas transgénicas en Argentina*, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires.
- Vanloqueren, Gaetan, y Philippe Baret (2009), “How Agricultural Research Systems Shape a Technological Regime that Develops Genetic Engineering but Looks out Agroecological Innovations”, *Research Policy*, vol. 38, pp. 971-983.
- Wield, David, Joanna Chataway, y Maurice Bolo (2010), “Issues in the Political Economy of Agricultural Biotechnology”, *Journal of Agrarian Change*, vol. 10, núm. 3, pp. 342-366.
- Wilson, Karen, y Filipe Silva (2013), “Policies for Seed and Early Stage Finance: Findings from the 2012 OECD Financing Questionnaire”, en *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, núm. 9, octubre.
- Wilson, William, y Huso Scott (2008), “Trait Stacking, Licensing and Seed Firm Acquisitions in Genetically Modified Grains: a Strategic Analysis”, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 33, núm. 3, pp. 382-401.

Notas de prensa e información

- Agrobioteg (2015), “Servicios de innovación”, en <http://www.agrobioteg.org/servicios_agrobioteg>.
- Periodico AM* (2013), “La semilla de la innovación”, en <<http://www.am.com.mx/opinion/leon/la-semilla-de-la-innovacion-12190.html>>.
- Comunicación Social del Senado de la República (2015), “Senado aprueba reforma que impulsa intercambio tecnológico entre empresas e instituciones públicas”, en <<http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/20210-senado-aprueba-reforma-que-impulsa-intercambio-tecnologico-entre-empresas-e-instituciones-publicas.html>>.
- El Economista* (2013a), “Plantas transgénicas optimizarán cultivos”, en <http://eleconomista.com.mx/entretenimiento/2013/04/02/plantas-transgenicas-optimizaran-cultivos?cx_relacionadas=Nota02>.

——— (2013b), “Buscan modificar la ley y eliminar obstáculos entre la academia y empresas”, en <http://eleconomista.com.mx/entretenimiento/2013/08/25/buscan-modificar-ley-eliminar-obstaculos-entre-academia-empresas>.

Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES)-Unidad León (2012), “Tesis doctoral se convierte en una nueva empresa biotecnológica en Guanajuato”, en http://enes.unam.mx/?lang=es_MX&cat=ciencia-y-sociedad&pl=tesis-doctoral-se-convierte-en-una-nueva-empresa-biotecnologica-en-guanajuato.

MIT Technology Review (2013), “Cultivos genéticamente modificados para optimizar el uso de fertilizantes”, disponible en <http://www.technologyreview.es/tr35mexico/profile.aspx?trid=1266>.

Planeta Azul (2013), “Langebío desarrolla maíz resistente para África”, en <http://www.planetaazul.com.mx/site/2013/06/08/langebio-desarrolla-maiz-resistente-para-africa/>.

LatIPnet (2015), “Built a Biotech Ecosystem in Guanajuato”, México, en <http://latipnet-usa.org/regions/>.

7. Fungifree Ab®

*Rebeca de Gortari Rabiela, Nelly Medina Molotla
y Eréndira Cabrera*

Antecedentes históricos

Cuando hablamos de Fungifree AB® nos referimos a un biofungicida bacteriano, es decir, a un agente de control biológico (ACB) útil para combatir la antracnosis del mango (*Mangifera indica L.*). Esta enfermedad se caracteriza por la presencia de manchas oscuras en la cáscara como efecto de un hongo fitopatógeno, el *Colletotrichum gloeosporioides*. El largo camino que este producto recorrió para que el mango pudiera llegar a ser exportado y tener un mayor tiempo de vida en anaquel sin ser atacado por este hongo, es narrado a continuación.

El primer contacto entre los investigadores que trabajarían juntos durante 12 años para la elaboración del biofungicida, tuvo lugar en un congreso organizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en el año 2000. Dicho congreso tenía el objetivo de presentar resultados de proyectos financiados por el organismo. Entre los congregados estaba el doctor Enrique Galindo Fentanes, miembro del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Morelos, quien presentó un proyecto de polisacáridos microbianos, de xantanas y alginatos. También estuvo ahí el maestro Armando Carrillo Facio, del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD-Culiacán, Sinaloa), quien presentó un proyecto sobre control biológico con organismos que habían sido aislados de la naturaleza con el fin de atacar enfermedades del mango.

Según el doctor Galindo, la primera interacción se dio de la siguiente manera:

Ya en la parte social, fui a ver su póster y me dijeron: “nosotros lo que no tenemos es la parte de fermentación y de escalamiento y somos fitopatólogos”. Yo les dije: “nosotros hemos trabajado en control biológico con otro organismo, con *Trichoderma*, y tenemos la parte de fermentación y escalamiento pero no tenemos la parte de fitopatología”. Y ahí nació la idea del proyecto.

Contexto de la producción de mango

El hecho anterior ocurrió en un contexto donde a nivel global existen presiones y regulaciones tendentes a la protección del medio ambiente y al establecimiento de medidas que conduzcan hacia la producción sustentable de alimentos, y donde los productos químicos para la agricultura estaban siendo gradualmente sustituidos por productos biológicos. De acuerdo con la tendencia en los mercados mundiales, las ventas en los pesticidas químicos han ido a la baja —de 27 144 millones de dólares en 2003 a 24 205 millones de dólares en 2010—, mientras que para el mismo periodo los biológicos registran un aumento de 67 % en las ventas, aunque el mercado es menor (BBC Reporte 2012).

Diversas instancias gubernamentales han establecido regulaciones con miras a reducir y eventualmente eliminar el uso de pesticidas químicos para la agricultura. Algunos mercados, como el de la Unión Europea, el estadounidense y el japonés, han establecido una regulación sanitaria y de seguridad alimentaria para que los productos agrícolas que presentan fitopatógenos y hayan utilizado químicos aun en cantidades mínimas, sean rechazados.

Además, en la medida en que el crecimiento poblacional demanda enormes cantidades de alimentos inocuos para el medio y la salud humana, se ha empezado a transitar hacia la producción de agentes de control biológico (ACB) que sustituyan el uso de pesticidas y plaguicidas químicos.

En este contexto, y desde la apertura de la economía mexicana, los productores agrícolas nacionales —en particular los de mango, que buscan colocar sus productos en mercados de exportación— han tenido que poner en práctica nue-

vas estrategias. Entre ellas tenemos la resolución del problema de la antracnosis, una de las principales enfermedades que aparece en los frutos, tallos y hojas jóvenes. Se estima que las pérdidas poscosecha por esta enfermedad fluctúan entre 30 y 60 % de la producción nacional. El problema afecta a la cáscara del mango, y por ello la fruta es rechazada para su exportación.

En general, el mango es un producto de consumo apreciado en los mercados nacional e internacional, y México era el séptimo productor a nivel mundial en 2012. Para 2013, la producción alcanzó un volumen de 1.7 miles de toneladas, con un valor de casi 5 000 millones de pesos. El número de productores dedicados a esta actividad era aproximadamente de 40 mil (Financiera Rural, 2014).

Como resultado de los cambios en la demanda y las regulaciones, los productores, comercializadores y exportadores de productos agrícolas se enfrentan al reto de colocar sus productos en mercados de mayor valor agregado, cumpliendo a la vez los requisitos de inocuidad alimentaria y baja residualidad, así como respondiendo a los cambios en la demanda alimentaria, como son los productos orgánicos. Es decir, al mismo tiempo que sus productos no presentan enfermedades causadas por algún agente patógeno, tampoco son tóxicos como resultado de la aplicación de plaguicidas químicos.

Así, Fungifree AB® se inserta en el mercado como un desarrollo científico y tecnológico realizado por un grupo de investigadores que invirtió 12 años de trabajo desde la creación del ACB hasta su comercialización, capaz de responder a esta problemática de manera más eficiente que los productos químicos. Además de ayudar al control de fitopatógenos, Fungifree AB® es un producto inocuo que no genera resistencia, permitiendo el control a largo plazo de la enfermedad. Como resultado de la prueba organoléptica (prueba de firmeza) se ha comprobado que retrasa la madurez del mango. También ha sido probado para el combate de la cenicilla polvorienta causada por el hongo *Leveillula taurica* en las solanáceas como berenjena, jitomate, chile y tomate, y en las cucurbitáceas, como la sandía, el melón, la calabaza, la calabacita y el pepino. En 2015 sumaban 23 los cultivos probados y tratados con Fungifree AB® para eliminar tres enfermedades ocasionadas por hongos. Ello sin dejar de mencionar sus propiedades como inoculante y como estimulador de crecimiento de las solanáceas.

CUADRO 1
Producción de mango en México

<i>Año</i>	<i>Superficie sembrada (miles toneladas)</i>	<i>Volumen de producción (miles toneladas)</i>	<i>Valor de producción (millones de pesos)</i>
2000	158.2	1 559.4	3 017.0
2001	170.6	1 577.4	3 088.8
2002	169.5	1 523.2	3 576.6
2003	171.9	1 362.4	3 149.0
2004	176.8	1 573.3	3 411.5
2005	173.8	1 368.1	3 405.0
2006	181.5	1 734.8	3 969.1
2007	179.2	1 643.4	4 100.4
2008	183.0	1 716.5	3 782.0
2009	183.9	1 509.3	3 991.8
2010	183.1	1 632.6	4 347.7
2011	184.8	1 536.7	4 059.6
2012	186.8	1 465.2	4 109.9
2013	186.9	1 782.6	4 621.5
2014	186.0	1 451.8	4 847.5

Fuente: Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero, junio 2014. www.financierarural.gob.mx

El descubrimiento del biofungicida

En esta etapa de la investigación básica, el equipo estuvo conformado por el doctor Galindo, el maestro Carrillo y los doctores Raymundo Saúl García Estrada y Raúl Allende Molar, del CIAD, especialistas en diversas áreas como la fitopatología, la agronomía, la microbiología, la biología molecular y la ingeniería de procesos (Serrano y Galindo, 2007). Durante todo el proceso se formó a 13 estudiantes provenientes de la biología y a ingenieros agrónomos, bioquímicos e ingenieros químicos y bioquímicos.

De 2001 a 2002 contaron con financiamiento del Conacyt para que dieran continuidad a la selección e identificación de los microorganismos más promisorios en contra de la antracnosis de mango, tarea que venían realizando los investigadores del CIAD-Culiacán.

Establecida la colaboración, investigaron a los antagonistas del hongo patógeno causante de la antracnosis del mango, el *Colletotrichum gloeosporioides*. El estudio implicó el aislamiento de aproximadamente 200 microorganismos, principalmente bacterias y levaduras, de la filósfera de los árboles de mango en el estado de Sinaloa y con los cuales se seleccionaron seis cepas de *Bacillus sp.*, una cepa de *Pseudomonas sp.*, y una levadura (*Rhodotorula minuta*), para elaborar el compuesto antagonista. A través de pruebas *in vitro* e *in situ*, es decir, tanto en el laboratorio como en invernaderos y campos de cultivo, se comprobó su eficacia.

El desarrollo del prototipo del biofungicida representó un proyecto de grandes inversiones en investigación. Desde etapas tempranas, los investigadores continuamente recurrieron a fuentes de financiamiento que les permitieron dar continuidad al desarrollo.

Al principio la aplicación en campo del compuesto como concentrado líquido tuvo limitaciones prácticas para su comercialización, lo que implicó más horas de laboratorio e investigación. Lograr una nueva presentación en estado sólido les llevó tres años gracias al financiamiento otorgado por el Conacyt y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) a fines del año 2002. Posteriormente, con un financiamiento de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM se propu-

sieron identificar los mecanismos de acción del *Bacillus subtilis* y de la levadura *Rodothorula minuta*, así como evaluar la productividad durante la fermentación, definir aspectos de las formulaciones líquida y sólida, y establecer las dosis y frecuencias óptimas de aplicación (Galindo *et al.*, 2013:7).

La siguiente etapa consistió en el escalamiento del proceso. La infraestructura y la experiencia de los doctores Galindo y Serrano en materia de ingeniería de procesos, además de contar –en el Instituto de Biotecnología (IBT)– con una de las escasas plantas piloto a nivel nacional implementada con equipos de fermentación, recuperación y acondicionamiento del agente de control biológico, permitió el paso de los biorreactores de la planta piloto (10-500 litros) a sistemas de producción comercial o semicomercial, en un esfuerzo por mantener la productividad y calidad del producto final.

A partir de los resultados de la investigación básica, publicaron un artículo de divulgación en la revista *Claridades Agropecuarias* (Carrillo Facio *et al.*, 2005) que atrajo el interés de los dueños de la compañía exportadora de mangos Frutas y Legumbres El Rodeo S.P.R. de R.I. de Sinaloa, quienes promulgaron una alianza para utilizar la formulación sólida del producto en sus huertos y en los de sus proveedores.

Con el producto en formulación sólida, entre 2006 y 2008 se hicieron pruebas en campo –conducidas por Rodeo Fruit– bajo condiciones semicomerciales. Con ello, 85 % de los mangos resultaron libres del hongo y alcanzaron la calidad requerida para ser exportados a Japón. Otro éxito fue el incremento de la confianza en la empresa que se encargó de promover Fungifree AB® entre productores y exportadores. Momento que marca un punto de inflexión en la trayectoria del proyecto, ya que como han señalado los investigadores, la interacción con los productores cambiaría el rumbo del proyecto de investigación científica a uno de desarrollo tecnológico y posteriormente comercial (Galindo *et al.*, 2015).

Adicionalmente se desarrolló un *software* para medir de manera confiable la antracnosis del mango; es decir: a través de un análisis físico del fruto se reproduce la imagen tridimensional para cuantificar las lesiones en su superficie. Dicho método sustituyó la evaluación cualitativa de la antracnosis, evaluación basada en la observación a simple vista del mango. El *software* fue propuesto

por un investigador del IBT, quien desarrolló el prototipo de un equipo para el análisis con el financiamiento del Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Veracruz. Los resultados de su uso fueron publicados en una revista agropecuaria en 2010 (Corkidi, 2010).

Patentamiento

Para el año 2006 los investigadores decidieron solicitar una patente internacional, y la obtuvieron el 19 de noviembre de 2011. Un incentivo claramente identificado por los propios investigadores en esta fase del proceso, fue el apoyo de la Secretaría Técnica de Gestión y Transferencia de Tecnología del IBT, conformada por personal especializado en la redacción y trámite de patentes. La estrategia que siguieron para su obtención se encaminó hacia la protección de las formulaciones sólidas de *Bacillus subtilis* 83 (ingrediente activo de Fungifree AB®) para el control biológico del *Colletotrichum gloeosporioides*. El examinador mexicano concluyó que el invento era nuevo, innovador e industrialmente aplicable.

Patentar un invento en este caso también es una herramienta útil para la negociación de la transferencia tecnológica entre la universidad y la empresa, ya que las compañías sólo consideran conveniente invertir en tecnología bien protegida, y la patente restringe la explotación comercial del invento por terceros. Uno de los retos que los inventores enfrentaron fue cubrir las cuotas de registro de patentes; como ellos mismos señalan, “los costos por solicitar la patente andan en unos 2 000 dólares, más o menos, multiplicado por el número de países en donde pudieses patentar. Por otra parte, una vez otorgada, si uno quiere tener vigente la patente, la tienes que pagar 20 años desde el depósito”. Para ello recibieron apoyo del Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Morelos. Recientemente, la UNAM ha optado por cubrir la cuota de registro de las patentes y los primeros años de mantenimiento de los desarrollos tecnológicos emanados de la institución. El proceso de patentamiento y registro de Fungifree AB® como agente de control para la antracnosis del mango, tuvo un costo aproximado de 60 000 dólares, y se espera obtener la patente en Brasil, donde encontrarían un mercado hasta 10 veces mayor que el mexicano.

Creación de la spin-off y licenciamiento

Las pruebas de campo, los resultados obtenidos y el interés de los productores abrieron la puerta al proceso de transferencia tecnológica del prototipo hacia una empresa que pudiera escalar el producto y comercializarlo. En el año 2005 se consolida una formulación sólida del producto biofungicida basada en esporas de *Bacillus subtilis* 83. Por su parte, los investigadores no sólo se dieron a la tarea de buscar una empresa candidata; además han publicado artículos de divulgación y han participado en congresos, conferencias y reuniones con asociaciones de productores de mango.

Inicialmente algunas compañías se mostraron interesadas, pero al final no se concretó la transferencia de tecnología con ninguna de ellas. Después de tres años de negociaciones infructuosas, los investigadores decidieron crear ellos mismos una empresa. Para ello se aliaron con el biotecnólogo Roberto Gutiérrez, que contaba con más de 25 años de experiencia en la industria, y juntos fundaron Agro&Biotecnia S de RL MI (A&B) en marzo 2008. La empresa ofrecería soluciones tecnológicas en agricultura para la mejora en la producción de alimentos con seguridad y eficiencia. Respecto a ello, el doctor Galindo observa:

La empresa es el vehículo para tener esa satisfacción de que lo que investigamos tiene una utilidad, de poder incidir en resolver problemas del día a día. Nos lleva a enriquecer nuestra visión de los problemas. Ahora tenemos mucha más sensibilidad de qué problemas son relevantes, porque ya estamos allá en el campo, salimos del laboratorio.

Así, con la perspectiva de colocar el biofungicida en el mercado, por una parte registraron a la empresa en el Reniecyt, instrumento que condujo a la obtención de fondos para empresas innovadoras a través del Fondo Mixto del Gobierno del Estado de Morelos-Conacyt, y con el propósito de llevar a cabo el escalamiento a nivel industrial. Asimismo obtuvieron los registros de efectividad biológica con la Sagarpa, y el de inocuidad con la Comisión Federal para la Prevención del Riesgo Sanitario (Cofepris).

Por otra parte, decidieron ingresar a la incubadora del Centro Morelense de Innovación y Transferencia Tecnológica del Gobierno del Estado de Morelos (Cemitt), en donde recibieron asesoría para los procesos de producción y para la creación de la imagen corporativa. El proceso de incubación terminó en 2010.

Mientras tanto, se empezó a negociar el convenio de licenciamiento. Las instituciones participantes (IBT de la UNAM, y CIAD) negociaron y establecieron los términos de referencia. Las principales cuestiones de la negociación fueron las siguientes: el diferimiento del pago del anticipo para hacerlo viable en una empresa que está iniciando, y los posibles conflictos de interés de los investigadores, quienes desarrollaron la tecnología y al mismo tiempo eran socios de la empresa y no podían recibir un doble beneficio. El doctor Galindo capitalizó la experiencia que había ganado en un proyecto anterior, cuya transferencia resultó infructuosa. Como él mismo nos dice:

Eran procesos complicados y el primero de ellos era que la UNAM y el CIAD se pusieran de acuerdo, para que uno de los dos fuera el interlocutor y no establecer una negociación posterior de transferencia de tecnología con dos instituciones al mismo tiempo porque es muy complicado, entonces esa fue la primera negociación, yo diría, incluso, la más importante. De hecho, eso es una enseñanza que a mí me dejó otro proyecto para la producción del biopolímero xantana. Cuando una empresa estuvo interesada en la tecnología para producir xantana, la tecnología le pertenecía al IMP y a la UNAM, y la empresa trató de negociar con ambas y nunca se pusieron de acuerdo.

La transferencia de tecnología a A&B abrió el camino en el IBT como el primer caso de licenciamiento a una *spin-off* constituida por investigadores del propio Instituto. Al tratarse de un caso pionero, la UNAM no contaba con una legislación explícita, ni con los procedimientos que debían seguirse. Por ello el proceso de transferencia cayó en un “interregno legal” que se extendió más allá de dos años. De acuerdo con el doctor Galindo, “esa fue la parte más crítica porque llegó un momento en que estuvimos a punto de desechar todo.

Curiosamente hemos resuelto problemas más difíciles, científicos, tecnológicos. Pero el asunto se complicó, con los abogados”.

Una vez identificado el problema, los investigadores propusieron renunciar a 50 % de las regalías que legalmente les corresponden como inventores, y cederlo como presupuesto para sus laboratorios. Así fue aceptado por la oficina del abogado general de la UNAM y a principios de 2012 se concedió la licencia y transferencia de tecnología a A&B.

Registros sanitarios

La comercialización del producto requirió de registros sanitarios ante la Sagarpa y la Cofepris, registros que se consiguieron a lo largo de dos años. La Sagarpa es la dependencia responsable de verificar en campo la efectividad del biofungicida, para lo cual tuvieron que probarlo en un ciclo de mango. Las pruebas se llevaron a cabo de enero a julio de 2009, y la institución emitió un reporte positivo de eficacia a la Cofepris, que a su vez determinó la inocuidad del producto en función de los resultados de las diversas pruebas de toxicidad. Sin embargo, hubo que realizar pruebas adicionales en laboratorios certificados, lo que en este caso fue un problema, ya que como recuerda el doctor Galindo, “para la parte de inocuidad son cerca de 50 diferentes pruebas en laboratorios certificados algunas pruebas no están disponibles en México. Algunas las tuvimos que hacer en Argentina y en Chile”.

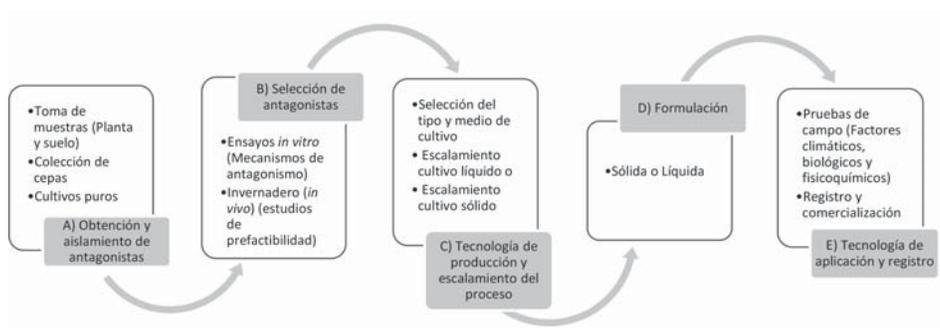
Al diversificar el uso del producto a otro cultivo, las pruebas de efectividad debieron repetirse para cada grupo botánico y para cada enfermedad, pero no así las de inocuidad. Finalmente, Fungifree AB® obtuvo el nivel más bajo de riesgo toxicológico. Al respecto, el doctor Galindo nos dice:

El financiamiento crítico, el que realmente hizo la diferencia, fue... el Fondo Mixto del Gobierno del Estado de Morelos-Conacyt. Porque fue una convocatoria en la que apoyaban específicamente proyectos de desarrollo y de innovación con entidades de investigación. Permitted hacer las pruebas de campo, hacer los pagos de las solicitudes de patente y sobre todo

hacer los registros sanitarios y de efectividad. Sin ese dinero difícilmente existiría nuestra empresa, eso sí lo reconocemos en todos lados, fue un patrocinio clave en el éxito de la empresa.

Finalmente, en noviembre de 2012 se hizo la presentación oficial de Fungifree AB® en el marco de la Expo Agroalimentaria Guanajuato en Irapuato, la cual es el evento más importante de la industria agropecuaria en México. Los investigadores asistieron a un foro intitulado “Fungifree AB®, soluciones para el campo mexicano”, en la que el producto fue formalmente introducido al mercado nacional.

FIGURA 1
Proceso de desarrollo de Fungifree AB



Fuente: Serrano y Galindo (2007).

Comercialización y distribución

Los investigadores reconocen la fortaleza de A&B en la innovación científica y tecnológica, pero tratándose de una empresa pequeña, se percataron de la dificultad que implica la distribución y comercialización de cualquier producto en el mercado, incluido Fungifree AB®. Para solventar este paso establecieron otra alianza, esta vez con la compañía FMC Agroquímica de México, S. de R.L. de C.V., seleccionada por los investigadores tanto por su capacidad de distribución y comercialización como por su perfil orientado hacia la producción sustentable e innovadora de alimentos con insumos de alta calidad en América Latina.

En esta etapa fueron las empresas las que se acercaron a los investigadores para solicitar la distribución del producto. El doctor Galindo recuerda:

Quando obtuvimos el registro de Cofepris, en abril de 2011, ése fue el día clave. A raíz de eso nos contactaron algunos de los comercializadores que sabían que se había autorizado el producto y evaluamos tres comercializadoras. La propuesta de comercialización no quería que apareciera la UNAM en la etiqueta del producto y finalmente decidimos que FMC ofrecía las mejores condiciones y la verdad es que estamos muy contentos con ellos; realmente nos han permitido avanzar muchísimo en las pruebas de campo, y las ventas están creciendo exponencialmente en el poco tiempo que lleva el producto en el mercado.

FMC ha participado activamente en la difusión y en la expansión de la aplicación y registro del producto, probándolo en nuevos cultivos. Los beneficios y propiedades se han difundido en las principales revistas del medio agropecuario del país. A inicios de 2015 Agro&Biotecnia ya había pagado las regalías a la UNAM y ésta a su vez al CIAD por las ventas obtenidas de 2012 a 2014.

Conclusiones

Como mencionamos al inicio de este trabajo, las pérdidas de productos agrícolas pueden alcanzar cerca del 50 % a causa de las enfermedades poscosecha; de

ahí la importancia de desarrollar tecnologías de producción de agentes biológicos de los organismos que ocasionan enfermedades en los vegetales.

La utilización de plaguicidas y agentes antimicrobianos en México cumple desde hace ya varias décadas un papel preponderante en la protección de la agricultura. De acuerdo con los censos agropecuarios de 2004 y 2007 del Inegi, el uso de fertilizantes químicos pasó de 51.5 % a 68.8 %; el uso de herbicidas, de 31.1 % a 62.7 %, y el de insecticidas, de 9.4 % a 28.2 %. Pese a dicho crecimiento, se puede constatar que los abonos naturales pasaron de 15.2 % a 27.5 %, y en el caso del control biológico de plagas, para 2014 el crecimiento representaba un 16.7 %.

Estos resultados son relevantes en la medida en que se obtienen rendimientos máximos en la agricultura por el uso de químicos; sin embargo, los resultados son negativos para el sistema ecológico. En el caso de los agentes de control biológico, también se pueden obtener resultados eficaces y valor agregado, como lo ha demostrado Fungifree AB®. Una ventaja fundamental de los ACB sobre los del tipo agroquímico es la ausencia de efectos nocivos para el medio ambiente y la salud, además de representar menores pérdidas poscosecha. Es por ello que estos agentes han empezado a ser cada vez más utilizados; su desarrollo abre una ventana de oportunidad y al mismo tiempo responden a las regulaciones y a la normatividad exigidas tanto a nivel nacional como internacional.

Las colaboraciones y alianzas establecidas por los investigadores en puntos críticos del desarrollo científico y tecnológico, fueron cruciales para la construcción de un caso exitoso de transferencia de conocimiento y tecnología, y de puesta en marcha dentro de un mercado altamente competitivo. La singularidad más destacada es, sin duda, la participación de científicos mexicanos como emprendedores y el lanzamiento de un producto totalmente innovador a nivel internacional.

La salida al mercado de un producto de base tecnológica es un proceso complejo que requiere del concurso de varios especialistas en diversas áreas. Las alianzas y colaboraciones establecidas por los actores en cada fase del trayecto dieron como resultado que Fungifree AB® ya se encuentre en venta, con beneficios para sus inventores, los agricultores y los consumidores finales.

CUADRO 2
Incentivos y obstáculos salvados

<i>Etapa</i>	<i>Incentivos</i>	<i>Barreras y puntos críticos</i>	<i>¿Cómo las sortearon?</i>
Desarrollo científico	IBT: recursos humanos, técnicos e infraestructura.	Limitación de disponibilidad de financiamiento	Financiamiento de DGAPA / UNAM y Conacyt
Investigación básica	Desarrollo. Innovación. Trabajo multidisciplinario (IBT-CIAD) Congresos y reuniones académicas Cambios, Regulaciones sanitarias y seguridad alimentaria	Proyectos tecnológicos producción académica lenta Falta de difusión de investigación básica entre instituciones y académicos Escasa vinculación con demandas de la sociedad	Desarrollo de proyectos paralelos para publicar Contactos e intercambio de conocimientos en congresos y reuniones académicas Nuevas investigaciones
Pruebas <i>in vitro</i> e <i>in situ</i>	Pruebas y resultados en laboratorio	Localización de invernaderos y campos de cultivo	Pruebas en campo con diversos productores
Desarrollo de la innovación	Obtención de producto viable	Resultados de aplicación en campo	Difusión de resultados en artículos de difusión entre productores
Escalamiento	Alianza con empresa "Rodeo Fruit"	Pasar del laboratorio al campo	Infraestructura institucional: IBT planta piloto

Patentamiento	Resultados obtenidos	Alto costo Pago de cuotas	Secretaría Técnica de Gestión y Transferencia IBT. Asesoría expertos en la materia
Registros sanitarios y de inocuidad	Clientes potenciales	Larga duración. Inexistencia de laboratorios certificados para pruebas	Pruebas en el extranjero Financiamiento público
Creación de la empresa. Transferencia de UNAM a Agro&Biotecnia	Producto innovador con altas expectativas mercado Producto validado y certificado por instancias gubernamentales	Poco interés de la industria para el licenciamiento. Legislación universitaria, posible conflicto de interés	Creación spin-off investigadores, apoyo CEMITT, Morelos Fondos Mixtos Conacyt incubación empresa. Regalías (50 %) investigadores donadas para infraestructura IBT
Distribución y comercialización		Nula capacidad de Agro&Biotecnia para llevarlas a cabo	Alianza con FMC, empresa grande e internacional: penetración mercado mexicano y AL

El hecho es tan significativo para los investigadores que en la descripción de la trayectoria seguida por Fungifree AB® –desde la colección del grupo de antagonistas aislado de la filósfera de los árboles de mango, hasta que se convirtió en un producto de anaquel– figuran los nombres de todos y cada uno los actores involucrados: los investigadores del IBT de la UNAM y del CIAD Culiacán y sus colaboradores; la gente de las compañías El Rodeo Fruit y FMC; los responsables de la oficina de patentes y transferencia tecnológica del IBT, así como una consultora clave para la consecución de sus objetivos en términos del registro del producto. En el esfuerzo colectivo para lograr la salida al mercado de una solución tecnológica a un problema concreto de los productores y exportadores de mango, el *background* y *expertise* de cada uno de los involucrados actuaron como piezas de un rompecabezas que al ensamblarse dio este resultado. Véase el mapa de alianzas (cuadro 2).

Cabe destacar asimismo el acompañamiento por parte de los investigadores en todo el proceso; no sólo en el laboratorio sino también en las pruebas en campo y en el diálogo con productores y con sus asociaciones; en reuniones con empresarios, en la realización de los trámites burocráticos y en las negociaciones con la Universidad a fin de obtener el licenciamiento. Todos ellos estuvieron al pendiente de la patente, de los registros sanitarios y de las pruebas exigidas, hasta que finalmente el producto fue lanzado al mercado.

Otro elemento por resaltar es la visión más tecnológica que se fue gestando y que, como señalan los propios investigadores, fue el punto de inflexión del proyecto; es decir: el acercamiento y la colaboración con los productores marcó la transición hacia el desarrollo de un producto de base biológica que llevaría hasta el establecimiento de una empresa. Etapas que fueron posibles en momentos clave del desarrollo, en gran medida, como ellos mismos lo señalan, por el financiamiento del programa de Fondos Mixtos de Conacyt, que permite el desarrollo y la innovación con entidades de investigación.

Los investigadores Serrano y Galindo también identifican, en su formación como ingenieros, un factor que influyó en la forma de abordar el problema, pero sobre todo en que el conocimiento adquirido culminara en un producto con aplicación a la resolución de un problema real y concreto.

La colaboración que establecieron con el biólogo Carlos Roberto Gutiérrez García, dada la experiencia de éste en la industria, ha sido crucial en el sentido de establecer lazos que vinculen a la universidad con la empresa. Éste ha sido un factor clave en el éxito del emprendimiento de los investigadores, quienes ya imparten una materia sobre emprendimiento en el IBT y han creado una asociación de empresas que andando el tiempo puede convertirse en un polo de desarrollo de negocios basados en la innovación científica y tecnológica al servicio de la resolución de problemas concretos; es decir: en un polo de desarrollo que comience a salvar la brecha entre las capacidades humanas y de infraestructura existentes en materia de biotecnología y su aplicación real.

El desarrollo tuvo una duración total de 12 años, toda vez que fue abriendo brecha en un camino nunca antes transitado. Sin embargo, las barreras más complicadas, como el vacío en la legislación universitaria, fueron sorteadas sentando jurisprudencia, lo que puede convertirse en un incentivo para que los investigadores orienten su trabajo no solamente a la ciencia aplicada sino a la resolución de problemas planteados por la sociedad.

Los autores reconocen que de haberse dedicado exclusivamente al desarrollo de Fungifree AB® no hubieran alcanzado los estándares para ser evaluados de forma positiva por el Sistema Nacional de Investigadores y el Programa de Estímulos a la Productividad de la UNAM, ya que tuvieron poca productividad científica ortodoxa en este proyecto en particular. Por eso mantuvieron paralelamente varias líneas de investigación que les permitieron sostener la cantidad de publicaciones requerida. Desde esta perspectiva, la posibilidad de llevar la investigación a la realidad se podría percibir lejana, dada la completa dedicación del científico mexicano a las actividades de investigación en el marco de los esquemas de reconocimiento vigentes en el país.

Lo dicho anteriormente tuvo como corolario que Fungifree AB® fuera declarado en 2012 uno de los tres logros más importantes de la biotecnología latinoamericana por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); además recibió el premio Innovadores de América y el primer lugar del Premio Adiat a la Innovación Tecnológica (categoría Pyme) en 2014. En noviembre de ese mismo año, Fungifree AB® recibió la autorización de OMRI (certificado Organic Materials Review Institute) para ser etiquetado

como producto orgánico; en cuanto tal, expande el mercado al segmento creciente de la producción de orgánicos.

Por último, es necesario destacar que el retorno de la inversión que han logrado se apoya en el desarrollo y la protección de los productos a través del patentamiento, y también en que es un producto con un amplio espectro de actividad, ya que puede ser aplicado a una gran variedad de cultivos frutales.

Bibliografía

- Carrillo-Facio, J. A., *et al.* (2005), “Control biológico de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) y su efecto en la calidad poscosecha del mango en Sinaloa”, *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 23, núm. 1, pp. 24-32.
- Corkidi, G., *et al.* (2006), “Assessing Mango Anthracnose Using a New Three-Dimensional Image Analysis Technique to Quantify Lesions on Fruit”, *Plant Pathology*, vol. 55, núm. 2, pp. 250-257.
- , *et al.* (2010), “Una nueva herramienta para la caracterización precisa y cuantitativa de la antracnosis del mango, de utilidad para fitopatólogos, productores y exportadores”, *Claridades Agropecuarias*, 18, núm. 198, febrero, pp. 39-47.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), “Panorama de mango”, consultado en julio de 2014, disponible en <www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas>.
- Galindo, E., *et al.* (2013), “The Challenges of Introducing a New Biofungicide to the Market: a Case Study”, *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 16, núm. 6, disponible en <<http://dx.doi.org/10.2225/vol16-issue3-fulltext-6>>.
- , A. Carrillo-Facio, R. S. García-Estrada, y M. Patiño (2005), “Tecnología para el control biológico de la principal enfermedad del mango (antracnosis) y el efecto en su calidad poscosecha”, en *Claridades Agropecuarias*, núm. 148, diciembre, pp. 50-59.
- , Carlos Peña, y L. Serrano (2007), “Domesticar microorganismos en un biorreactor: los retos del bioingeniero”, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.

Indicadores de la producción de mango, disponible en <<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), “Prácticas recomendadas para el manejo integrado del cultivo”, disponible en <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1359s/a1359s05.pdf>>.

Serrano, y E. Galindo (2007), “Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario”, *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, vol. 58, núm. 1, pp. 77-88.

_____, *et al.* (2010), “Biofungicidas para el control de la antracnosis del mango: logrando frutos de alta calidad internacional para mercados exigentes”, *Claridades Agropecuarias*, núm. 208, diciembre, pp. 28-37.

Notas de prensa sobre Fungifree

Conacyt disponible en <<http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/350-nota-27-oct-compartiran-caso-de-exito-en-innovacion-biotecnologica>>; <<http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/350-nota-27-oct-compartiran-caso-de-exito-en-innovacion-biotecnologica>>.

Innovadores de América disponible en <<http://divulgacion.innovadoresdeamerica.org/icms/es/2013/noticias/7550/conacyt-m%C3%A9xico-difunde-innovaci%C3%B3n-de-enrique-galindo.do>>; <<http://divulgacion.innovadoresdeamerica.org/icms/es/2013/noticias/7550/conacyt-m%C3%A9xico-difunde-innovaci%C3%B3n-de-enrique-galindo.do#.VMFQuNKG9nM>>.

Instituto de Biotecnología-UNAM disponible en <http://www.ibt.unam.mx/server/PRG.base?tipo:doc,dir:PRG.grupo,par:Geg,tit:_Grupo_del_Doctor_Enrique_Galindo>; <http://www.IBT.unam.mx/server/PRG.base?tipo:doc,dir:PRG.grupo,par:Geg,tit:_Grupo_del_Doctor_Enrique_Galindo>.

Entrevistas en Youtube

Disponible en <<https://www.youtube.com/watch?v=RI6wTNPdJBA>>; <<https://www.youtube.com/watch?v=iFYKijLq4S8>>; <https://www.youtube.com/watch?v=bj_91N-Po_E>.

Patentes

Galindo, E., L. Serrano, L. Trujillo, A. Carrillo, R. García, R. Allende, y M. Patiño (2011). *Método para obtener una composición líquida con Rhodotorula minuta, efectiva para control biológico de antracnosis y la composición obtenida*, Patente Mexicana núm. MX 292651 B. Otorgada el 19 de noviembre de 2011. Disponible en <<http://www.ibt.unam.mx/server/PRG.base?tipo:doc,dir:PRG.curriculum,par:galindo>>.

——— (2006), *Método para obtener una composición sólida de Rhodotorula minuta, efectiva para control biológico de antracnosis y la composición obtenida*, UNAM PCT (en trámite). Disponible en <<http://www.ibt.unam.mx/server/PRG.base?tipo:doc,dir:PRG.curriculum,par:martin>>.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo: José Armando Carrillo Facio, Raymundo Saúl García Estrada y Raúl Allende Molar. Instituto de Biotecnología / Universidad Nacional Autónoma de México: Enrique Galindo Fentanes, Martín Patiño Vera, Leobardo Serrano Carreon y Lizette Trujillo Robles. *Método para obtener una composición sólida con rhodotorula minuta, efectiva para control biológico de antracnosis y la composición obtenida.*, PCT/MX 2006/000108. Fecha de publicación: 24 de abril de 2008. Número de publicación Internacional: Q0 2008/048081 A1.

8. Vincularse y crecer juntos: IASA y CIBA-Tlaxcala

Marcela Amaro Rosales y Mario Alberto Morales Sánchez

Antecedentes

Investigación Aplicada, S.A. de C.V. (IASA) es una empresa mexicana dedicada a satisfacer las necesidades del sector farmacéutico veterinario. Esta empresa pertenece al Grupo IDISA (Investigación, Desarrollo Integral y Salud Animal), consorcio agroindustrial independiente y vinculado desde su nacimiento y hasta la fecha con el conocido Grupo Romero, cuyos fundadores incursionaron en la industria pecuaria con la producción de huevo en una granja con una población de mil aves. Con el tiempo y dadas las necesidades propias de un gran crecimiento, se fueron constituyendo las empresas de Grupo IDISA para dar soluciones a problemáticas muy específicas de la producción avícola. Hoy en día estas empresas son Incubadora Mexicana; Aves Libres de Patógenos Específicos; Nutek; Investigación Aplicada y, la más reciente, Aves No Desafiadas. Todas ellas cuentan con los servicios administrativos de Investigación y Desarrollo Industrial, S.A. (IDISA).

Incubadora Mexicana, surgida en 1968 con el objetivo de incubar huevo fértil para obtener pollitas de reemplazo, en la actualidad tiene un potencial productivo de 35 millones de pollas anuales blanca y roja de un día de edad a través de líneas genéticas reconocidas mundialmente por su eficiencia y productividad (IMSA, 2015).

Aves Libres de Patógenos Específicos (ALPES) es una empresa dedicada a la explotación de aves libres de patógenos específicos (SPF, por sus siglas en inglés); fue creada en 1974 por el doctor Miguel Romero Sánchez con el propósito de satisfacer los requerimientos de embrión de pollo y huevo fértil SPF para la industria farmacéutica, laboratorios de diagnóstico y centros de investigación en patología aviar. El huevo SPF proviene de parvadas que se someten a un riguroso programa de monitoreo y han demostrado estar libres de los principales agentes patógenos que afectan a la industria avícola. ALPES posee actualmente una capacidad de producción de casi 10 millones de huevos SPF para satisfacer los crecientes requerimientos de sus clientes en México y en diversos mercados del mundo. ALPES está registrada ante la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) como empresa exportadora definitiva a Estados Unidos de América (ALPES, 2015).

Nutek es una empresa dedicada a la investigación tecnológica y el control químico de calidad. Su campo prioritario de investigación es el estudio integral de las micotoxinas: generación, cuantificación, efectos en animales de explotación pecuaria y detoxificación; de ahí derivan sus líneas de adsorbentes, detergentes y desinfectantes, y además cuenta con un laboratorio de química analítica. Cabe destacar que en 2012 inició operaciones su planta de alimentos balanceados con la característica de calidad e inocuidad. Dicha planta provee a las empresas ALPES, ANDES e IMSA.

Investigación Aplicada (IASA) fue creada en 1963 con la finalidad de brindar soporte científico y tecnológico a las compañías del Grupo Romero. El antecedente empresarial de IASA es Romero S. Hermanos, que surgió ante la necesidad de una sólida integración vertical; inició sus actividades con la formulación y elaboración de alimentos balanceados, así como con la puesta en marcha de dos laboratorios: uno de análisis bromatológicos, y otro para diagnóstico y patología animal. Posteriormente se desarrolló una línea de productos biológicos y farmacéuticos exclusivos para las empresas de la familia Romero, ello aunado al establecimiento de pie de cría para la repoblación de aves ponedoras y aves libres de patógenos como insumo para la producción de biológicos de alta calidad (IASA, 2015).

Al crecer las operaciones de Romero S. Hermanos, la empresa se abrió al mercado pecuario en general y se convirtió en IASA, empresa que ha mantenido su espíritu de investigación y desarrollo (I+D) de tecnologías que aportan soluciones óptimas para el mejoramiento de la productividad de la industria pecuaria en general; y lo ha hecho inspirada en el profesionalismo y dedicación que el doctor Romero heredó a Grupo IDISA, consorcio al que pertenece IASA (IASA, 2015).

Actualmente IASA tiene una larga historia en los procesos de vinculación y ha logrado desarrollar diversos productos que ya se encuentran en el mercado gracias a esas colaboraciones y a los financiamientos públicos ganados. Sin duda todos estos procesos han sido relevantes, pero aquí presentamos el caso de vinculación con el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada de Tlaxcala (CIBA), unidad perteneciente al Instituto Politécnico Nacional (IPN) en donde se desarrollan proyectos de investigación mayormente relacionados con el sector productivo.

¿Por qué es importante hablar de cooperación universidad-empresa?

De acuerdo con David y Foray (2002), en las economías modernas la productividad, la competitividad, el crecimiento económico y el bienestar de la población están fuertemente asociados con la generación de conocimiento reflejado en la habilidad de innovar. Desarrollar innovaciones es un proceso complejo que requiere diversos tipos de capacidades; es necesario contar con conocimiento previo, pero también con herramientas tecnológicas, y en sectores de alta tecnología se requiere además un manejo de técnicas y habilidades especializadas que en principio demandan altas inversiones. En el caso de la biotecnología se agregan a lo anterior otras características, como su relación con la vida, con la ciencia de frontera y los insumos especializados, lo que en conjunto genera grandes barreras de entrada para que las empresas se interesen en hacer inversiones cuantiosas. Además es necesario destacar que invertir en innovación es un proceso incierto que en muchas ocasiones no se concreta en el mercado o no tiene los retornos económicos esperados, y en el caso de la biotecnología esto se ve magnificado por el tipo de recursos y desarrollos involucrados.

Dadas las características mencionadas, es muy difícil que las empresas mexicanas tengan la capacidad de realizar desarrollos biotecnológicos, aunque no imposible. Es imperiosa la necesidad de recurrir a estrategias que les permitan aprovechar ciertas oportunidades, por ejemplo el financiamiento público para I+D, o bien la colaboración y vinculación con las instituciones de educación superior (IES) o con los centros públicos de investigación (CPI), para así poder integrar capacidades y conjuntar esfuerzos.

La vinculación entre las universidades y las empresas es un proceso que ha sido ampliamente estudiado (Mansfield, 1995; Branscomb *et al.*, 1999; Etzkowitz y Leydesdorff, 1995; Leydesdorff y Meyer, 2003), y es cosa sabida que hay factores fundamentales para que pueda llevarse a cabo de manera exitosa. En primer lugar se necesita que haya entendimiento entre los actores; éstos deben construir un lenguaje común, para no verse obligados a contar con un “traductor” que transmita a los investigadores universitarios las necesidades de la empresa, y viceversa. También deben generarse lazos de confianza, lo que a su vez implica que las relaciones evolucionen favorablemente a lo largo del tiempo. Además debe existir cierta flexibilidad o un esquema muy claro de los mecanismos administrativos en que se llevan a cabo dichos procesos (por parte de ambos actores). Y finalmente se ha concluido que es necesaria una estructura de incentivos, tanto a nivel individual como organizacional, que motive a los involucrados.

En el caso de la biotecnología es sumamente relevante la vinculación, pues la mayor parte de la investigación básica en esta área se realiza en las universidades, pero pocas de ellas disponen de esquemas efectivos para que sus investigaciones tengan un impacto social y económico. Es ahí donde las empresas cumplen un papel relevante, ya que son el vehículo a través del cual las investigaciones pueden transmitirse a la sociedad; además, éstas son un mecanismo que permite a las empresas ser competitivas en la denominada economía del conocimiento.

El desarrollo tecnológico y la innovación son procesos que están fundamentalmente localizados en la industria (Prager y Omenn, 1980; LERU, 2006). Sin embargo, la complejidad de estos procesos, la emergencia de tecnologías cada vez más sofisticadas, así como la incertidumbre y los problemas de apropiación

inherentes a las actividades de I+D, han impulsado a las empresas hacia la búsqueda de conocimientos fuera de sus fronteras (Smith, 2004). Sobre la base de estas premisas, un grupo numeroso de expertos ha llegado a la conclusión de que la promoción y el fortalecimiento de los vínculos universidad-empresa son esenciales para la creación y desarrollo de capacidades de innovación (Mansfield, 1995).

Es importante mencionar que si bien la innovación es relevante como elemento de competitividad empresarial, es más importante como mecanismo de resolución de problemas. La innovación adquiere mayor sentido cuando brinda mejores respuestas a demandas específicas tecnológicas, pero sobre todo sociales.

Virus globales, soluciones globales. Virus locales, soluciones locales

El mercado farmacéutico veterinario coincide en muchos aspectos con el mercado humano. Hay enfermedades que tienen presencia mundial y por tanto son atendidas por los grandes laboratorios, dada la importancia económica que representan. En general, lo que hacen dichos laboratorios es invertir en I+D para la cepa, virus o bacteria genérica o más común, ya que no debe olvidarse que existen variantes de una misma enfermedad. Es de esta manera como los laboratorios pueden llegar a la mayor parte del mercado; si bien no cubren las especificaciones de mercados particulares, regionales o locales, lo hacen de forma indirecta, ya que al ser los únicos productos disponibles para atender ciertos padecimientos, los usuarios terminan por adquirirlos aunque no sean los que *específicamente* requieren.

Éste es el caso que enfrentaban los clientes de Grupo IDISA, especialmente los dedicados a la producción de pollo y huevo para consumo humano. Cabe mencionar que originalmente las actividades comerciales de este grupo empresarial comenzaron justo en esta área, ya que hace más de 50 años decidieron solucionar el problema de abasto de huevo de la región de Tehuacán, Puebla. Sin embargo, el crecimiento de las actividades productivas trajo consigo diversas problemáticas de salud asociadas al incremento de la población de aves. Es por ello que desde los años sesenta comenzaron a realizar actividades técnicas

y tecnológicas para dar soporte a las granjas, ya que éstas requerían soluciones que no figuraban entre las ofrecidas por el mercado.

Es necesario agregar que tanto a nivel nacional como internacional se registraba un importante crecimiento de las actividades avícolas y porcícolas, dados los altos niveles de tecnificación e intensificación alcanzados en la producción. Ello trajo consigo la necesidad de mecanismos más efectivos de control, además de mejores insumos y alimentos. Pero sobre todo se requería invertir en I+D para dar solución a los efectos de las nuevas enfermedades surgidas a partir de la producción masiva de proteína de origen animal.

En este contexto surgió Investigación Aplicada (IASA), con el encargo inicial de responder básicamente a las necesidades de las empresas locales; pero con el tiempo y dado el conocimiento y la experiencia desarrollados para solucionar problemas más allá de los propios, IASA comenzó a atender también a distintos productores en todo el país, y ya no únicamente en la producción avícola sino en todo el sector pecuario.

La particularidad de IASA fue que inició sus actividades ofreciendo soluciones a problemáticas muy específicas; en la mayoría de los casos se trataba de enfermedades de las que no se conocía el agente causal y, por lo tanto, no había un medicamento específico para ellas; usualmente se atacaban con medicamentos ofrecidos por los grandes laboratorios pero que no eran los adecuados para las patologías que se presentaban. Fue así como surgió el interés por atacar enfermedades no generalizadas, sino particulares de ciertas localidades o regiones. Esto representó para IASA una ventana de oportunidad: aprovechó los nichos que los grandes laboratorios no cubrían. Ahora bien, identificar enfermedades emergentes y generar una solución efectiva no ha sido fácil; ha requerido de un intenso proceso de escalamiento de capacidades científicas y tecnológicas dentro de la empresa; ha significado planear y orientar con claridad metas y objetivos, pero sobre todo ha demandado el trabajo colaborativo y vinculado a los sistemas de investigación de las instituciones de educación superior. Esto último tampoco ha sido sencillo; ha llevado mucho tiempo y esfuerzos establecer relaciones de confianza con distintas entidades. Pero dicho trabajo ha sido tan efectivo que ahora es parte del *modus operandi* de la empresa.

En la actualidad IASA mantiene vinculaciones con el Centro de Investigación de Agricultura de Estados Unidos, con el Instituto Médico de Investigación de Canadá, con el Instituto de Biotecnología del Tecnológico de Monterrey, y se encuentran en pláticas para vincularse con la Universidad Autónoma de Yucatán. La vinculación que mantiene con el Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada (CIBA-Tlaxcala) a través de su relación con el doctor Absalón, investigador de dicho centro, es sin duda la más exitosa.

Etapas, hitos y problemáticas que condujeron a eliminar barreras

IASA comenzó de manera más formal las actividades de I+D gracias a dos impulsos fundamentales: la propia dinámica que la empresa había desarrollado previamente en su esfuerzo por solucionar problemáticas muy específicas del sector pecuario, y, ya en el camino, los diversos programas de apoyo y financiamiento a sus actividades. Ambos impulsos potenciaron las actividades de la compañía y establecieron una dinámica que hasta el día de hoy funciona.

IASA aplicó por primera vez a una convocatoria nacional de financiamiento para uno de sus proyectos en 2004, lanzada ésta por el Fondo de Economía-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). El proyecto consistió en el desarrollo de una alternativa biotecnológica efectiva para el control de parásitos *Eimeria* en el pollo de engorda (parásitos intestinales). De ahí obtuvieron el medicamento llamado Supracox® y la primera patente de la empresa. Este medicamento es un concentrado con títulos altos de inmunoglobulinas aviares IgY, las cuales son altamente efectivas en la prevención y control de la coccidiosis. Estos anticuerpos son extraídos de yema de huevo de aves libres de patógenos específicos e hiperinmunizadas contra *Eimeria tenella*, *E. acervulina* y *E. maxima*. Proporcionan “inmunidad inmediata” con mayor ganancia de peso.

Esta tecnología funciona de la siguiente manera: los anticuerpos IgY reconocen las proteínas de la pared celular en varias etapas del ciclo de vida de las coccidias: oocistos, esporozoitos, merozoitos y gametocitos. Los anticuerpos IgY forman complejos inmunogénicos con las proteínas y son eliminados del intestino. Supracox® permite que las aves desarrollen una inmunidad protectora óptima contra múltiples especies de coccidia, favoreciendo con ello un

descanso en el uso de anticoccidianos sin afectar los parámetros productivos y el alto rendimiento (IASA, 2015).

Las ventajas de este enfoque son muchas: siendo un producto natural, las inmunoglobulinas no generan resistencia y no producen daño epitelial; el producto no requiere un periodo de retiro, no causan toxicidad (producto inocuo), provee inmunidad inmediata, permite el desarrollo de inmunidad y favorece la ganancia de peso (IASA, 2015).

La experiencia en este proyecto les permitió confiar en los mecanismos de financiamiento y aprovecharlos como un incentivo, ya que si bien el proyecto lo iban a desarrollar de una u otra manera, esto les facilitó el camino y disminuyó sus tiempos, permitiéndoles llevarlo a mercado antes de lo previsto.

Adicionalmente, Conacyt les propuso establecer vinculaciones con alguna universidad o centro de investigación, ya que dichos vínculos, en términos de incentivos por parte de los programas, probablemente les reportarían más beneficios y mejores resultados.

Casi simultáneamente surgió el ofrecimiento del entonces director del Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada (CIBA-Tlaxcala) del IPN. Dicho Centro tenía poco de haberse establecido en la región y se encontraban en busca de financiamiento y de vinculación para sus investigaciones. Fue así como se presentó la posibilidad de establecer proyectos conjuntos, lo cual también coincidió con la incorporación de un joven investigador al CIBA, el doctor Absalón, quien en 2005 se había integrado a la institución educativa y se enfrentaba a la necesidad de demostrar la efectividad de su contratación. Al ser un centro de investigación nuevo y no consolidado, necesitaban moverse rápidamente para convencer a la institución politécnica de que eran esenciales para la misma; de que los investigadores eran necesarios para el CIBA, tanto como lo era el CIBA para el IPN. También apremiaba demostrar que tenían impacto como centro de investigación a nivel regional y local, dado que apenas un año antes se habían establecido en Tlaxcala (antes estuvieron en dos lugares no propios en el estado de Puebla). En aquel momento el doctor Absalón se encontraba en un centro nuevo donde reclutaban recién egresados, e incluso personas con maestría, como era su caso, y donde tenían mucho que demos-

trar frente a otros centros de investigación establecidos dentro de la misma institución.

Establecer la vinculación fue entonces un reto doble: si bien IASA había tenido una experiencia previa, ésta no había sido positiva, y por otro lado, para el doctor Absalón representaba su primer acercamiento al trabajo colaborativo con una empresa. Como menciona el doctor Absalón, “el problema no es visitar a las empresas y lograr el primer acercamiento, el problema es generar confianza”. Aunque también hubo factores que jugaron a su favor, por ejemplo el hecho de ser joven y tener una mentalidad más abierta a la vinculación con las empresas. Por parte de la empresa se destaca la participación del doctor Eduardo Lucio, director industrial de IASA, quien se mostró dispuesto a escuchar propuestas, a establecer metas conjuntas y a confiar en un joven investigador que tenía la capacidad de ayudarles a resolver diversas problemáticas, a pesar de que tanto la institución como el investigador estaban en un proceso de consolidación.

Cabe mencionar que el doctor Lucio es un actor relevante porque ha sido el encargado de establecer la estrategia de I+D dentro de la empresa. Hace aproximadamente 15 años hubo que efectuar una reunión de planeación estratégica donde se replantearon la misión y la visión de IASA, en virtud de que dar servicio a las empresas familiares ya era un objetivo obsoleto. En ese momento se requería atender a todo el sector pecuario. Así pues, fue entonces cuando cambiaron de misión, visión y valores, y cuando surgieron nuevas propuestas, ya que al hacer el análisis se dieron cuenta de que la parte de productos propios era prácticamente inexistente; pero habían realizado importantes inversiones y en el laboratorio de biología de diagnóstico contaban con capacidades tecnológicas muy importantes y competitivas, de modo que decidieron incursionar en el diseño de productos nuevos que respondieran a necesidades particulares locales y regionales.

El primer paso hacia el establecimiento de la vinculación fue identificar áreas comunes. En ocasiones esto resulta ser problemático porque las necesidades de una empresa pueden ser científica o tecnológicamente menos demandantes que las que el investigador está acostumbrado a resolver; esto puede desincentivarle, pues a primera vista no le reporta un reto. En el caso de la colaboración

IASA-CIBA también se requirió tiempo; y según los propios participantes se necesitaron cerca de seis meses para poder establecer objetivos de interés mutuo. Después de formular metas y objetivos, hubo que superar la barrera del tiempo, ya que éste transcurre de manera distinta para los investigadores y los empresarios y exige que unos y otros se adapten tanto formal como informalmente. En el caso de los primeros, además de hacer investigación son formadores de recursos humanos. Sus actividades dedicadas a la empresa son parciales, y generalmente se requiere mayor tiempo para poder cumplir con los entregables; mientras que para la empresa es vital hacerlo de manera rápida, dado que su objetivo último es obtener procesos o productos nuevos que se comercialicen en el mercado. Es muy importante establecer tiempos adecuados, pero es una labor complicada que exige una transacción: el investigador se obliga a ser más diligente que de ordinario en su trabajo, y la empresa aprende a esperar un poco más; es pues necesario conocer los límites y exigencias de ambos actores. Los entrevistados en este caso expresan que les tomó alrededor de tres o cuatro años asimilar y adecuarse a un ritmo de trabajo favorable para ambos.

El proceso del mercado les ha enseñado dos cosas: hay demandas específicas que requieren ser solucionadas rápidamente, y la empresa que sea la primera en ofrecer una solución es la que va a ganar el mercado; sin embargo, también han aprendido que la investigación no es tan rápida como se desea, lo cual ha implicado en ocasiones perder oportunidades. Pero es justamente a través del proceso de vinculación que han tratado de encontrar un punto medio.

El doctor Absalón reconoce que vincularse no es fácil por muchos motivos: además de los relativos al establecimiento de metas, objetivos y tiempos conjuntos, también es indispensable realizar un esfuerzo en gestión tecnológica. Si bien el CIBA cuenta actualmente con un área dedicada a dicho aspecto, cuando el doctor Absalón dio inicio a este proceso de vinculación no había nadie que le enseñara o lo apoyara en los distintos temas involucrados, como la propiedad intelectual, los costos y la propia dirección administrativa de un proyecto de este tipo.

El doctor Absalón compara la vinculación con una investigación doctoral, en el sentido de que para él implicó un proceso de aprendizaje muy exigente, ya que no estaba especializado en lo que demandaba la empresa. El doctor Absalón lo expresa de la siguiente manera:

Puedo decir que yo no estudié eso, yo no estudié vacunas ni virus. Me especialicé en antibióticos, en microorganismos que producen antibióticos... entonces es una corriente totalmente diferente de conocimientos que para aprender la nueva línea de investigación me tomó justo eso, como tres o cuatro años, lo mismo que un doctorado.

Sin embargo, el tiempo invertido ha valido la pena; desde que lograron pasar todas las barreras, las cosas han fluido con mayor velocidad, y el hecho de construir conocimiento conjuntamente ha fortalecido tanto a la investigación como a la empresa. Ahora se consideran especialistas en el área, lo cual les ha permitido migrar hacia la producción de otro tipo de productos que se relacionan con diversos virus del sector veterinario.

El doctor Absalón, desde su experiencia como investigador y actualmente como subdirector de Vinculación del Centro, señala que una vinculación presenta los puntos más críticos en los tres primeros años. Sin duda el más complicado es el primero, ya que la relación se está iniciando y se pone a prueba la disposición de ambas partes; además es el momento en que deben coincidir distintas cosas y conformarse otras, como un lenguaje común y el entendimiento mutuo. También destaca que el proceso de vinculación comienza con cosas sencillas, en ocasiones con algún tipo de servicio, lo que permite conocerse, inspirar confianza en el otro e ir avanzando en el grado de complejidad. Esto podría interpretarse como un periodo de prueba, ya que es necesario conocer habilidades, destrezas, capacidades y alcances.

El primer proyecto que ejecutaron juntos IASA y el CIBA a través de la relación entre el doctor Absalón y el doctor Lucio, fue apoyado por el hoy denominado Fondo Sectorial de Innovación Tecnológica (FIT) de la Secretaría de Economía-Conacyt en 2005, y consistió en el desarrollo de un proceso innovador para la extracción de lisozima y otros componentes de la clara de huevo aplicables en la industria farmacéutica. La lisozima tiene propiedades antimicrobianas, es un conservador natural y se usa mucho en la industria farmacéutica; también se utiliza para prolongar la vida de anaquel de algunos alimentos, como las fresas.

Éste fue el primer acercamiento entre IASA Y el CIBA, y a pesar de las vicisitudes se dieron cuenta de que era una relación benéfica en ambos sentidos, porque IASA no contaba con biólogos moleculares y el CIBA requería realizar proyectos. Es importante mencionar que éste en particular surgió a partir de que IASA identificó la necesidad de darle un plus a la clara del huevo porque no la estaba comercializando, y se evaluó la posibilidad de separar dos enzimas presentes en la clara. Dicho proyecto culminó de manera exitosa, tanto tecnológica como comercialmente, con el producto denominado Supracox®, del cual se habló previamente y que está constituido por inmunoglobulinas específicas para la prevención y el tratamiento de los efectos nocivos causados por especies de *Eimeria sp.* en aves.

Después tuvieron una segunda vinculación que culminó con la línea Genovax®N5, resultado de un proyecto sometido a la consideración del Fondo Salud-Conacyt en 2006. Dicho proyecto estuvo dedicado a la elaboración de una vacuna recombinante polivalente contra variedades mexicanas del virus de la enfermedad de Newcastle, utilizando como vector el propio virus de Newcastle.

Genovax®N5 tiene ya más de cuatro años en el mercado y ha logrado posicionarse en todas las zonas avícolas del país, cobrando gran importancia dentro de la cartera de productos de IASA, ya que ha sido y es un producto muy vendido y reporta importantes ganancias para la empresa. Se trata de una vacuna a virus vivo liofilizado cepa recombinante P05 (genotipo V) para la prevención de la enfermedad de Newcastle, y dada su especificidad es única en los mercados nacional e internacional porque justamente atiende necesidades de nichos particulares.

El virus de Newcastle afecta a la industria avícola en general a nivel mundial, pero hay diferentes genotipos. IASA seleccionó un genotipo en particular —el genotipo 5— ya que consideraron que era el que se encontraba presente de manera preponderante en las principales zonas de producción avícola en México y en algunos países de Centroamérica, principalmente. Pero también surgió como una necesidad del mercado, porque se identificó que se encontraba presente en gallinas de postura a pesar de estar vacunadas.

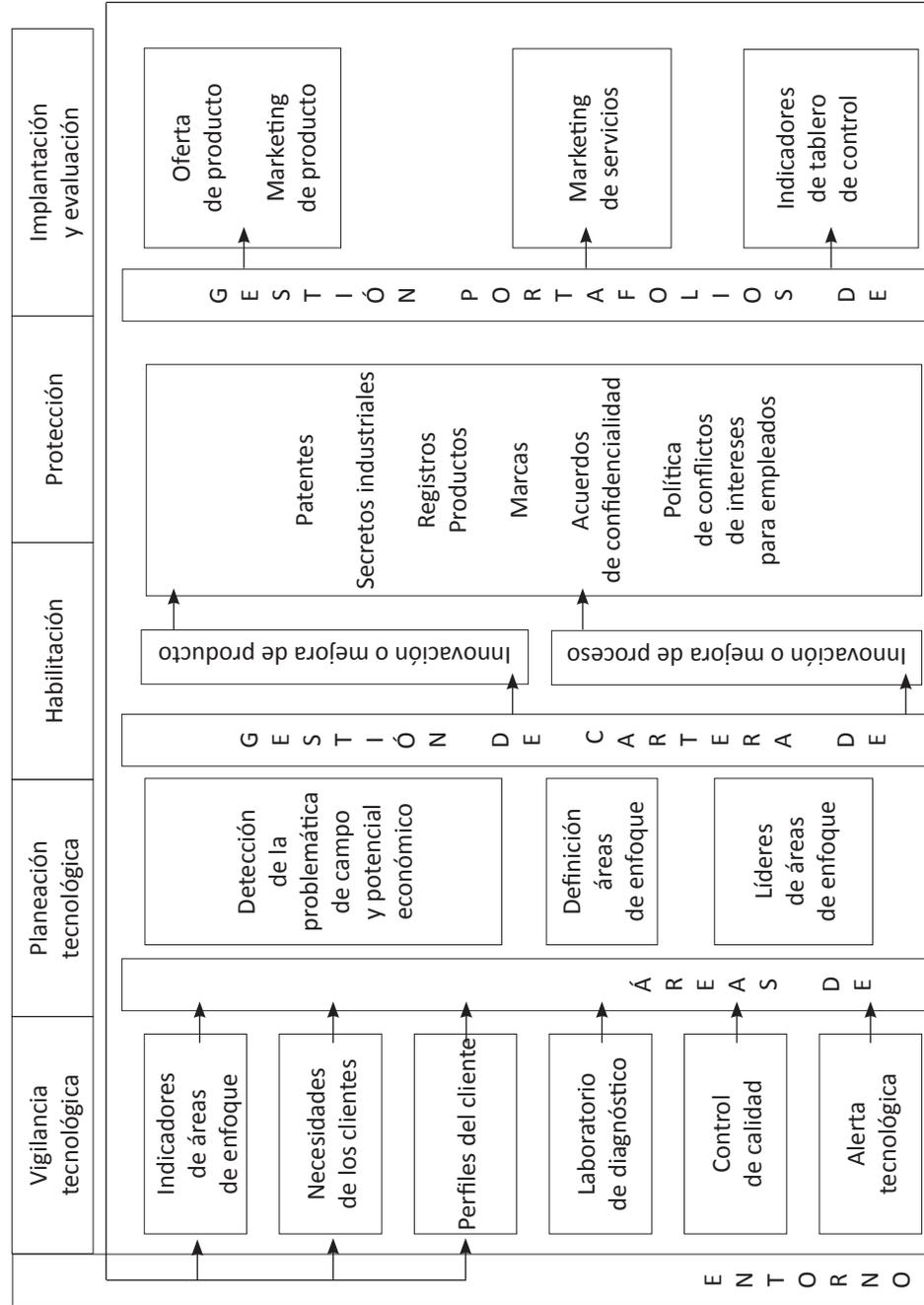
Dicho proceso de identificación es resultado de un sistema de vigilancia epidemiológica, el cual les permite monitorear la circulación de los virus (no sólo del Newcastle sino de influenza y algunos otros) y hasta dónde los desarrollos biológicos de la empresa (productos) están cumpliendo su función de protección ante los nuevos agentes que aparezcan.

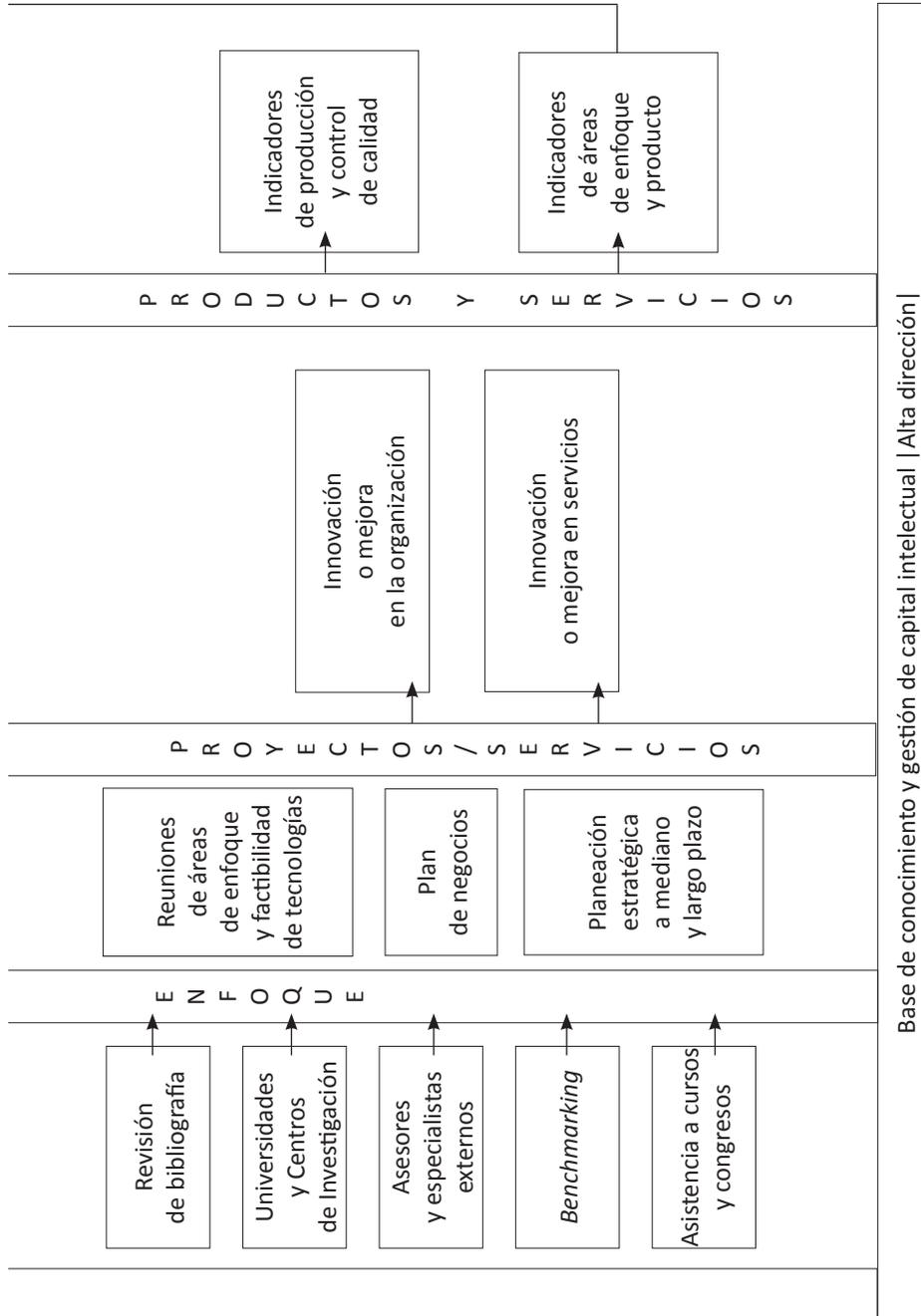
Cabe mencionar que IASA ha establecido un modelo de gestión tecnológica que le ha valido ser reconocida con el Premio Nacional de Tecnología (PNT) 2010; pero sobre todo le ha permitido establecer mecanismos de monitoreo del exterior y la explotación de sus capacidades tecnológicas, con la finalidad de lograr una ventaja competitiva en el mercado. En la figura 1 se muestra el proceso de integración de la gestión de tecnología en IASA.

El proceso de monitoreo consiste en lo siguiente: realizan muestreos en granjas y el material seleccionado es llevado a sus laboratorios para realizar aislamientos virales así como pruebas de secuenciación y otras pruebas internas de virus, y para analizar si sus productos todavía siguen siendo efectivos o si es necesario actualizarlos a través de secuenciaciones y árboles filogenéticos donde determinan cuáles son las mejores cepas que pueden ayudar a resolver los problemas de salud de las aves. Es necesario mencionar que IASA trabaja de cerca con un equipo técnico capacitado que cumple un papel primordial, pues su constante comunicación con los avicultores permite que éstos le expresen sus inquietudes e informen cuándo una vacuna ya no muestra la efectividad esperada.

Además de lo anterior, IASA realiza una labor de búsqueda de datos mediante las publicaciones que cada país realiza sobre su monitoreo interno. Las instituciones públicas de cada nación identifican y llevan un registro de las secuenciaciones nuevas reportadas, o sea, de la presencia de nuevos virus o de las modificaciones de los ya existentes. Hecho esto se procede a identificar si en términos tecnológicos y comerciales es viable desarrollar un nuevo producto. En la figura 2 puede observarse con detalle el diagrama del proceso de dichas actividades.

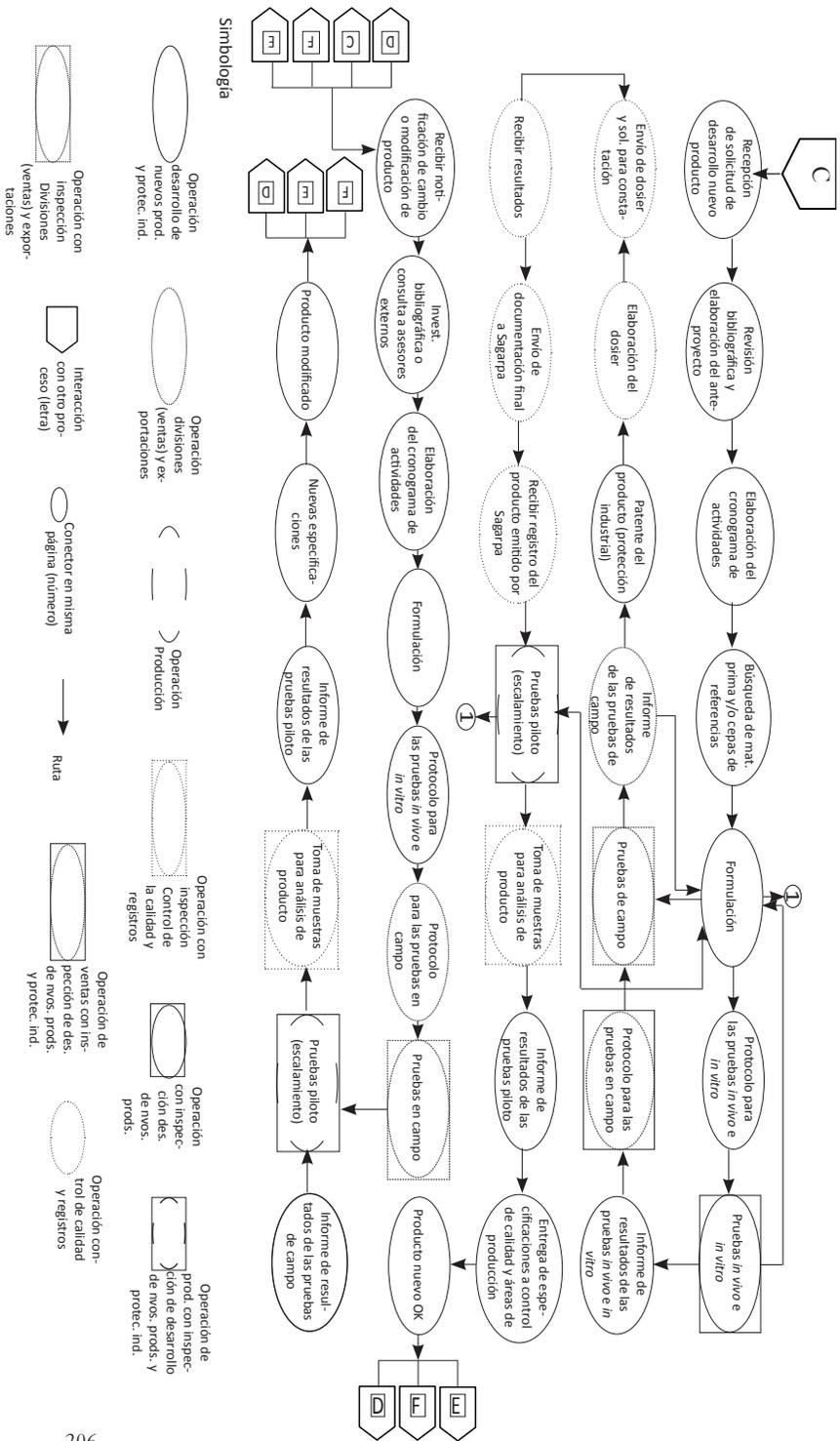
FIGURA 1
 Proceso de integración de la gestión de tecnología en IASA





Base de conocimiento y gestión de capital intelectual | Alta dirección |

FIGURA 2
Proceso de investigación y desarrollo de nuevos productos IASA
 (Diagrama de proceso)



Existen desde luego distintos genotipos en otros países, pero el genotipo 5 es el que muestra su presencia en México. La decisión por este genotipo estuvo asimismo influida por el hecho de que en nuestro territorio no existía una vacuna específica para el mismo; había otras que de alguna manera eran genéricas, pero con menor efectividad al no atacar la especificidad del virus.

En el caso particular de México, el virus de Newcastle del genotipo 5 generalmente es tratado de la misma manera, con vacunas tradicionales, como el de la cepa La Sota tipo B1, la cual es lentogénica y muestra una buena capacidad de multiplicación, es decir, un alto grado de invasión en los tejidos. El problema principal es que cuando se trata con dicha cepa un genotipo 2 distinto al que circula en México, las aves excretan mayor virus, y que al sufrir desafíos de campo en aves de postura, provoca caídas en rendimiento y pérdidas económicas importantes. Al vacunarse con la cepa específica del genotipo 5, excretan menor cantidad de virus y esto contribuye al control tanto de las bajas de postura como del contagio a través de la excreción por el virus de las propias aves. Esto significa que en el mercado existen productos sustitutos, pero de menor efectividad.

Es importante destacar que al principio no se había identificado que el causante de la problemática era el virus de Newcastle. Se pensaba que era otro y generalmente se vacunaba previamente contra dicho virus; pero después de una serie de análisis y de revisar datos en granja, de hacer necropsias e introducir aves “centinela”, se determinó que se trataba de Newcastle, aunque de un genotipo diferente al vacunal. Entonces se pidió apoyo al CIBA para poder hacer modificaciones a nivel molecular, de tal manera que se cambiara la patogenicidad del virus de Newcastle, disminuyéndola, y de ahí surgió el proyecto de Genovax N5.

Una vez identificado el genotipo que se quería atacar, se realizó una planeación estratégica: se planteó la idea, el concepto, y luego se trazaron los objetivos, se estableció un acuerdo con el CIBA y se formularon las actividades de cada uno: centro de investigación y empresa.

En el caso del desarrollo del Genovax®N5, el CIBA –a cargo del doctor Absalón– prácticamente se encargó de la parte biotecnológica, lo que implicó la construcción genética del virus, la comprobación, y después IASA y el CIBA

realizaron en forma conjunta el rescate viral. Éste consiste, a nivel laboratorio, en infectar células para que el virus se manifieste; luego éste es pasado a un embrión a fin de obtener el virus como tal y proceder con las formulaciones de vacuna y las pruebas en animales.

Cabe mencionar que las actividades de IASA no se centraban en la realización de vacunas recombinantes, ya que éstas requieren de biología molecular y biotecnología, capacidades tecnológicas de las que carecían tanto a nivel de recursos humanos como en infraestructura. Y eso era justamente con lo que contaba el CIBA. Así pues, ellos aportaron conocimiento de herramientas de biología molecular, construcción de plásmidos, formaciones, cortes, pegadas, enzimas, mientras que IASA aportó experiencia en aislamientos virales, crecimiento en líneas celulares, evaluaciones cinéticas de cómo se comportan los virus, evaluación de prototipos de vacuna y las pruebas en animales. En síntesis: el CIBA hace toda la parte molecular, y en IASA se hacen las pruebas que se requieren para que se convierta en una vacuna.

En el caso de la vinculación relativa al virus de Newcastle, se determinó que el área de oportunidad se centraba en controlar o abatir las bajas de producción de huevo y la excreción viral producida por las poblaciones del virus que actualmente circulan en su presentación velogénica, y que corresponden al sublinaje 3C o genotipo V. Los frutos de la vinculación derivaron en los productos Emulmax®N5 y Genovax®N5, los cuales son las únicas vacunas que contienen un virus recombinante que expresa la hemoaglutinina del genotipo V, que es la que se corresponde con las cepas velogénicas del país, logrando evitar bajas de postura y reduciendo la excreción viral (Lucio, 2015).

Como ya se ha mencionado, la vinculación hizo posible conjuntar capacidades; sin embargo, a pesar de la planeación y de haber identificado lo que podía realizar cada parte, en el proceso hubo tropiezos. En el caso del CIBA, a despecho de que contaba con las herramientas técnicas necesarias, se tuvieron algunos problemas de laboratorio con relación a una metodología particular, lo que demandó una capacitación especial al doctor Absalón; para tal efecto se identificó en la bibliografía especializada a quienes la habían desarrollado y se gestionó que éstos los capacitaran en Estados Unidos. Ello retrasó las cosas,

pero permitió lograr efectivamente la recuperación viral después de muchos fracasos previos, entre los que figuraban también problemas con la línea celular.

Lo anterior demuestra que los procesos de I+D y vinculación no siempre se ejecutan de acuerdo con lo planeado; en este caso surgieron inconvenientes tecnológicos que no habían sido considerados por ninguno de los dos actores y que requirieron el concurso de ambos.

Además de obtenerse beneficios para la empresa, como el producto nuevo, también los hubo para el centro de investigación. Durante el desarrollo del proyecto se contó con la participación de estudiantes —uno de ellos obtuvo el grado de maestría gracias a su colaboración en el proyecto—, y además se registró una patente Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT, por sus siglas en inglés). Por el lado de la empresa se involucraron activamente tres personas con formación en química farmacobiológica e ingeniería bioquímica, quienes recibieron formación y entrenamiento especializado gracias a las actividades que derivaban del proyecto. Actualmente las actividades de I+D de IASA se han institucionalizado; no sólo se dispone de infraestructura sino que se creó un área específica para dichas labores. Además se cuenta con una doctora en ciencias y dos maestros en ciencias a nivel licenciatura, aparte de químicos farmacobiólogos, ingenieros bioquímicos en alimentos e ingenieros en biotecnología.

Anteriormente la parte dedicada a I+D se ubicaba en el Departamento de Control de Calidad y Desarrollo de Nuevos Productos, el cual data de los años noventa. En 2012 se separan y surge el área de I+D, que ahora se encuentra junto a desarrollo de productos. En términos organizacionales han crecido, pero también en cuanto a infraestructura, ya que ahora cuentan con un edificio para labores de I+D y con un bioterio.

La instalación y el crecimiento de un área de I+D en IASA fueron posibles gracias a los apoyos a los diferentes proyectos que se han sometido al Conacyt; ello les ha permitido crecer tanto en personal como en infraestructura y equipo. También han generado una rutina para formular proyectos y seguir desarrollando sus actividades de I+D. Parte de su estrategia consiste en participar cada año en algún fondo público para poder cofinanciar sus actividades. Gracias a

eso han podido crecer en varios aspectos, de manera que ahora colaboran 18 personas entre operativos, analistas y jefaturas en el área de I+D.

En general, todo lo relacionado con la I+D se ha fortalecido e incrementado en la empresa, y de acuerdo con sus propias proyecciones, basadas en las demandas del mercado de productos nuevos, seguirán creciendo y requerirán más recursos humanos. Hoy en día consideran que en el futuro cercano podrán contratar más maestros o doctores especialistas en biotecnología.

Pero la vinculación no sólo ha tenido resultados positivos para la empresa; también el CIBA ha podido adquirir infraestructura y material para laboratorio. El propio doctor Absalón refiere que entre 50 % y 60 % del crecimiento de su laboratorio está relacionado con las actividades que lleva a cabo con IASA, además de que un gran número de sus estudiantes se ven beneficiados por ella de manera directa o indirecta.

Debido a los resultados obtenidos de la vinculación y a los proyectos de I+D, IASA confirma su vocación por la innovación, sobre todo por aquella que resuelve problemáticas particulares que en ocasiones no son atendidas por tratarse de necesidades locales o regionales. Tanta es la importancia del papel que cumple hoy en día la I+D que la empresa tiene en proceso una serie de nuevas vinculaciones: en el ámbito nacional con la UNAM y el Cinvestav, y a nivel internacional con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Universidad de Illinois y algunas empresas.

En el caso particular de la relación con el USDA, han desarrollado un esquema interesante a través del cual envían personal para que curse algunas especialidades o maestrías encaminadas a solucionar aspectos de interés para la empresa. Por ejemplo, a través de una persona a quien subvencionaron para que realizara una maestría allá lograron identificar algunos virus de Newcastle que no se encuentran en México, pero sí en algunos países de Asia, Medio Oriente o Sudamérica; y basados en los desarrollos previos para el genotipo 5, ahora cuentan con capacidades para diseñar productos destinados a otros genotipos, como el 6, el 7 y el 13, lo que les permite entrar en esos mercados gracias a los convenios que tienen con el USDA.

A pesar de que en términos tecnológicos IASA ha podido establecer un mecanismo positivo que le permite solucionar dificultades muy específicas, aún

enfrentan diversas barreras. Por ejemplo, una vez que han logrado obtener un producto susceptible de ser comercializado, se encuentran con el problema de las certificaciones y los trámites burocráticos que esto implica.

Cuando un nuevo producto del ramo de la medicina veterinaria está listo para comercializarse, debe pasar antes por una serie de certificaciones de la Sagarpa, la cual debería contar con un laboratorio oficial de referencia especializado y actualizado para poder dar salida lo más rápido posible a las solicitudes que se ingresan. Como no es el caso, la innovación encuentra aquí una barrera: aunque se lleven a cabo la investigación y el desarrollo y se culmine con una innovación de producto, la ausencia de capacidades institucionales adecuadas para certificar y validar los nuevos productos inhibe el proceso y las estrategias de innovación.

En IASA han encontrado dificultades para que los certificadores comprendan el concepto biotecnológico implícito en sus propuestas, ya que está sustentado en una plataforma base constituida por anticuerpos elaborados en yema de huevo para tratamiento y, en algunas ocasiones, para prevención de algunas enfermedades tanto en aves como en cerdos o bovinos. Como esto no es usual, se requiere de protocolos o metodologías especializadas para su evaluación. Sin embargo, por lo novedoso del producto y del proceso en la mayoría de las ocasiones no se cuenta con los recursos y capacidades indispensables; ello detiene algunas veces el proceso de comercialización, que es el objetivo final de la empresa, por cuanto es la única forma de recuperar su inversión y poder invertir de nuevo en I+D.

Retomando el caso del virus de Newcastle de los genotipos que no se presentan en México, es necesario que primero se registre el producto en nuestro país para, posteriormente, poder obtener registros en otras naciones, a pesar de que aquí no se presente. Esto no ha sido bien comprendido por las autoridades sanitarias mexicanas, ya que consideran que si el producto no va a ser comercializado en el país, no tiene sentido registrarlo; sin embargo, la normatividad internacional exige que se cumpla este requisito para poder exportar. Esta incompreensión hace que las dependencias nacionales para el registro sanitario dejen de ser facilitadoras y se conviertan en una barrera que debe ser sorteada de muy diversas maneras: desde solicitar reuniones especiales para explicar en qué consiste la necesidad de la empresa para poder registrar, hasta colaborar en el desarrollo de protocolos y metodologías de evaluación para lo que pre-

sentan. Ello requiere una importante inversión de tiempo y recursos que no estaba originalmente contemplada en los proyectos iniciales.

Derramas sociales y tecnológicas

Cada vez existen más empresas productoras de alimentos o insumos alimenticios preocupadas por disminuir el uso de antibióticos en los diversos tipos de animales que utilizan para sus procesos y productos. Además, las regulaciones a nivel mundial son cada vez más estrictas en lo relativo a los tratamientos a que son sometidos los animales de granja y para consumo humano.

En términos generales, esto significa un avance en lo que se refiere a la salud de los animales y las personas; y en términos de mercado y tecnológicos representa una oportunidad para IASA y para todos aquellos centros de investigación en biotecnología, como el CIBA, que desarrollan soluciones en diversos aspectos vinculados con la salud animal. Por ejemplo, desde 2007 en IASA se realiza I+D en el área de la mastitis (ganado), pero también en temas referentes a la salud porcina y, en el sector avícola, a enfermedades como la de Newcastle y la influenza.

Los beneficios logrados por IASA y el CIBA van más allá de los rendimientos económicos que ha tenido la empresa. Dichos beneficios son sin duda muy relevantes; de acuerdo con datos de la propia compañía, se han convertido en el principal proveedor de medicina veterinaria de los grandes avicultores. Cabe destacar que IASA tiene una participación de 7% del mercado farmacéutico mexicano y se encuentra en séptimo lugar general. Del mercado veterinario por especie, IASA compite con el 49% del total; el primer lugar lo ocupan las aves de corral; el segundo, el ganado vacuno; y el tercero los cerdos. En lo que respecta al sector avícola, son el mayor proveedor de salud animal y cuentan con el 21% de la participación total, mientras que en el sector porcícola ocupan la sexta posición, con una participación total del 7%.

IASA ha logrado establecer cuatro plataformas tecnológicas: la primera en materia de anticuerpos extraídos de la yema de huevo; la segunda basada en un sistema de medición de cambios antigénicos (homologación antigénica); la tercera relacionada con vacunas a virus muerto con adyuvantes de mucosas;

y la cuarta apoyada en la ingeniería de reversa y la expresión de proteínas recombinantes (Lucio, 2015). Además, en IASA son conscientes de que a nivel mundial el mercado tiende a la restricción de antibióticos en animales, lo que beneficia las líneas de investigación que han desarrollado con el CIBA.

Por otro lado, la empresa ha tenido un impacto relevante a nivel local, ya que ha sido capaz de absorber personal en diversos niveles de la zona y lugares cercanos. A nivel tecnológico son una de las compañías con más capacidades tecnológicas en biotecnología aplicada en el sector veterinario. Han generado un núcleo de competencias y actualmente buscan escalarlas hasta el mercado de salud humana, lo que representa un avance cualitativo y cuantitativo muy relevante para la empresa.

Lo anterior demuestra que una vez construido un núcleo central de capacidades, es posible moverse hacia distintos procesos o productos cercanos a las actividades centrales. Los proyectos de investigación y desarrollo implementados por IASA son 43 y han desembocado en mejoras de procesos, productos y nuevos productos.

El camino que han recorrido juntos IASA y CIBA a lo largo de 10 años ha sido para beneficio mutuo. De esos 43 proyectos, 11 han estado vinculados con el CIBA, y los temas han sido diversos y relacionados con la salud aviar, porcina y humana. También es importante mencionar que si bien las vinculaciones de la empresa se han diversificado y ahora incluyen a más actores, el CIBA a través del doctor Absalón desempeña un papel muy relevante, ya que prácticamente participa en todos los proyectos de IASA.

Pensando en el futuro

Desarrollar innovaciones exige un importante esfuerzo que involucra recursos científicos, tecnológicos y financieros, además de infraestructura de alto nivel, lo que en conjunto permite llevar a cabo el primer paso: la investigación y el desarrollo. En el caso de la biotecnología se requiere, además, la coordinación de diversos actores. En efecto, se requiere conocimiento de frontera, el cual se desarrolla mayormente en las universidades y en centros de investigación; y al mismo tiempo se necesitan recursos que en ocasiones las empresas no poseen

completamente. Por ello se hace necesaria la participación del Estado a través de una política pública que promueva incentivos específicos y aliente a que estas inversiones se realicen en I+D.

En México, el Conacyt ha implementado una serie de programas y herramientas que por distintas vías tratan de impulsar la innovación. Afortunadamente algunas empresas, como IASA, los han aprovechado y, mediante un esquema de cofinanciamiento, han podido llevar a cabo proyectos que probablemente hubiesen acometido de manera individual pero con un ritmo más lento y, por tanto, con resultados menos competitivos, dada la demanda de soluciones rápidas para el mercado.

El desarrollo de la biotecnología reclama la participación de diversos agentes. Por ello la vinculación cumple un papel fundamental y el caso que aquí se presenta lo demuestra claramente. La relación surgida particularmente entre IASA y el CIBA ha sido efectiva y exitosa, con beneficios para ambos actores, tanto a nivel tecnológico como económico. El CIBA sigue siendo un actor fundamental en esta alianza para la innovación, y el grupo del doctor Absalón ha declarado su interés en seguir colaborando con IASA en virtud de que esto les ha permitido consolidarse como investigadores.

La importancia de la vinculación, en lo que concierne a la empresa, se refleja en los factores centrales de su éxito en términos de innovación tecnológica. En primer lugar, la relación con las instituciones educativas, en particular con el CIBA, lo que les proporciona una plataforma de conocimiento adicional; en segundo lugar, la relevante interacción que mantiene con asesores externos, quienes igualmente proveen de conocimiento; y es también destacable la participación en fondos del Conacyt, pues ello les ha permitido invertir en proyectos, recursos humanos e infraestructura.

Desde la perspectiva tecnológica, es notable el papel desempeñado por el doctor Lucio Decanini, quien ha dirigido los esfuerzos de la empresa con miras a establecer formalmente mecanismos de vigilancia, y en general fue él quien puso en marcha todo el modelo de gestión tecnológica. Éste ha sido apoyado por la alta dirección de Grupo IDISA, cuya amplia visión ha permitido convencer a los principales clientes del país, tanto avícolas como porcícolas y de bovinos, para que le permitan estar junto a ellos, entrando a sus instalaciones

y en particular a sus granjas para hacer la vigilancia epidemiológica, lo cual ha representado una ventaja importante para IASA.

E igualmente significativo es el papel que ha desempeñado la comercialización a través de la red de distribuidores que cubre todo el país. Mediante dicha red también se monitorean necesidades del mercado y se mantiene relación directa con los clientes. Asimismo es importante la división de ventas al exterior, ya que una de las metas de la empresa es colocar 60 % de su producción en las líneas que representen una oferta exportable.

El caso de IASA-CIBA muestra además cómo la vinculación avanza también en complejidad tecnológica. Esto queda de manifiesto en los últimos proyectos, los cuales involucran ya a la salud humana, y a través de otra vinculación, ahora con una empresa, pretenden escalar capacidades, conjuntar habilidades e incursionar en mercados más rentables para competir con los grandes laboratorios transnacionales. Esto no es trivial, sobre todo porque en el mundo de hoy la tendencia en el sector de salud, tanto veterinaria como humana, muestra una importante concentración en unas cuantas grandes empresas.

Lo anterior representa una oportunidad en los mercados de nicho y en enfermedades que no sean de interés para los grandes consorcios, sin perder de vista que se puede ir avanzando hasta ganar posiciones primero en términos locales y regionales, y luego nacionales y a nivel mundial. Se requieren nuevos esfuerzos y, desde luego, es preciso conjuntar capacidades especializadas. La experiencia de IASA muestra que es posible ser competitivos en sectores altamente concentrados mediante una estrategia de investigación, desarrollo e innovación en la que se involucre a más actores, lo cual además repercute en diversos beneficios directos e indirectos.

Bibliografía

Branscomb, L. M., y F. Kodama (1999), *Industrializing Knowledge: University-Industry Linkages in Japan and the United States*, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge.

- David, P. A., y D. Foray (2002), "An Introduction to the Economy of the Knowledge Society", *International Social Science Journal*, vol. 54, núm. 171, pp. 9-23.
- Etzkowitz, H., y L. Leydesdorff (1995), "The Triple Helix-University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development", *East Review*, vol. 14, núm. 1, pp. 14-19.
- Leydesdorff, L., y M. Meyer (2007), "The Scientometrics of a Triple Helix of University-Industry-Government Relations", *Scientometrics*, vol. 70, núm. 2, pp. 207-222.
- Lucio, E. (2015), "Transferencia tecnológica en biotecnología: experiencias, retos y oportunidades para el sector empresarial", seminario de la Red Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad, Conacyt, Morelos, México.
- Mansfield, E. (1995), "Academic Research Underlying Industrial Innovations: Sources, Characteristics, and Financing", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 77, núm. 1, pp. 55-65.
- Prager, D. J., y G. S. Omenn (1980), "Research, Innovation, and University-Industry Linkages", *Science*, vol. 207, núm. 4429, pp. 379-384.
- Smith, H. L. (2004), "The Biotechnology Industry in Oxfordshire: Enterprise and Innovation", *European Planning Studies*, vol. 12, núm. 7, pp. 985-1001.

Fuentes electrónicas

- Aves Libres de Patógenos Específicos (ALPES) (2015), disponible en <<http://www.alpes.com.mx/>>, consultado en noviembre de 2015.
- Incubadora Mexicana S.A. (IMSA) (2015), disponible en <<http://www.incubadoramexicana.com/>>, consultado en noviembre de 2015.
- Investigación Aplicada, S. A. (IASA) (2015), disponible en <<http://www.iasa.com.mx/>>, consultada en noviembre de 2015.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (2015), disponible en <<http://www.wipo.int>>, consultado en noviembre de 2015.

9. Tecnología y medio ambiente: El ejemplo de IBASA

Graciela Carrillo y Luisa Avendaño

Introducción

La biotecnología se encuentra en una fase de crecimiento exponencial que abre nuevas posibilidades en lo relativo a dirigir la economía mundial hacia un desarrollo más sostenible y a una mejor calidad de vida. Recordemos que la biotecnología se basa en la utilización de sistemas biológicos y organismos vivos —o de derivados de éstos últimos— para realizar o modificar productos o procedimientos con un uso específico.

La aparición de nuevas técnicas derivadas de la investigación, especialmente en biología molecular y celular, dio lugar a la utilización industrial de microorganismos con aplicaciones que van desde la producción de vacunas recombinantes hasta el desarrollo de nuevos medicamentos, enzimas y otras proteínas de origen recombinante. De modo que la biotecnología es considerada hoy una de las tecnologías punteras más prometedoras.

En los últimos años han surgido nuevos desarrollos científicos en biotecnología vinculados a la industria farmacéutica, a la agroalimentaria, y también a procesos ambientales, como el tratamiento de las aguas residuales. Pese al importante avance y a las ventajas de estas innovaciones, en México aún persisten barreras institucionales que limitan el crecimiento de empresas que buscan introducirse en los mercados a partir de desarrollos científicos generados por esta corriente biotecnológica.

La conexión de la biotecnología con el mercado, en el que ofrece nuevos productos o la solución a problemas ambientales, presenta tres aspectos indispensables:

- una política pública de impulso a la ciencia, la tecnología y la innovación que incluya la formación sólida de recursos humanos y la disponibilidad de infraestructura;
- programas de apoyo a emprendedores y a empresas innovadoras que ya están en el mercado y no pueden expandirse, y
- sólidos mecanismos de vinculación entre las instancias científicas y los empresarios, para que se consolide la transferencia de tecnología y de conocimiento sobre la base de la retroalimentación.

La biotecnología se ha colocado como la opción tecnológica más limpia para la descontaminación de suelos y agua mediante el uso de procesos biológicos, y es por tanto la opción más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales, especialmente de aquellas contaminadas por los agentes más comunes.

El tratamiento biológico para la descontaminación de aguas es un proceso que se ha utilizado desde hace más de 100 años; su capacidad para procesar distintos efluentes es incluso más eficaz que los procesos físicos o químicos. Diversas investigaciones sobre aguas residuales industriales han mostrado que el tratamiento biológico por microorganismos es más conveniente no sólo por su eficacia sino también porque los reactores biológicos son más fáciles de instalar y su mantenimiento es mínimo.

En el tratamiento biológico se han desarrollado dos tipos de procesos: los aeróbicos y los anaeróbicos. Los aeróbicos han sido los más utilizados para desechos de contaminación media y para moléculas persistentes; sin embargo, en los últimos años y dado que los anaerobios se adaptan mejor a desechos con gran proporción de materia orgánica y pueden operar con plantas de tratamiento más pequeñas, han reemplazado a los aerobios en muchos usos. Este método biotecnológico fracciona los compuestos orgánicos, produce gas metano y logra eliminar nitratos, fosfatos, iones de metales pesados, compuestos

orgánicos clorados, sustancias tóxicas y genera tasas de recuperación de más de 80 % (Regency Foundation Network).

Actualmente el uso de plantas acuáticas, microalgas y procesos de biodegradación para el tratamiento biológico y la posterior reutilización de las aguas residuales, son algunas opciones para mejorar la calidad del agua tratada y para aumentar la eficiencia de las plantas de tratamiento. Las macrófitas acuáticas (plantas acuáticas) son seres muy potentes biológicamente hablando; gracias a procesos fisiológicos son capaces de absorber los contaminantes presentes en el agua. Su uso se basa en las relaciones de flujos de energía y de nutrientes que tienen lugar entre ellas y los microorganismos degradadores. Las plantas asimilan los compuestos que hay en el agua, disminuyendo la contaminación de ésta y, por ende, mejorando su calidad.

En México se estima que sólo se trata 35 % de las aguas residuales que se generan; el grueso del agua contaminada llega a ríos, lagunas, lagos y zonas costeras, y la cantidad de aguas residuales que se vierten es inmensa; tan sólo en los centros urbanos las descargas ascienden a 7.63 km³ anuales, lo que equivale a 242 000 litros por segundo. En cuanto a la industria, se calcula que las descargas ascienden a 5.77 km³ anuales de agua (183 000 litros por segundo), y por supuesto el daño que causan es mayor; sin embargo, sólo se trata el 15 % del total (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía [Inegi], 2014).

La Comisión Nacional de Agua (Conagua) ha señalado que cada año se generan 7 410 millones de metros cúbicos de aguas residuales. De ellos, 6 590 millones son recolectados por la red de alcantarillado y sólo 2 950 millones recibe algún tipo de tratamiento.

El Programa Nacional Hídrico 2013-2018, revisado por la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (Cofemer), destaca que México cuenta ya con 2 342 plantas de tratamiento municipales, pero reconoce que en conjunto operan sólo al 71 % de su capacidad. Señala que los principales problemas en muchos lugares del país son los siguientes: la falta de recursos financieros para la construcción, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura para el tratamiento; los altos costos de energía eléctrica y reactivos químicos para la operación; la falta de capacitación del personal operativo, y una deficiente cultura de pago del usuario por los servicios de saneamiento (Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], Conagua, 2014). Asimismo sostiene que la reutilización de agua residual municipal tratada se ha incrementado en los últimos años, generalmente en la agricultura, la industria y en los servicios municipales, principalmente para el riego de áreas verdes urbanas. Sin embargo, reconoce que sólo se reutiliza una tercera parte de los 3 146 millones de metros cúbicos de aguas negras tratadas.

Con base en lo antes descrito sobre las posibilidades de la biotecnología y el problema de la contaminación del agua, aquí analizamos la experiencia de una pequeña empresa de biotecnología dedicada prioritariamente al tratamiento biológico de las aguas residuales y a promover bioproductos para la agricultura. Destacamos la vinculación que surge entre el ámbito científico y el empresarial, así como las oportunidades y dificultades a que se ha enfrentado esta empresa (IBASA) durante los ocho años que lleva en el mercado.

La empresa IBASA (Ingeniería Biotecnológica Ambiental Sustentable y Acuícola, S.C. de R.L. de C.V.) es una experiencia que surgió del acercamiento entre ingenieros, iniciativa empresarial e investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) especializados en biotecnología, los cuales identificaron la necesidad de recuperar y reutilizar las aguas residuales en los municipios de diferentes estados de la república. A la fecha, su mayor experiencia está en el tratamiento biológico de las aguas residuales; pero en forma paralela han trabajado en el ámbito de la investigación, la fabricación y la venta de productos para la agricultura, así como de combustibles alternativos derivados del tratamiento de las microalgas, aunque en este mercado su participación es incipiente porque aún se encuentra en la fase de investigación de laboratorio.

Este trabajo aborda un tema relevante en el campo de la investigación científica aplicada: la vinculación universidad-empresa que surge de las interacciones generadas en las redes de científicos y que se conforman alrededor de investigaciones sobre temas emergentes de la biotecnología. Para ello se describe el caso de una pequeña empresa de biotecnología estrechamente ligada a un grupo de investigadores del Laboratorio Meredith Gould en la Universidad de Baja California, plantel Ensenada, y a la red de biotecnólogos que se ha conformado alrededor de dicho laboratorio. En nuestro análisis resalta la pre-

sencia de los incentivos y las barreras que ha asumido la organización desde su constitución para lograr mantenerse en el mercado.

La creación de IBASA

IBASA se constituye el 13 de mayo de 2008 en Ciudad Juárez, Chihuahua, como una sociedad mercantil denominada Ingeniería Biotecnológica Ambiental Sustentable y Acuícola, Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera, Acuícola y Turística de Responsabilidad Limitada de Capital Variable. Dentro de su objeto social destaca la investigación científica para obtener, mediante todo tipo de seres vivos, la extracción de aceites y sustancias capaces de generar energía para beneficio humano, y sobresale asimismo su comercialización en el mercado nacional e internacional.

El objetivo principal de los investigadores al crear IBASA fue encontrar alternativas de solución para mejorar el ambiente y reactivar el campo a partir de la utilización de la biotecnología. En otras palabras, su propósito era doble: aplicar la investigación desarrollada en la academia para mejorar las condiciones de la población y hacer sustentable la región descontaminando y recuperando las aguas residuales, y promover el uso de técnicas amigables con el ambiente y la venta de bioproductos.

Su visión de desarrollar productos que lleguen directamente a los consumidores finales para eficientar y maximizar la producción en el campo y en la industria, mejorando las condiciones ambientales del país y cuidando los recursos naturales, los ha llevado a proyectos de corto y mediano plazos. Entre ellos figuran los siguientes: el desarrollo de una técnica basada en el uso de nanoplasta para atender plagas en cultivos; el desarrollo de un biofertilizante, y la instalación de plantas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. Todavía sin un producto consolidado se experimentan diversas salidas en torno al cultivo de microalgas, tanto para la elaboración de biodiesel como para la industria de complementos alimenticios con la creación de aceites esenciales de omegas.

La red de investigadores: el soporte de IBASA

La empresa se constituyó formalmente con cinco socios, cuatro de los cuales han participado activamente. Geográficamente, estos últimos se ubican en dos regiones del país: dos de ellos radican en Ciudad Juárez, Chihuahua; uno se ocupa fundamentalmente de establecer los vínculos con el mercado, y el otro busca clientes pero también se dedica a la investigación en la Universidad de Chihuahua en Ciudad Juárez; los otros dos están dedicados de lleno a la actividad científica en los laboratorios de la UABC, plantel Ensenada. Recientemente se incorporaron al equipo un investigador jubilado de la misma Universidad y un ingeniero de Monterrey especialista en la instalación de las plantas de tratamiento de agua.

La formación profesional y la experiencia de los socios pueden resumirse de la manera siguiente. El doctor Raymundo Rivas es licenciado en biología, maestro en sistemas de producción animal y doctor en ciencias y tecnología ambiental en el área de biomateriales. Es investigador de tiempo completo y miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Sus trabajos se focalizan en biología celular, genética, inmunología, biotecnología de la reproducción y anticuerpos monoclonales. Tiene tres patentes registradas en México y Estados Unidos.

El doctor José de Jesús Castellón es ingeniero agrónomo y doctor en ciencias en el área de biología; su actividad profesional combina la docencia con la investigación sobre genética y biotecnología en el sector agrícola, así como con proyectos sobre propagación de especies nativas.

El doctor José Luis Stephano es profesor investigador de la UABC, plantel Ensenada, y encabeza el Laboratorio Meredith Gould de la facultad de biología de la misma Universidad. Es doctor en ciencias en biología clínica y se ha especializado en investigaciones sobre biología molecular e inmunología, y en la última década se ha especializado en nano y biotecnología. Desde hace 30 años ha formado a un considerable número de estudiantes de licenciatura y posgrado, dirigiendo sus investigaciones de tesis en el laboratorio. En virtud de la necesidad de continuar financiando la investigación, y ante la oportunidad que ofrece el nuevo contexto económico de incursionar en los merca-

dos con propuestas científicas y tecnológicas, en la última década el doctor Stephano ha impulsado a sus tesis para que patenten sus desarrollos y se arriesguen a la creación de empresas *spin-off* que les permitan comercializar los productos y servicios que derivan de su trabajo de investigación científica. Tal es el caso de IBASA.

El Ingeniero Ricardo Castillo Ochoa es el socio dedicado a impulsar las actividades administrativas y de mercado de la empresa. Ingeniero bioquímico y administrador en explotación de recursos acuáticos, ha trabajado los temas de medio ambiente, acuacultura y biotecnología. Es profesor de tiempo parcial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y es el responsable administrativo de IBASA desde la creación de ésta. Su experiencia profesional comprende las siguientes actividades: estudios de impacto ambiental y análisis de riesgo; evaluación, selección, construcción, operación y venta de equipos de plantas de tratamiento y reúso de agua y residuos orgánicos; es prestador de servicios autorizado por Pemex para limpiezas ecológicas de estaciones de servicio, talleres y estacionamientos. Además diseña y opera sistema acuícolas.

Esta iniciativa de negocio se asocia con otras experiencias recientes de pequeñas empresas que se han conformado como producto de la formación de varios científicos en el Laboratorio de Biología de la UABC y por la influencia del doctor Stephano. El Laboratorio Meredith Gould (LMG) fue en su origen un salón de clases acondicionado como laboratorio, con materiales, equipos y reactivos donados o adquiridos a bajo costo y con recursos propios por los iniciadores. La doctora Meredith Gould y el doctor J. L. Stephano lograron poner en marcha ese lugar y generar un espíritu de trabajo que los llevó a realizar aportaciones científicas publicadas en revistas especializadas, así como a formar a unos 300 investigadores, algunos de los cuales son hoy parte de la comunidad científica internacional, y otros más incursionan en la creación de empresas de base científica.

El tipo de investigaciones que se impulsaron inicialmente en el laboratorio giraban alrededor de la biología molecular, la epidemiología y la genética. Sin embargo, desde hace al menos una década el trabajo se ha centrado principalmente en la biotecnología, particularmente en la investigación básica y aplicada

a partir de la microalga *Dunaliella salina*, una especie resistente a los ambientes de alta salinidad.

Los recursos que por tres décadas han sostenido la actividad científica del laboratorio han llegado por distintas vías, fortaleciendo la idea de crear empresas que generen recursos para los investigadores y contribuyan en alguna medida al trabajo del laboratorio. Entre estas fuentes están:

- Donaciones y recursos que aportan los egresados del laboratorio; muchos de ellos son hoy investigadores o estudiantes de doctorado en el extranjero, y han conformado una red que se reúne cada dos años en un Congreso Científico.
- La red de colegas que se ha construido alrededor del doctor Stephano, por sus vínculos y antecedentes de trabajo en otras Instituciones de educación superior en México y en Estados Unidos.
- La participación en convocatorias por fondos públicos, como el caso del recurso obtenido en la convocatoria de Fondos Mixtos de Sagarpa-Conacyt en el año 2009 para construir y equipar una planta piloto para la reproducción de microalgas.
- La comercialización de servicios y productos que se generan en el laboratorio.

Las líneas de investigación que hoy se trabajan en el LMG son: biología molecular, inmunología, microbiología, biotecnología y nanotecnología. Estas últimas se ubican en investigaciones de ciencia básica y en ciencia aplicada, y están orientadas al sector salud, a la industria y a la agricultura. Hoy en día el laboratorio está realizando 14 proyectos de investigación:

- Genoma del cloroplasto y de la mitocondria de la microalga.
- *Primer* de secuencias cortas para amplificar el ácido desoxirribonucleico (DNA) de la microalga.
- Muta de algas y microalgas para la elaboración de biodiesel y biofertilizante.
- Omegas para complemento alimenticio y fármacos de bajo costo a partir de las microalgas.

- Producción de recombinante A/H1N1 de antígenos de virus en microalgas para el control de contingencias epidemiológicas.
- Determinación de las condiciones óptimas de salinidad para incrementar la producción de lípidos en microalgas.
- Vinculación de la proteína wasabi y los anticuerpos de llama para el desarrollo de un examen de diagnóstico rápido para detectar el virus de la influenza A/H1N1.
- Desarrollo de anticuerpos para eliminar la bacteria que genera la enfermedad de Pierce en los viñedos.

Debido a que varios de los proyectos están relacionados con las microalgas, todos los experimentos se realizan en la planta piloto ubicada en las instalaciones de la UABC, plantel Ensenada (imágenes que se muestran a continuación) y con microalgas de las costas de Sonora, o con cultivos generados por la misma Universidad. Esto constituye la base sobre la que se apoya IBASA para sustentar y visualizar sus posibilidades de oferta de productos.

Una de las ventajas importantes para IBASA ha sido la interacción permanente con la red de investigadores egresados de la UABC que se formaron en el laboratorio de biología con el doctor Stephano, y que en algunos casos también han optado por iniciativas empresariales, como Quimera Biolabs y Laboratorio Meredith Gould SC de San Quintín, los cuales operan con apoyo del Laboratorio instalado en la Universidad cuando así lo requieren para atender a las demandas de sus clientes.

Quimera Labs surgió en el año 2009 y tuvo como socios a 13 estudiantes del Laboratorio Meredith Gould de la UABC y al doctor Stephano. En ese entonces detectaron la necesidad de vender reactivos y dar servicio a los centros de investigación regionales, los cuales enfrentaban el problema de su dependencia a los proveedores chinos de San Diego, cuya calidad en el servicio era cuestionable, ya que ofrecían los reactivos a precios muy elevados y los tiempos de entrega eran demasiado largos.

Los socios de esa primera empresa comenzaron ofreciendo los servicios de síntesis de oligonucleótidos, síntesis de péptidos y síntesis de genes. Al concluir sus estudios de licenciatura y algunos de maestría, empezaron a salir de

Ensenada para realizar estudios de posgrado en otras universidades, con lo cual el trabajo se fue desvaneciendo y finalmente la empresa fue liquidada.

En el año 2013 una egresada del posgrado de biotecnología, la Mtra. Carolina Mendoza, recupera la idea de la empresa y conforma una nueva sociedad con el doctor Stephano. La finalidad fue ofrecer de nuevo los siguientes servicios: síntesis de oligonucleótidos; secuenciación de ADN; síntesis de péptidos; producción de anticuerpos de llama, y análisis de fragmentos, así como fungir de interfase frente a una empresa de tecnología especializada para laboratorios. La emprendedora visualizó así tres objetivos: adquirir mayor conocimiento de las nuevas tecnologías, obtener experiencia en su manejo, y conocer en profundidad el mercado para poder introducirse en él y ampliar su cartera de clientes.

Las ventajas competitivas del negocio fueron las siguientes: la identificación de un mercado muy especializado en el ámbito científico, con presencia de poca competencia; el aprovechamiento de la red científica en la que se formó, y la infraestructura disponible en el Laboratorio Meredith Gould para los trabajos que le demandan sus clientes. Actualmente están tratando de conseguir nuevos socios entre las mismas empresas que han surgido del grupo del laboratorio, para dinamizar el negocio y lograr posicionarse en ese mercado. Hoy en día cuentan con aproximadamente 20 clientes en diferentes ciudades del país; los más importantes se ubican en la frontera norte y en la ciudad de Monterrey.

Por otro lado, el Laboratorio Meredith Gould SC de San Quintín es la organización de más reciente creación entre las que derivan de esta red. Fue constituida formalmente como sociedad civil el 14 de junio de 2012 en Ensenada, Baja California, con el registro de 11 socios: el doctor Stephano y 10 de los investigadores del laboratorio.

Entre los objetivos de la sociedad figura el desarrollo de productos biotecnológicos con el fin de mejorar las condiciones de vida de la población en general reactivando el campo en distintas regiones del país. La sociedad ofrece fungicidas naturales, biofertilizantes, biodiesel y biogás, ya que estos productos no sólo se utilizan para atacar enfermedades en cultivos; también sirven para

que éstos se vuelvan más eficientes y sustentables. Además, dichos productos son de excelente calidad, a pesar de sus bajos costos.

Asimismo se pretende que los proyectos beneficien a la sociedad al generar empleos directos e indirectos, es decir, provocando una derrama económica en la región. Actualmente se dedican a vender en muy pequeña escala biofertilizantes derivados de la microalga en el mercado local de San Quintín, y han logrado establecer convenios con productores de la zona para hacer experimentación midiendo y probando la productividad de los biofertilizantes que van desarrollando sobre la base del trabajo de laboratorio de las microalgas.

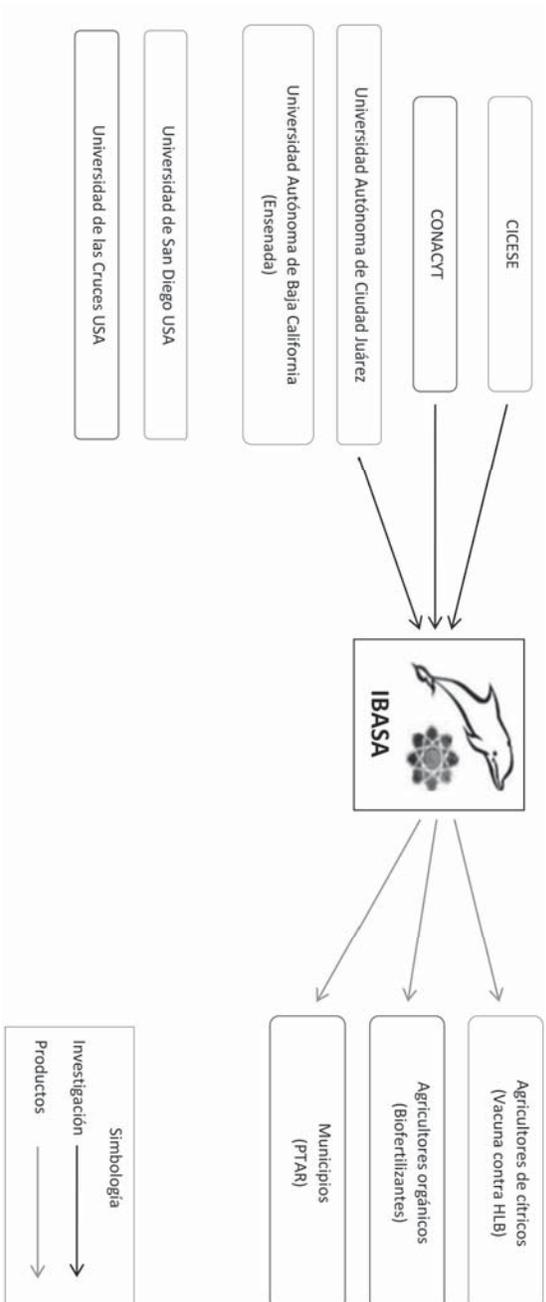
Evidentemente, tanto IBASA como los otros casos comentados son negocios que no sólo surgen de una red científica cuyos actores principales han sido los investigadores pioneros y asesores de los científicos egresados, sino que siguen sustentando una parte relevante de los servicios y productos de las empresas con el apoyo que brinda la investigación que continúa desarrollándose en el laboratorio, ahora a cargo solamente del doctor Stephano y sus tesisistas. Este apoyo de la infraestructura física y del capital humano que ofrece la Universidad, apoyo que ha ido creciendo a partir de las relaciones del investigador líder, ha sido el punto nodal para todas las empresas que se han desprendido de la citada red, ya que cubre toda la actividad de investigación de la que derivan los desarrollos que las empresas llevan al mercado.

Los vínculos con el grupo de la UABC han permitido que la red social de IBASA se vea fortalecida, pues más allá de las relaciones que ha logrado establecer desde Ciudad Juárez con diferentes instancias en los estados, también aprovecha la relación que ha formado con la red del laboratorio Meredith Gould. Esto se observa en el siguiente diagrama.

El trabajo en red ha sido un elemento clave del caso, ya que ha exigido la concertación entre los actores, una agenda de investigación y el establecimiento de acuerdos formales e informales. A pesar de que existe una red de investigación en torno al laboratorio y en torno a las dos empresas filiales de IBASA, al salir al mercado se topan con fuertes limitantes que les impiden llegar al nicho de mercado, que hasta el momento actual es muy específico y reducido.

Sin embargo, también se debe reconocer que los mercados verdes están creciendo en el mundo a tasas superiores a las de los mercados convencionales:

FIGURA 1
Red social IBASA



Fuente: elaboración propia a partir de la entrevista con los socios de IBASA.

El volumen del mercado mundial de productos y servicios asociados al medio ambiente ascendía en 2007 a cerca de 1 400 billones de euros, considerando específicamente a la biotecnología y a la nanotecnología como sectores que contribuyen sustancialmente al desarrollo de las tecnologías ambientales, y situando la previsión del mercado para el año 2020 en más de 3 100 billones de euros, con una tasa anual media de crecimiento del 6.5 %, lo que posiciona a estos mercados entre los más atractivos, prometedores e innovadores en la próxima década (Ihobe, 2011:11).

En México quizá no se ha alcanzado aún esta tasa de crecimiento, pero la demanda en productos derivados de la biotecnología que reducen su impacto sobre el ambiente ha crecido en los últimos años.

En cuanto a la política pública para impulsar y ofrecer incentivos a pequeñas empresas de base científica y tecnológica, se tiene una percepción muy pobre, ya que los programas y el financiamiento que se ofrece resultan insuficientes. En el caso de IBASA y del propio Laboratorio Meredith Gould, su ubicación geográfica ha representado cierta ventaja, pues les ha permitido buscar vínculos en Estados Unidos para solventar la falta de apoyos en el país. Sin embargo, tanto IBASA como el LMG también han participado en las convocatorias de ciencia básica del Conacyt para obtener recursos, si bien con poco éxito; ello se puede explicar no sólo por la dificultad de acceder a recursos dada la gran demanda, sino también por la falta de habilidades de gestión.

Asimismo, los socios de IBASA y Quimera señalaron lo difícil que es conocer con precisión los nichos de mercado a los que deben dirigirse, y sobre todo averiguar cómo llegar a ellos; de ahí que hagan hincapié en la necesidad de capacitarse en el área administrativa y de gestión para manejar adecuadamente su empresa y promover la venta de sus productos.

La trayectoria de la empresa

Conviene señalar que los estudiosos del tema han tratado de diferenciar entre la biotecnología tradicional, relacionada con los procesos de fermentación para obtener productos, y la biotecnología moderna, donde el desarrollo de la biología

molecular, y en particular la modificación genética, marcaron la transformación de las ciencias biológicas en los años ochenta del siglo XX. El impacto que ahora tiene la biotecnología en la vida cotidiana es muy grande; va desde la producción de plantas más resistentes a ciertas enfermedades, hasta la obtención de plásticos biodegradables, detergentes biodegradables, biocombustibles, medicamentos y soluciones a problemas de contaminación de agua y de suelos.

La trayectoria de IBASA, que a continuación describiremos, presenta situaciones muy específicas que podrían diferir de las trayectorias seguidas por las otras empresas que han derivado de la red. Sin embargo, como se verá más adelante, las barreras institucionales a las que se enfrentan son coincidentes en todos los casos.

Con anterioridad a la constitución de la sociedad cooperativa –desde el año 2000– los socios ya participaban en proyectos vinculados a la biotecnología en sus universidades o centros de investigación. IBASA inicia sus actividades bajo la idea de que puede aportar soluciones a los problemas locales relativos a la agricultura y el medio ambiente a través de sus desarrollos biotecnológicos. La experiencia profesional previa de los socios de IBASA se basaba en la realización de estudios de impacto ambiental y análisis de riesgo, y en la construcción de equipos de plantas de tratamiento de agua. En biotecnología se han focalizado en el estudio de las microalgas, en una primera etapa para la elaboración de biodiesel y actualmente para la captura de aceites esenciales, como el omega 7.

Aun cuando la experiencia de los socios fundadores se remonta a más de dos décadas atrás, es posible estructurar la trayectoria de la empresa en tres etapas a partir de su constitución:

- La primera etapa comprende de 2008 a 2012, periodo en el cual se crea la empresa junto con dos filiales, y se logra el registro de las patentes.
- La segunda etapa, de 2012 a 2014. A la sazón se incursiona en el desarrollo de nuevos productos que diversifican su actividad más allá del tratamiento del agua.
- En la tercera etapa, de 2014 a la fecha, se ha fortalecido a la cooperativa mediante la incorporación de dos pequeñas empresas, ello con el fin de posicionarse mejor en el mercado.

Primera etapa. De la creación al registro de patente

Desde su creación en 2008, IBASA se propuso llevar al mercado el fruto de las investigaciones en el LMG así como la experiencia profesional y la experiencia en negocios de los socios. IBASA y dos empresas más que funcionan como filiales –Aí'ta Paso del Norte, dedicada al tratamiento de aguas, y San Patricio FARM (Frutos, Acuicultura y Ranas de México)– conforman en el estado de Chihuahua un grupo dedicado a la biotecnología, la investigación y la ingeniería con aplicaciones a proyectos ambientalmente sustentables y productivos.

En el año 2009 la empresa participa en la convocatoria del Fondo Sectorial de Sagarpa-Conacyt y obtiene recursos para equipar un laboratorio. Debido a que se requería el respaldo de una institución de educación superior, el Laboratorio Meredith Gould se incorpora a las instalaciones de la UABC, donde uno de los socios, el doctor José Luis Stephano se desempeña como investigador.

En este momento se presenta una primera inconsistencia; IBASA era una empresa nueva que inició el negocio ofreciendo la construcción e instalación de plantas de tratamiento de agua anaerobias, y ahora se propone también incorporar en su oferta (a la manera de *spin off*) una serie de productos que derivan de una investigación científica en proceso. Al carecer de una infraestructura propia, de una logística definida y de una curva de aprendizaje que le permitiera acceder de manera directa a dichos fondos a través de su registro al Reniecyt, surge la necesidad de acudir a la UABC para cubrir los requerimientos de la convocatoria. En ese escenario el apoyo obtenido se traduce en equipamiento e infraestructura que queda adjudicada formalmente a la Universidad, lo que establece una doble dinámica para IBASA respecto a su cartera de negocios: puede conducirse autónomamente en la construcción de las plantas de tratamiento de agua (PTA), pero el laboratorio queda en una situación de dependencia en lo relativo al avance en los resultados de investigación sobre productos derivados de las microalgas, como el biocombustible (que nunca se comercializó) y sobre el biofertilizante, que ya se vende a pequeña escala.

Así pues, las capacidades de investigación científica en el tema de microalgas quedaron relativamente limitadas para la empresa, y el proceso se sostuvo básicamente por la red generada con el laboratorio, aun cuando uno de los

socios es quien dirige dicha investigación. En este punto cabe resaltar que el principal socio-científico centra sus actividades en la investigación y por lo tanto no es proclive a impulsar el crecimiento de la empresa, sino que da prioridad a la actividad del laboratorio.

En ese escenario, el trabajo al que se abocaron dos de los socios durante los primeros años fue la construcción de plantas de tratamiento de agua anaeróbicas (PTAR), apoyados en la tecnología desarrollada y patentada por otro de los miembros de su red: el ingeniero Marco Castillo. A diferencia de las plantas aeróbicas tradicionales –basadas en tratamientos con lodos activados que requieren de un uso intensivo de productos químicos, y de energía en el proceso; que generan emisiones de contaminantes al aire y tienen como residuo grandes cantidades de lodos tóxicos para los que no se dispone de sitios seguros para su ubicación final– el sistema anaeróbico ofrece tres ventajas: no necesita aireación, consume menos energía, y no requiere mano de obra calificada.

El proceso biotecnológico patentado que ofrece la empresa es un sistema de tratamiento de aguas residuales basado en la digestión anaerobia como principal tratamiento. Después del tratamiento primario, que separa sólidos y arena, la empresa se diferencia de otras en el tratamiento secundario, donde las aguas son llevadas desde el tanque distribuidor a los reactores anaerobios híbridos de flujo ascendente (RAHFA). El agua que entra a un RAHFA asciende lentamente y entra en contacto con las bacterias (biomasa) que se encuentran dentro y se alimentan de la materia orgánica presente en el agua, la cual es transformada por éstas en biogás (compuesto principalmente por CO_2 , CH_4 , H_2S). La base de este proceso está constituida por un conjunto de bacterias que en ausencia de oxígeno se encargan de descomponer la materia orgánica en compuestos más simples a través de una serie de fases en que se obtienen diferentes productos, una menor cantidad de carga orgánica –una menor contaminación– y, como ya se señaló, la obtención de biogás de buen rendimiento energético.

Una vez terminado su paso por el reactor, el agua es conducida a un post-tratamiento basado en el uso de humedales artificiales con plantas flotantes, lo cual semeja una ciénaga natural. La mayor eficiencia depende de las condiciones climáticas y de la calidad deseada en la descarga. En zonas tropicales se

utiliza la ciénega artificial de lirio acuático, y para zonas frías se implementa el filtro percolador.

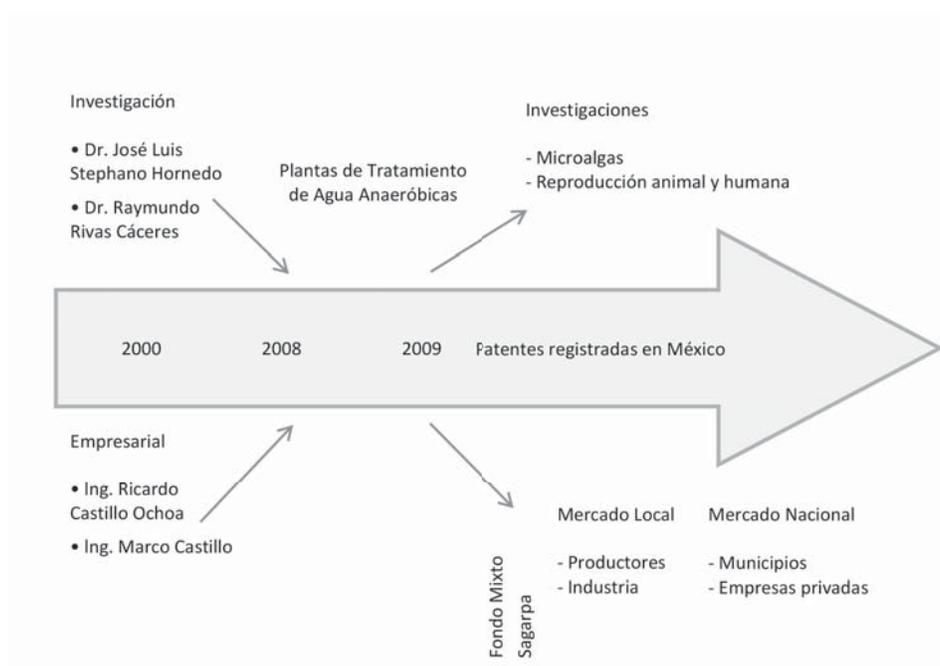
El biogás que deriva de la biodegradación anaerobia, compuesto de metano en un 70 %, se almacena en un gasómetro y puede ser quemado o aprovechado para generar energía calorífica y eléctrica. La empresa promueve el aprovechamiento del biogás como fuente de electricidad por medio de motores generadores, con el fin de que la energía que consume la planta sea abastecida por el mismo sistema.

Por otro lado, la investigación de laboratorio para la obtención de diesel a partir de microalgas, quedó a cargo del doctor Stephano; una vez obtenido el biodiesel se evaluó el tema de rentabilidad para definir si era viable llevar el producto al mercado. Debido a la inviabilidad económica en ese momento, se continuó la investigación en el laboratorio con la finalidad de buscar nuevos productos que pudieran derivar de las microalgas. Esta investigación condujo a un segundo producto, un biofertilizante que, de acuerdo con las primeras pruebas, resultó ser más potente que los fertilizantes convencionales y más rentable por la productividad obtenida.

A la construcción de las plantas de tratamiento de agua se sumó la venta de dicho biofertilizante en el mercado local y regional. Varios elementos se incorporan a esta fase. En lo que se refiere al biofertilizante, se trata de un producto innovador que encuentra un espacio de mercado por cuanto cumple las actuales exigencias de cuidado del ambiente; pero es muy limitado aún y compite con un mercado oligopólico que controla la producción de fertilizantes convencionales con economías de escala, por lo que dichos productos son ampliamente aceptados por los agricultores. De ahí que se perciba como otra barrera la falta de apoyos a las empresas que incursionan con productos ambientales novedosos en mercados tradicionales. La falta de apoyos condena a las empresas pequeñas a desaparecer del mercado.

En la siguiente figura se ilustran las principales características y acontecimientos de esta primera etapa de la empresa IBASA. El registro de patentes de la empresa se refiere a las derivadas del trabajo del laboratorio con la participación de diversos estudiantes que forman parte de la red. Sus resultados se socializan para que las empresas puedan aprovecharlas de acuerdo con sus propios casos.

FIGURA 2
Creación de IBASA



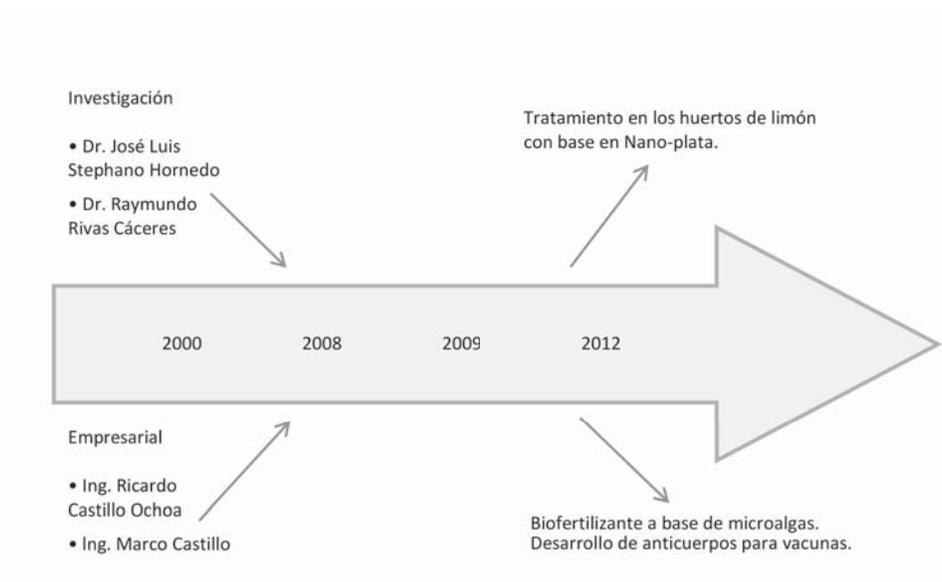
Fuente: elaboración propia.

Segunda etapa. Desarrollo de productos

En el año 2012 la empresa incursionó en el desarrollo de una vacuna basada en la aplicación de nanoplatas para combatir la enfermedad HLB (*huanglongbing*), conocida también como “Dragón amarillo” y que se presenta en los cultivos de cítricos. Esta plaga se detectó por primera vez en México en el año 2009, en árboles de traspatio del municipio de Tizimín, Yucatán; a partir de ahí se ha extendido a 23 estados en cerca de 550 000 hectáreas. Colima es uno de los estados con más problemas, pues se estima que 60 % de sus plantaciones está infectada.

Este proyecto los llevó a trabajar con varios productores de limón en el estado de Colima y a desarrollar una técnica de aplicación de dicha vacuna, con inyección en tronco y aspersión foliar de la nanoplata. Para ello establecieron un convenio con algunos productores colimenses que les permitieron hacer experimentación de esa vacuna para el control de la plaga. Adicionalmente se aprovechó la estancia en el estado para abrir esa zona a la comercialización del biofertilizante, y asimismo se continuó licitando para la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales con la tecnología de Ai'ta (RAHFA) en diversos municipios, principalmente de los estados de Aguascalientes y Veracruz.

FIGURA 3
Desarrollo de productos



Fuente: elaboración propia.

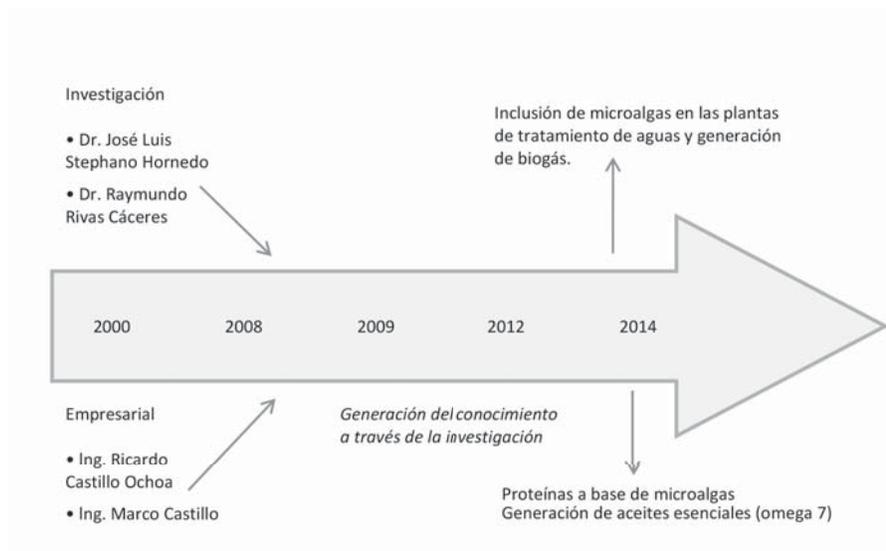
3. Tercera etapa. Fortalecimiento de la Sociedad Cooperativa

La tercera etapa de la empresa Ingeniería Biotecnológica Ambiental Sustentable y Acuícola (IBASA), Sociedad Cooperativa, se considera a partir de 2014, cuando se impulsa otro producto como una de las líneas estratégicas: la instalación de semilleros de producción intensiva de microalgas para la obtención de material vegetativo con potencial productivo para la obtención de biomasa y lípidos a partir de fertilizantes agrícolas y de aguas residuales.

La base de los servicios y productos que ahora se ofrecen, como los semilleros de microalgas, está en todos los experimentos que se realizaron con las microalgas de las costas de Sonora, o con cultivos generados por la UABC, plantel Ensenada. Como resultado de esa etapa de prospección, se seleccionó una microalga marina con mayor contenido de aceites y una alta tasa de crecimiento, la cual es propuesta para el semillero; mientras que en el laboratorio se continúa con las investigaciones. Es a partir del conocimiento científico que se busca generar una oferta que trascienda e incida en el bienestar social.

Las ventajas que ofrecen los semilleros de microalgas son numerosas: se trata de un medio de cultivo barato; se pueden generar líneas estables de microalgas en periodos cortos; demandan un tiempo reducido de recombinación a producción de proteínas recombinantes; poseen una maquinaria compleja para ensamble y plegamiento de proteínas, y presentan bajo riesgo de contaminación por virus que infectan mamíferos. En las últimas investigaciones focalizadas en microalgas se ha propuesto, a algunos clientes, incluirlas en las plantas de tratamiento de aguas residuales; y se ha avanzado también en la investigación sobre nuevas aplicaciones en el sector salud con la generación de aceites esenciales a partir de las mismas microalgas; dichos aceites que podrían muy bien ser un ingrediente en la elaboración de suplementos alimenticios.

FIGURA 4
Fortalecimiento



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales que ofertan se han incorporado RAHFA. Pero este sistema no sólo se ha incorporado a la propuesta de sustituir el lirio por microalga; también se ha integrado en el sistema de producción de energía renovable en forma de biogás, lo que implica hacer la instalación para su conversión en energía eléctrica desde la instalación de la planta de tratamiento. En el siguiente diagrama se pueden observar de manera sintética las características de esta tercera etapa.

Punto catalizador de la transferencia

Los socios que crearon IBASA contaban ya con una experiencia en la investigación o en el campo profesional, de modo que al iniciar sus actividades conjuntas la fusión de saberes implicó por sí misma una transferencia de conocimiento, aunque quizá sea difícil identificarla en un momento específico. Al

parecer tuvieron lugar una creación y una transferencia de conocimiento a la hora de conjuntar experiencias para ir resolviendo los problemas y situaciones que se les presentaban. Además del conocimiento, el capital relacional de los socios ha sido clave; gracias a sus vínculos con distintos agentes y/o sectores que conforman su red de soporte para los productos que ofrecen, han logrado introducirse en un pequeño mercado.

IBASA ofrece actualmente cuatro líneas de productos/servicios:

- Instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales con RAHFA y con potencial para producción de biogás.
- Semilleros de producción intensiva de microalgas para la obtención de material vegetativo, biomasa y lípidos.
- Venta y aplicación de vacunas con base en la nanoplata para combatir la enfermedad HLB (*huanglongbing*) en cultivos de cítricos.
- Biofertilizantes elaborados a partir de microalgas *Dunaliella salina*.

La empresa ha desarrollado una estrategia de publicidad por internet y a través de la red de relaciones que han ido construyendo los mismos socios, lo que le ha permitido avanzar lentamente; se apoya fundamentalmente en el trabajo de investigación del Laboratorio Meredith Gould y en el desarrollo tecnológico patentado de Ai'ta Paso del Norte. Es en este último punto donde se ha generado de manera más contundente la transferencia de tecnología con la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, mientras que con el Laboratorio Meredith Gould lo que ha predominado es el flujo de conocimiento que en realidad nutre a toda la red que se ha formado con los investigadores del grupo del doctor Stephano, egresados de la Universidad de Baja California.

Cabe resaltar que aun con el apoyo que surge del capital social creado, se enfrentan a muchas dificultades para conectarse tan sólo con sus habilidades científicas y desarrollos dirigidos al sector productivo. No sólo se trata de que sus mercados sean de formación reciente; además de sus limitaciones económicas y de que no se han identificado mercados específicos, en IBASA se percibe una falta de capacidades gerenciales y de estrategias de penetración en el mercado.

Por ejemplo, los procesos en los cuales se trabaja para el desarrollo de aceites esenciales a base de microalgas son temas nuevos de investigación que todavía no son apoyados de manera sólida a nivel de política científica. Por tanto, las capacidades de investigación científica en el tema de microalgas están relativamente limitadas y el proceso se sostiene básicamente gracias a la red generada en el laboratorio. No se perciben incentivos institucionales para esta investigación, con la salvedad de que la Universidad otorga la libertad de uso del laboratorio.

Tampoco existe un mercado desarrollado para los productos y posibles derivados de la investigación. La dinámica de un mercado basado en combustibles tradicionales no facilita el desarrollo de nuevas demandas, de modo que las mayores trabas de transferencia de conocimiento están en las siguientes deficiencias: la falta de inversión; la poca confianza de las empresas en los centros de investigación; la carencia de organismos gestores de la vinculación, y la falta de un mercado amplio y claramente identificado.

Conclusiones

Las nuevas líneas y campos de investigación que experimenta la biotecnología en México son abordados por grupos de investigadores en formación y consolidados. Éste es el caso del Laboratorio Meredith Gould de la UABC, que ha concentrado su trabajo en esta área y del que han surgido iniciativas empresariales que están incursionando en los mercados con desarrollos biotecnológicos de punta y/o que abordan problemáticas importantes, como la contaminación de aguas en sectores como el ambiental.

Los esfuerzos hechos para vincular la política científica y tecnológica con las instituciones mexicanas que apoyan a sectores específicos, han generado incentivos para algunas pequeñas empresas. Es el caso de los fondos Sagarpa-Conacyt que otorgaron un apoyo para equipamiento a IBASA. Sin embargo, fuera de ese Fondo, y a pesar de sus gestiones para obtener otros apoyos, la empresa no ha recibido recursos de otras instituciones, como Sagarpa misma, o Conagua, o el gobierno del estado de Chihuahua...; de ello se deduce que la política pública

no ofrece suficientes incentivos para el desarrollo de este tipo de empresas, o que existe una falta de capacidades de gestión de la empresa para allegarse recursos.

En el caso del apoyo recibido por Conacyt, fue muy claro que los trámites burocráticos en esa institución, y la falta de capacidades y habilidades de IBASA, llevaron a ésta a canalizar el recurso vía la UABC, y con ello siguió dependiendo de esta institución de educación superior para la investigación. Carecer de instalaciones propias para la investigación representa una debilidad de la empresa; sin embargo, paradójicamente dicha situación ha convertido la debilidad en una ventaja, al fortalecer su relación con la red de investigadores de dicha institución.

Otra problemática que enfrenta IBASA es que no existe un mercado consolidado para los productos que ofrece, y a ello se suma la carencia de capacidades de la empresa para desarrollar estrategias de incorporación ágil a los mercados existentes. La falta de recursos para lanzar agresivas campañas de publicidad se suma a la falta de capital e infraestructura para realizar de manera autónoma sus actividades de investigación. Desde esta perspectiva se vislumbran pocas posibilidades para el crecimiento.

La pregunta obligada sería entonces: ¿cómo sobreviven empresas pequeñas que incursionan en el mercado con una oferta innovadora y productos de punta que provienen de la investigación científica? Empresas como IBASA han desarrollado una serie de fortalezas que le permiten sobrellevar las barreras.

En efecto, la mayor parte de los socios de IBASA son científicos dedicados a la investigación y cuya larga experiencia les ha permitido ubicar líneas de investigación en nuevos mercados. La empresa forma parte de una red científica que le permite asimismo fortalecer las actividades que se relacionan con la investigación y la transferencia de conocimiento. Otra fortaleza importante es la identificación de una necesidad muy clara que demanda atención urgente en el mercado agrícola: la enfermedad del “dragón amarillo”, con lo que su potencial de crecimiento en las vacunas de nanoplata es alto. Por otro lado, la patente del RAHFA le da una ventaja frente a sus competidores en el tratamiento de aguas residuales, por la calidad del agua tratada, los bajos costos de mantenimiento y el aprovechamiento de la energía generada.

Como empresa de científicos, los retos que tiene por delante IBASA son varios: *a)* adquirir capacidades empresariales para poder ingresar de forma

más contundente en los mercados potenciales, y para administrar de manera eficiente la empresa; *b*) desarrollar habilidades para obtener fondos de apoyo a la I+D; *c*) encontrar otros canales de financiamiento que le permitan crecer; *d*) mantener la relación con la red de investigación y generar esquemas asociativos de operación convenientes para continuar innovando.

Bibliografía

- Blanch, R. (2010), “Biotecnología ambiental. Aplicaciones biotecnológicas en la mejora del medio ambiente”, *Nota de Economía*, 4º trimestre, Barcelona.
- Casal, I., et al. (2004), *Biotecnología y medio ambiente: preguntas y respuestas*, Sociedad Española de Biotecnología, Madrid.
- Cazalet, M., y F. Stezano (2013), *Desafíos internacionales y nacionales para el diseño de políticas en el sector de biotecnología*, vols. I y II, México.
- Ihobe (2011), “Mercados y empleos verdes 2020”, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno vasco.
- Pueyo, J. (2002), “La biotecnología aplicada al medio ambiente”, en *Ciencia y medio ambiente*, Centro de Ciencias Medioambientales-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp. 265-266.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua (2014), Programa Nacional Hídrico 2013-2018, México.
- Trejo, E. (2010), “La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su factibilidad de desarrollo”, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, México.

Fuentes electrónicas

Disponible en <<https://es-la.facebook.com/bioagrojuarez/>>; <<http://www.iagua.es/blogs/.../biotecnologia-ambiental-y-tratamiento-de-aguas>>.

10. BioSolutions: emprendimiento y eco-innovación en bioplásticos

Daniel H. Villavicencio Carbajal y Diana Patricia Rivera Delgado

Introducción

En este capítulo analizamos una empresa mexicana pionera en el desarrollo de bioplásticos generados a partir de residuos orgánicos y de tecnología desarrollada a partir de la vinculación con un centro público de investigación en el norte del país. Comenzaremos presentando un panorama del origen y estatus de los bioplásticos en el mundo. En seguida expondremos la historia de la empresa, así como los detonantes de su producto y sus etapas de desarrollo. En el tercer apartado se describen los puntos catalizadores del aprendizaje bidireccional entre los agentes, así como de la transferencia de tecnología. Por último, se exponen las conclusiones relativas a una historia que en opinión de algunos científicos estaba condenada al fracaso pero que al cabo de dos años demostró ser exitosa.

¿Qué son los bioplásticos?

Durante el siglo XX el consumo de plásticos no cesó de aumentar y diversificarse; prueba de ello son los innumerables objetos y artefactos utilizados en la industria y en la vida cotidiana de la población. Entre dichos productos figuran los plásticos duros o flexibles que se utilizan para generar aparatos electrónicos; los envases para conservar alimentos; bolsas y empaques para un sinnúmero de usos, y las distintas piezas plásticas de los automóviles y los aviones, por men-

cionar sólo algunos. Sin embargo, los plásticos han contribuido de manera importante al deterioro ambiental, tanto por los procesos de su producción como por su desuso, que se traduce en basura que el medioambiente no es capaz de procesar de manera natural. La mayoría de los plásticos no son biodegradables y sólo una parte de ellos puede pasar por un proceso de reciclaje. En virtud de la problemática ambiental que trajo consigo el plástico convencional, hace más de tres décadas aparecieron los bioplásticos, cuya producción y consumo tiene un menor impacto en la huella de carbono y pueden sustituir al plástico convencional en diversas formas y usos.

El bioplástico es producto de una combinación de polímeros químicos con materia orgánica. Los primeros plásticos derivaron de materiales orgánicos y se atribuyen a John Wesley, quien en 1869 creó un bioplástico derivado de celulosa de algodón como sustituto del marfil. Por su parte, Henry Ford utilizó en 1908 aceites de maíz y soja para la fabricación de piezas automotrices. En 1910 Seguéi Lébedev, un científico ruso, creó el primer polímero de caucho sintetizado para reemplazar los plásticos derivados del petróleo. La invención de Lébedev tuvo un efecto inmediato en la economía y el plástico comenzó a utilizarse cada vez más en diversas industrias y en objetos para la vida cotidiana.

El avance en el conocimiento sobre las propiedades y procesamiento del petróleo dio la pauta para la sustitución de muchos materiales naturales por los derivados del petróleo, incluido el plástico. Tras la invención del primer polímero sintético aparecieron muchas variantes de plásticos de diversas características: duros o flexibles; transparentes, opacos o de colores; resistentes a altas temperaturas, etcétera. Con el paso del tiempo los plásticos fueron capaces de sustituir materiales como metales, madera o vidrio, modificando con ello las condiciones de fabricación, los precios y la tecnología de cada vez un mayor número de productos en el mundo.

La crisis petrolera de 1973 puso en evidencia lo problemático que puede ser depender del petróleo para la elaboración de sus derivados, como el plástico, por lo que en 1976 la compañía británica Imperial Chemical Industries (ICI) creó el primer producto que se comercializaría como bioplástico —el llamado

Biopol—. En 1983 éste fue presentado como el primer plástico completamente biodegradable (ZEAplast, 2012). En 1992, la Comisión Federal de Comercio (FTC, por sus siglas en inglés) emitió las primeras Guías Verdes, las cuales esbozaban los principios generales destinados a aplicarse a todas las demandas de *marketing* ambiental y sus especificidades, además de que puntualizó la terminología de biodegradabilidad (Bioplastics Council, 2012).

La Organización Europea de Bioplásticos define dicho material como “plásticos que son biobasados, biodegradables o que reúnen ambas características”. El término “biobasado” significa que el material o producto es (en parte) derivado de algún tipo de biomasa, por ejemplo maíz, caña de azúcar, celulosa, y en algunos casos se puede producir a partir de residuos orgánicos. Por su parte, la palabra “biodegradable” hace referencia a la facultad que poseen algunos materiales para reintegrarse a la tierra por la acción del medio ambiente. Se descomponen en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos como el sol, el agua, las bacterias, etcétera. Así, la cualidad de los bioplásticos es doble: son elaborados a partir de recursos renovables y por lo mismo dejan una menor huella de carbono con respecto a los plásticos convencionales; y su desuso o desecho implica menor daño al medio ambiente, ya que se descompone de manera natural. Hoy en día los bioplásticos se fabrican con materia prima orgánica y renovable a partir almidón de maíz, pero también pueden elaborarse a partir de la papa, la cebada o la avena.

Los bioplásticos son una familia de materiales que pueden variar considerablemente entre sí; actualmente existen tres ramas con características particulares, según la Organización Europea de Bioplásticos. Dichas ramas son:

- Biobasados o plásticos parcialmente biobasados, como el PET (polietileno de tereftalato).
- Plásticos de base biológica y biodegradable, como el PHA (polihidroxialcanoato), que es el de mayor consumo en plásticos biodegradables; es impulsado por su gran uso en embalajes.

- Plásticos que se basan en los recursos fósiles y son biodegradables, como el PBAT (adipato-tereftalato de polibutileno) que se utiliza en los cubiertos y platos desechables.

Los campos de aplicación de materiales y productos bioplásticos han ido en aumento y actualmente su uso puede encontrarse en varios segmentos de mercado, tales como:

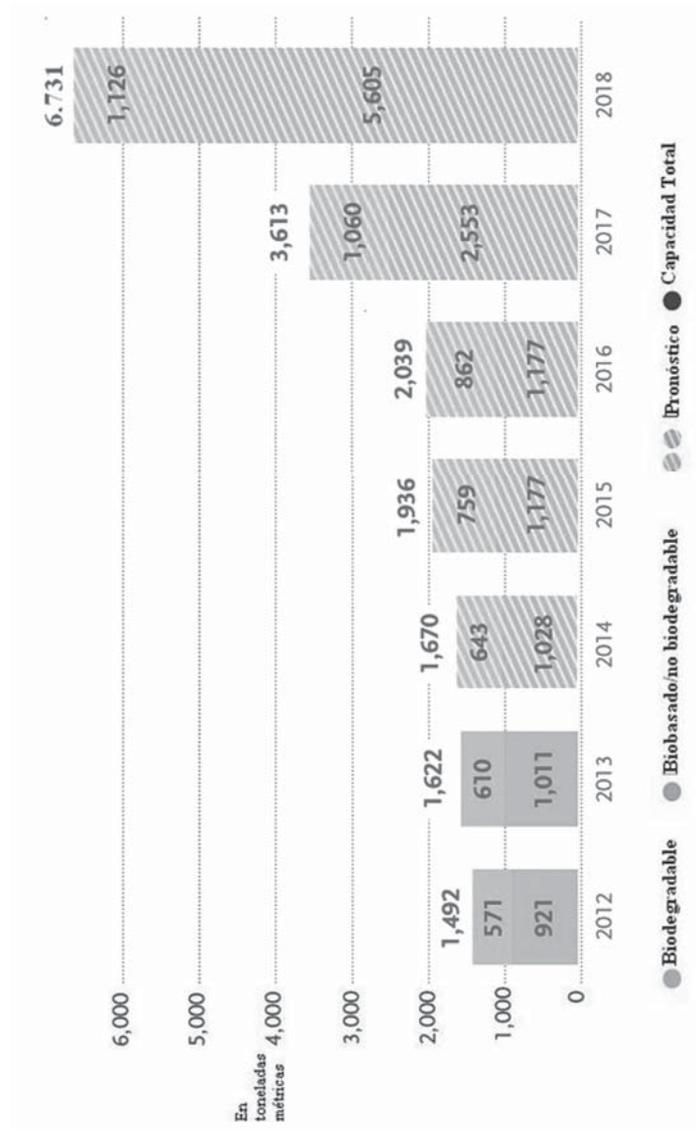
- embalaje;
- alimentos;
- agricultura/horticultura;
- electrónica de consumo;
- automotor, y
- bienes de consumo y electrodoméstico.

Además hay nuevos nichos que comienzan a incorporar los bioplásticos como insumo: la construcción, las fibras y la elaboración de nuevos materiales (European Bioplastics, 2015)

A nivel mundial existen muchos factores que están liderando el cambio hacia este tipo de plásticos. Los consumidores están mostrando un mayor interés por los productos amigables con el medio ambiente, y la sociedad está practicando estilos de vida más saludables. Existen asimismo iniciativas gubernamentales para reducir el impacto ambiental provocado por los desechos industriales y urbanos. Como resultado de lo anterior, las empresas y la sociedad en general demandan cada vez más productos elaborados a partir de bioplástico.

A nivel mundial, el consumo de bioplásticos registra un 1 % con respecto a los plásticos convencionales derivados del petróleo. Sin embargo, la Agencia Europea de Bioplásticos estimó que la producción mundial aumentaría de 798 070 toneladas en 2010 a 1 850 000 toneladas en 2015, y sus proyecciones muestran un escenario que favorece su crecimiento, como se muestra en la gráfica 1 (Bioplastics Council, 2012).

GRÁFICA I
 Capacidades de producción mundial de bioplástico



Fuente: tomado de European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites, nova-Institute (2014).

En México, Salvador Ortega –quien funge como presidente de la sección de los bioplásticos en la Asociación Nacional de la Industria del Plástico en México (Anipac)– menciona que el mercado de ese tipo de productos en el país es pequeño y se encuentra en una fase temprana de desarrollo. No obstante, numerosos actores de la industria del plástico están interesados en el desarrollo tecnológico y de mercado de este tipo de materiales. En el año 2013 se desarrolló en el país el Proyecto de Norma Mexicana para la Industria del Plástico, en el cual se generó la terminología para los materiales bioplásticos cuya intención principal es estimular el desarrollo y la regulación de productos elaborados con dicho material.

América Latina, Brasil y México representan mercados emergentes con grandes oportunidades de desarrollo para el bioplástico, tanto por su capacidad de producción de biomasa como por el consumo industrial y doméstico debido al tamaño de su población. Estos nuevos mercados muestran grandes oportunidades de desarrollo en comparación con las naciones de Europa y Estados Unidos, donde ya existe un mercado para los bioplásticos.

La empresa BioSolutions

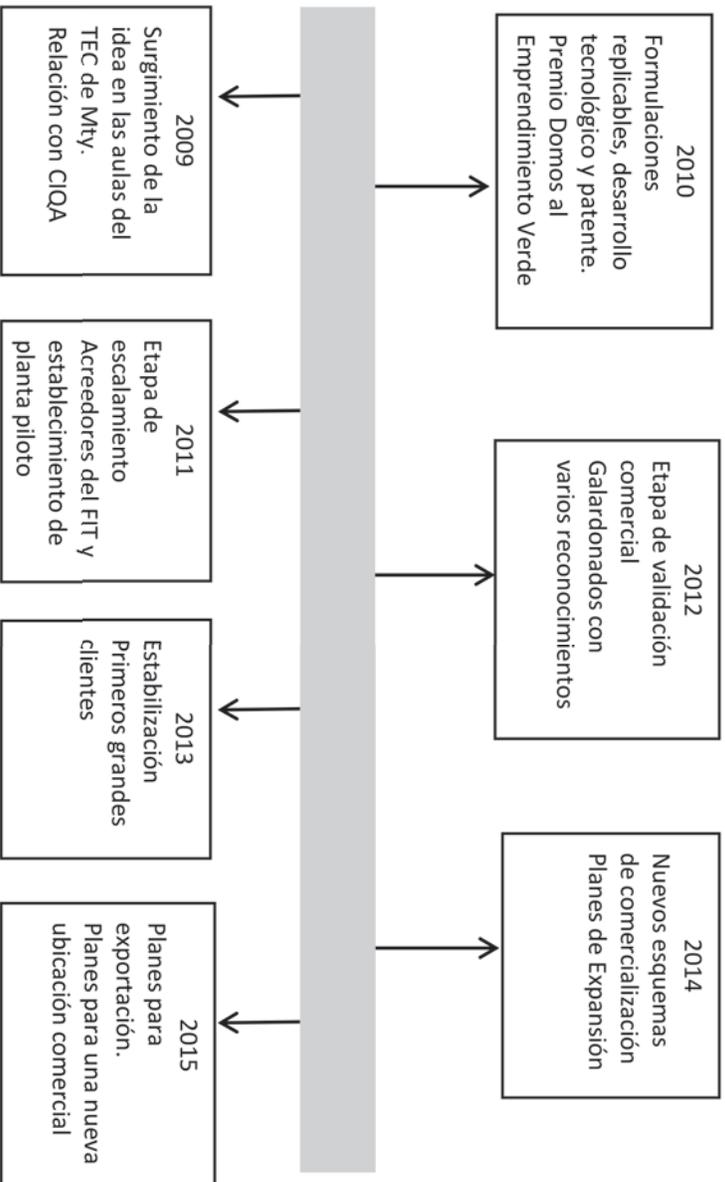
Soluciones Biogradables de México S. A. de C. V. (Biosolutions es su nombre comercial) nace en 2009 como un proyecto universitario en el estado de Nuevo León. Su fundadora, Ana Laborde, estudió la licenciatura en comercio internacional en la Universidad de Monterrey, y en Francia una maestría en negocios internacionales. En 2009 se encontraba estudiando una segunda maestría en innovación empresarial en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) campus Monterrey. En este posgrado los alumnos debían elaborar una propuesta de negocio innovador por un año y llevarla a cabo. La entonces alumna tenía conocimiento de que en el mundo se estaban produciendo plásticos a partir de insumos renovables, es decir, prescindiendo de derivados petroquímicos.

A la sazón en México se tenía muy poco conocimiento sobre los bioplásticos, y tampoco se contaba con muchas opciones de este tipo de productos en el mercado. Esto inspiró el contenido de su propuesta de negocio; con el fin de lograr su cometido, comenzó a investigar más sobre el tema. Al principio tenía la intención de importar la tecnología; sin embargo, los bioplásticos existentes en el mercado estaban elaborados a base de papa y maíz, es decir, de alimentos. Si bien la tecnología era la adecuada y el proyecto resultaba interesante, su origen a partir de alimentos no era compatible con los principios éticos de Laborde; por esta razón ella investigó la posibilidad de utilizar otros residuos orgánicos. Así conoció un material hecho a base de bagazo de caña de azúcar proveniente de Brasil, por lo que se abocó a buscar residuos orgánicos para su posible transformación en bioplástico.

Un familiar que trabajaba en la industria tequilera le había comentado que los desechos agroindustriales de la producción de esta bebida se utilizaban en los rellenos sanitarios. La producción de tequila en el país había ido en aumento en las últimas décadas, por lo que no tendría problemas de abastecimiento de materia prima; de manera que se dispuso a evaluar el material y a considerar su factibilidad como insumo para el bioplástico.

La estudiante Laborde decidió utilizar los residuos de la industria tequilera, residuos cuyo costo era nulo pues no tenían un segundo uso. Como ella no tenía una formación de ingeniera, fue necesario buscar a una persona que pudiera orientarla en el análisis de la materia prima como primera etapa de su proyecto. Al principio la buscó en el seno de su institución educativa, pero en ese momento el TEC de Monterrey no contaba con ningún experto en la temática que pudiera orientarla. Su búsqueda la llevó al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) localizado en Saltillo, Coahuila. La relación con este centro público de investigación fue compleja en un inicio, ya que la idea resultaba poco factible para los investigadores de dicho centro; éstos recibieron con escepticismo la posibilidad de generar un material plástico a partir de desechos orgánicos, pues no era un procedimiento que se conociera o que se hubiese realizado antes en México.

FIGURA 1
Trajectory of the company



Fuente: elaboración propia con datos de la empresa.

Además los investigadores se mostraban reacios y desconfiaban por el hecho de que era sólo una estudiante quien estaba gestionando el proyecto. Hubo afortunadamente una excepción: el ingeniero Juan S. Hernández, miembro del área de investigación Procesos de Transformación de Plásticos del CIQA, decidió ayudarla aunque sólo con el propósito de demostrarle que su proyecto no era factible. El ingeniero Hernández le pidió una muestra del residuo de agave para realizar pruebas preliminares sobre sus características y propiedades. Concedió parte de su tiempo de trabajo y ofreció su equipo de colaboradores y el laboratorio del CIQA sin costo alguno para Laborde.

Los hitos de la empresa BioSolutions

Más allá de la historia particular de la empresaria, para los fines de este libro lo que nos interesa es destacar los incentivos que fueron aprovechados, así como los obstáculos que hubo que sortear para lograr el desarrollo tecnológico y la innovación alcanzados por esta pequeña empresa. En la figura 1 se muestra de manera sintética la trayectoria seguida por la empresa BioSolutions. Las etapas representadas por el esquema se describirán en las secciones que siguen, no sin destacar los puntos catalizadores de la transferencia de conocimientos por parte del ingeniero Hernández.

Primera etapa: la idea, formulaciones y patente

El proyecto inicia con la inscripción a un concurso del TEC de Monterrey que llevaba por nombre “Premio Domos al Emprendimiento Verde”. La idea de un bioplástico ganó el primer lugar, y el premio consistió en medio millón de pesos para desarrollar el negocio. Este recurso permitió contratar formalmente al CIQA para dar inicio al proyecto. En ese momento la empresa contrató a egresados de ingeniería química del CIQA para conformar el equipo de trabajo. La relación que mantuvieron la empresa y el CIQA fue de investigación colaborativa y se logró un aprendizaje por ambas partes. Este tipo de colaboración es poco frecuente, pues la mayoría de las empresas (de todos los tamaños) generalmente contratan servicios tecnológicos y pruebas de laboratorio a los

centros de investigación, por lo que la colaboración tiene un carácter puntual o coyuntural.

La participación del CIQA consistió en realizar el estudio de factibilidad, es decir, el estudio para conocer la biodegradabilidad del agave y poder clasificarle como bioplástico una vez elaborado el prototipo. Para realizar este análisis fueron necesarias varias pruebas y la revisión de la bibliografía sobre el tema, y la experiencia del ingeniero Hernández sobre materiales orgánicos fue de gran valor. Las pruebas se llevaron a cabo durante cuatro meses e implicaron procesos de lavado de la fibra, secado y molido.

Las primeras pruebas se realizaron principalmente con polietileno y se crearon unas láminas con la idea de que sirvieran para termoformar a partir de una película moldeable. Los resultados mostraron que el material era defectuoso, por lo que se procedió a analizar la compatibilidad del producto con el plástico tradicional a través de un mezclado intensivo. Fue a partir de estas pruebas que obtuvieron conocimiento sobre los siguientes temas básicos: las distintas variedades de agave, las temperaturas para su procesamiento y las cualidades de los subproductos obtenidos hasta llegar al resultado del tipo de fibra y el proceso de tratamiento óptimos. Asimismo realizaron pruebas de biodegradabilidad en el Departamento de Microbiología del CIQA bajo normas estandarizadas, y los resultados mostraron que el compuesto era biodegradable en un alto porcentaje.

El producto de BioSolutions. El bagazo de la fibra de agave pasa por un proceso químico mediante el cual es incorporado al compuesto bioplástico que se produce en forma de *master batch*. Éste entra a los procesos comunes de la industria del plástico y permite la fabricación de diversos productos para el consumo industrial o doméstico.

El biocompuesto polimérico (BCP) obtenido reemplaza a los plásticos tradicionales en muchas aplicaciones de uso diario. En efecto, la resina híbrida puede ser utilizada en mezclas con polietileno (PE) y polipropileno (PP) para ser utilizado en la mayoría de los procesos de transformación del plástico: inyección, moldeo soplado, película soplada y extrusión. El bioplástico representaba un producto novedoso para el mercado nacional, por lo que era importante proteger el conocimiento desarrollado a través de una solicitud de patente en

México y Estados Unidos de manera conjunta con el ingeniero Hernández. La solicitud en México fue en PCT, y en Estados Unidos en Oficinas de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO, por sus siglas en inglés). En el momento de nuestras entrevistas (2015) el trámite continuaba su curso sin haber obtenido aún las patentes.

Segunda etapa: planta piloto

Los resultados positivos de la fase de laboratorio motivaron la creación de la empresa. El siguiente paso fue buscar financiamiento para poder invertir en la etapa de escalamiento y edificar la planta piloto. En este periodo la naciente empresa aprendió a desarrollar cada uno de los procesos involucrados en la producción del bioplástico con residuos de agave. El equipo contratado por la joven empresaria fue incrementando sus capacidades: adaptó fórmulas para que fueran funcionales en los equipos; desarrolló tecnología, y mejoró procesos. El ingeniero Hernández, por su parte, fungió como asesor tecnológico durante todo el proceso de instalación de la planta y de los equipos, e incrementó su conocimiento en materiales orgánicos para la elaboración de bioplásticos; al profundizar en el análisis de este material descubrieron que no todas las variantes de agave tienen las características que permiten la elaboración del plástico.

La etapa decisiva y de mayor riesgo para las empresas innovadoras —etapa conocida como el “valle de la muerte”— es el paso desde las pruebas de laboratorio y la elaboración de un prototipo hacia el escalamiento industrial y fabricación de un producto vendible en el mercado. Ello implicó diseñar y construir una planta de producción, así como adquirir el equipo necesario para el proceso productivo. Para lograr este objetivo, Laborde aprovechó los incentivos de la política pública y en 2010 obtuvo recursos del Fondo Nuevo León para la Innovación (Fonlin), recursos que le permitieron adquirir el equipo necesario para el tratamiento del agave.

Además del Fonlin, las convocatorias de los programas federales de apoyo a la innovación del Conacyt ofrecen la oportunidad de obtener una parte de los fondos necesarios para el equipamiento tecnológico de las empresas, para el desarrollo de prototipos, así como para la inversión que exigen las actividades

de investigación y desarrollo. El Fondo para la Innovación Tecnológica (FIT), administrado de manera conjunta por el Conacyt y la Secretaría de Economía, es uno de esos programas, y en 2011 otorgó financiamiento para el desarrollo tecnológico, la compra de las materias primas y la instalación física de la planta de BioSolutions.

Con el apoyo del FIT al proyecto presentado, en cuya elaboración participó el investigador del CIQA, la empresaria procedió a adquirir el equipo necesario para generar un producto. El diseño, fabricación e instalación del equipo para la producción del concentrado estuvieron a cargo de una empresa de Monterrey que Laborde conocía, y el ingeniero Hernández se mantuvo cerca de todo este proceso.

Un aspecto importante en esta etapa fue la definición del producto por comercializar, ya que podía ser un producto terminado o bien un producto intermedio que fuese insumo para otras empresas. En efecto, el bioplástico obtenido podía utilizarse para fabricar envases y empaques con distintos usos y, por tanto, para clientes diferentes; también podía utilizarse para elaborar películas, resinas o *pellets* (pequeños cilindros) que a su vez fueran usados por empresas de inyección de plástico. Sin embargo, la definición del producto implicó más pruebas y ajustes del proceso de producción del compuesto, reducción de ciclos y ajuste de formulaciones de acuerdo con el producto final elegido. Esta etapa duró aproximadamente nueve meses y una vez más fue necesaria la colaboración del CIQA para las distintas pruebas de laboratorio.

En ese punto la empresa había pasado por una etapa importante de aprendizaje, y aunque todavía no había ventas ni ganancias, le fueron otorgados varios reconocimientos que le dieron visibilidad y prestigio:

- Por parte de la revista *Quo* y *Discovery Channel*, recibió la mención de Empresa “Mente Ciencia”.
- Reconocimiento TR 35 Award como una de las 10 empresas más innovadoras de México. Este premio le fue otorgado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés).
- 3er lugar mundial en la Competencia Global de Emprendimiento, por Biz Barcelona.

- Reconocimiento como uno de los Emprendedores destacados de la región, por Alta Ventures.
- Primer lugar en competencia @Red, por SELIDER / TEC Mty.

Tercera etapa: producir y aprender a vender

Una vez construida la planta piloto, y estabilizado el proceso de producción, BioSolutions dio inicio en 2012 a la fabricación de un producto destinado al mercado. Para ello fue necesario definir el perfil del cliente al que debía dirigirse el bioplástico; pero al tratarse de un producto nuevo en el mercado mexicano, la tarea no fue fácil.

A partir de las pruebas realizadas y tomando en cuenta las características de los procesos productivos, Laborde había decidido elaborar resina en forma de *pellets* como materia prima para empresas de productos plásticos. Así pues, BioSolutions orientó su esfuerzo de ventas al sector de pequeñas y medianas empresas (pymes) que fabrican diversos objetos de plástico de bajo costo, como bolsas, botellas para envase líquido, material para empaque o publicidad, sillas y bolígrafos, ya que dichas empresas abundan en Monterrey. Sin embargo, la empresaria narra que las pymes llamadas “plasticeras” no mostraron interés en el bioplástico.

Los procesos productivos de estas pymes son tradicionales; muchas usan tecnología obsoleta y la mayoría de los empresarios que A. Laborde visitó supusieron que el bioplástico podía averiar su maquinaria o que implicaría invertir en nuevos equipos para las líneas de producción. A pesar de que acudió a eventos y entrevistas individuales, de que tocó muchas puertas y promovió por diferentes medios el bioplástico —y a pesar de que los costos de producción de los “plasticeros” no se incrementan ni es necesaria nueva maquinaria—, no fue posible convencerlos de las bondades del bioplástico.

En el contexto internacional, la industria de compuestos poliméricos con biomasa está en crecimiento; pero no es ése el caso del mercado mexicano, en parte por los bajos precios de los derivados del petróleo, y en parte por la falta de normatividad sobre aspectos del cuidado del medio ambiente. Por ello BioSolutions no encontró clientes para sus *pellets* de manera inmediata.

Ese año la empresaria cursaba la maestría en comercialización de ciencia y tecnología en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (Cimav) en la ciudad de Chihuahua. Los conocimientos adquiridos en el posgrado fueron útiles para diseñar el modelo de negocio y las estrategias de venta, pero sobre todo aprendió que los clientes potenciales debían compartir la preocupación por el cuidado del medio ambiente, ya que es el principal atributo del bioplástico.

La empresa Fagro, dedicada a los productos agroquímicos y ubicada en Ramos Arizpe, Coahuila, tuvo conocimiento de la oferta de BioSolutions debido a que su fabricante de envases de polietileno le había comentado a uno de los directivos que en Monterrey existía una empresa que producía resina de agave reciclado. Como Fagro estaba por poner en marcha una línea de productos biodegradables y quería disponer de un envase de bioplástico, podía hacer más atractivo el producto desde el punto de vista de la mercadotecnia.

Una vez que el bioplástico tuvo las características necesarias para elaborar las botellas que Fagro requería, esta empresa solicitó a su proveedor de envases que utilizara el material para la fabricación del recipiente del bio-fertilizante. BioSolutions encontró así no sólo a su primer cliente sino al más importante, pues hasta la fecha todos los envases de los distintos productos de Fagro están hechos con la resina de bioplástico. De acuerdo con la entrevista que realizamos al gerente de Compras de Fagro, un aspecto que debemos resaltar es la oportunidad de negocio que descubrió la empresa en los envases biodegradables, lo que la diferencia de sus competidores y le facilita la entrada a mercados extranjeros que cuentan con normas más severas de protección ambiental.

Con la experiencia de Fagro, Laborde se percató de que estaba enfocando equivocadamente su mercado: sus potenciales clientes no eran los “plasticeros” que fabrican envases o empaques, sino los clientes de éstos, ya que pueden solicitar a sus proveedores que los artículos de plástico sean elaborados a partir de la resina de BioSolutions. Bajo esta idea, la empresa ha incrementado y diversificado su cartera de clientes en Nuevo León.

Cuarta Etapa: consolidación

En el año 2013 la empresa comenzó a fabricar *pellets* en gran escala, y a fines de 2015 contaba ya con 15 clientes permanentes: desde empresas que fabrican productos promocionales de plástico hasta las que elaboran envases para productos líquidos o sólidos, bolsas y empaques, e incluso empresas de productos alimenticios como la Zwan del grupo Qualita Alimentos. Esta última pidió que se desarrollara un bioplástico para un empaque de jamón. El cliente realizó distintas pruebas al prototipo, sobre todo las relacionadas con la conservación del alimento, y resultó que incluso el color que le da el biopolímero (café claro) alarga la vida en anaquel. De manera que Zwan se convirtió en un cliente más de BioSolutions.

Envases Plásticos del Norte (EPN) es una empresa que se dedica a fabricar distintos tipos de empaques para el mercado nacional. Bajo principios de responsabilidad social y ambiental, la empresa buscó proveedores de plásticos biodegradables y fue así como se convirtió en cliente de BioSolutions, tanto por la calidad como por el costo de la materia prima. En efecto, de acuerdo con la entrevista que realizamos a uno de los directivos de esta empresa, un proveedor anterior localizado en la zona del Bajío y cuyo biocompuesto es elaborado con biomasa de otro vegetal, no era capaz de mantener el mismo nivel de calidad en los distintos lotes que vendía a EPN, por lo que esta empresa dejó de comprarle y comenzó a importar material de Estados Unidos, hasta que conoció la materia prima de BioSolutions.

Otro cliente destacado de BioSolutions es la empresa 3M, de Estados Unidos, la cual solicitó un bioplástico para fabricar una escoba bajo la marca Scotch-Brite. El material de la empresa es utilizado para sostener las cerdas de la escoba en una pieza de bioplástico inyectada cuyo color se asemeja al de la madera. La escoba se vende en Estados Unidos, donde la sociedad civil demanda cada vez más materiales amigables con el medio ambiente; y aunque también han comenzado a comercializarla en México, la demanda es poca todavía. Así, BioSolutions tiene actividad indirecta de exportación a través de la materia prima que vende a esta empresa para la fabricación de las escobas.

De 2014 en adelante las ventas han ido en aumento, tanto por el mayor volumen de compra de sus clientes como por la aparición de nuevos clientes. Estos últimos son fabricantes de productos plásticos y desean incursionar en mercados de exportación que exigen productos amigables con el medio ambiente. En México existen pocas empresas dedicadas al sector de bioplásticos; las más grandes son de origen extranjero y se dedican exclusivamente a la distribución del material. Entre las empresas mexicanas tenemos a Biorene del grupo Resirene; ubicada en Tlaxcala, ofrece un compuesto elaborado a base de almidón de maíz. También existe una empresa llamada Biofase, la cual se encuentra en periodo de incubación y desarrolla un bioplástico a partir de semillas de aguacate. Esta empresa ha seguido el mismo camino que BioSolutions, pues el ingeniero del CIOA funge como su asesor tecnológico.

Actualmente BioSolutions cuenta con tres líneas de productos:

- Compuesto de polietileno lineal de baja densidad para la fabricación de bolsa de camiseta.
- Compuesto de polietileno para generación de envases de productos higiénicos y del biofertilizante de Fagro.
- Compuesto de polipropileno para inyectarse en piezas como la escoba Scotch Brite, en recipientes de alimentos, en macetas o en productos promocionales.

Los esquemas de comercialización de la empresa son dos:

- Producción integral del bioplástico, la cual implica la fabricación de la resina hasta la transformación. Los clientes son pymes que fabrican productos promocionales, y a pesar de que en este caso los costos de BioSolutions pueden ser mayores que los del plástico convencional, sus clientes buscan el valor agregado del bioplástico.
- Procesamiento y subcontratación (maquila). En este caso BioSolutions recibe resinas de terceros y les agrega un bioplástico hasta en un 40%. Este esquema está dirigido a empresas con importantes volúmenes de producción que buscan reducir costos aprovechando el biocompuesto.

Buena parte de los clientes de BioSolutions se localizan en Jalisco, por lo que la empresaria se ve en la disyuntiva de mudarse a esa región o, quizá, poner otra planta de fabricación de pellets allá. En esa zona tiene dos grandes clientes que fabrican bolsas y películas plásticas, y un fabricante de productos desechables (cubiertos de bioplástico) que distribuye en Estados Unidos. Asimismo, en Jalisco se localizan sus proveedores de materia prima, por lo que la mudanza permitiría reducir una parte de los costos de producción. En caso de obtener financiamiento para construir otra planta en Jalisco, las instalaciones de Monterrey se transformarían en laboratorio de I+D para desarrollar nuevos biocompuestos. Dicho laboratorio aprovecharía la existencia en la región de centros de investigación tales como el CIQA, Cimav y el TEC de Monterrey, con los cuales la empresa ha ido estableciendo fuertes vínculos de colaboración.

Conclusiones

Por más de un lustro, BioSolutions ha ido construyendo con éxito relativo la trayectoria tecnológica de un producto novedoso para el mercado mexicano. Dicha trayectoria se inició con un proyecto universitario que apuntaba a la producción de un plástico biodegradable fabricado a partir de desechos orgánicos; proyecto que, con el apoyo de un Centro Público de Investigación, pudo materializarse en un prototipo y posteriormente en un compuesto que sería el insumo para fabricar artículos de bioplástico.

Durante el proceso se aprovecharon incentivos derivados de la política pública –un Fondo estatal y otro federal– que permitieron elaborar el prototipo y construir la planta piloto. Sin los instrumentos de política pública, cuyo objetivo es apoyar a las pequeñas empresas, difícilmente se puede incursionar en nuevos senderos tecnológicos y menos lograr que un invento se convierta en una innovación a partir de su comercialización en el mercado. La solicitud de una patente fue asimismo un acierto de la empresaria, ya que la protección del conocimiento otorga ventaja para su explotación industrial.

Otro aspecto positivo que debemos resaltar es la estrecha relación entre la empresa y un centro de investigación durante el proceso de arranque y madu-

ración tecnológica de la idea original. En efecto, las competencias e infraestructura del CIQA permitieron llevar a cabo las distintas pruebas a partir de las cuales se fue perfilando el tipo insumo orgánico pertinente para elaborar un biocompuesto susceptible de convertirse en un producto vendible. En ese sentido consideramos que la vinculación de la empresa con el CIQA permitió la transferencia intensiva de conocimiento, la cual no se restringió a una simple asesoría técnica o a las pruebas de laboratorio, sino que consistió en un acompañamiento permanente a lo largo de las distintas etapas del proceso, desde la idea inicial hasta el producto final.

Debemos enfatizar que el aprendizaje fue de doble vía. Por un lado, la empresaria y su equipo adquirieron conocimientos y desarrollaron habilidades técnicas relacionadas con el proceso de transformación de los materiales, las pruebas y finalmente la fabricación de los *pellets*, así como experiencias relacionadas con la adaptación del producto a la demanda de los clientes. Por otro lado, el investigador del CIQA y sus colaboradoras adquirieron conocimientos sobre un material novedoso elaborado a partir de desechos orgánicos y cuyos principios de elaboración pueden ser replicables para otro tipo de compuesto, dando como resultado una nueva línea de investigación para desarrollar bioplásticos con desechos de otros vegetales.

Sin embargo, la historia de la empresa también muestra las barreras que debió sortear para colocar su innovación en el mercado. La principal de ellas se relaciona con las propias características del mercado mexicano, es decir, con el comportamiento de los agentes ante cierto tipo de innovaciones. En el caso de México, actualmente no existen obligaciones legales o descuentos fiscales que estimulen el consumo de plásticos biodegradables para aquellas empresas que fabrican productos de plástico o que lo utilizan como insumo para otros productos. Por el lado del consumidor final que compra diversos productos de plástico para uso doméstico, el criterio del precio bajo es el que predomina en sus hábitos de consumo; a diferencia de lo que ocurre en países europeos, la cultura de productos amigables con el medio ambiente ha sido poco difundida. Así pues, cabe decir que no existe presión en el mercado para un mayor consumo de materiales como el que ha desarrollado BioSolutions.

En los mercados europeo y estadounidense, las normas y regulaciones en favor de adopciones tecnológicas que protegen el medio ambiente han desempeñado un papel crucial: fomentar la elaboración y consumo de productos a base de materiales reciclados, así como la producción de dispositivos ahorradores de energía, y mediante el aprovechamiento de desechos orgánicos. La situación es diferente en nuestro país; aunque observamos una preocupación creciente por proteger el medio ambiente de parte de los organismos de gobierno y de la sociedad civil en general, las pocas medidas regulatorias existentes para reducir la contaminación en sus variadas manifestaciones tienen un carácter correctivo y punitivo principalmente. En nuestra opinión hacen falta mecanismos preventivos y sobre todo dispositivos institucionales que estimulen el desarrollo y la adopción de tecnologías que contribuyan a impedir el deterioro ambiental. En ese sentido, la ausencia de una regulación en favor de tecnologías amigables con el medio ambiente, representa una barrera para la difusión del biocompuesto inventado por la empresa que hemos analizado en este capítulo.

Bibliografía

- Bioplastics (2012), “Bioplastic Industry Overview Guide”, en *Bioplastics Council*, disponible en <www.bioplasticcouncil.org>.
- European Bioplastics (2014), “European Bioplastic”, en <<http://en.european-bioplastics.org/blog/2014/06/24/bioplastics-industry-gains-further-strength-in-central-and-south-america/>>.
- _____ (2015), “Bioplastics Facts and Figures”, en <<http://en.european-bioplastics.org/>>.
- Organismo Nacional de Normalización del Centro de Normalización y Certificación de Productos (2013), “Proyecto de Norma Mexicana: industria del plástico, materiales bioplásticos-terminología”, México.
- ZEApplast (2012), “ZEApplast productos biodegradables”, en <<http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/historia-de-los-bioplasticos+-+20>>.
- BioSolutions disponible en <www.biosolutionsmexico.com>.

11. Nopalimex y la generación de energías limpias

Graciela Carrillo y Luisa Avendaño

Introducción

El siglo XXI enfrenta el nuevo y complejo escenario marcado por la disminución de las reservas de combustibles fósiles convencionales. M. Aguirre (2012) señala que mientras crece la población y las necesidades energéticas los geólogos advierten que el suministro de combustibles fósiles (principalmente petróleo y gas natural) comienza a disminuir; los climatólogos por su parte advierten que el incremento detectado en las concentraciones de los gases producto de la combustión de dichos combustibles fósiles no tiene precedentes.

Las respuestas a esta situación y las búsquedas de alternativas energéticas han sido diversas: desde técnicas doblemente dañinas para el ambiente como el denominado *fracking*, hasta la efervescencia por el desarrollo de las tecnologías limpias.

Entre las alternativas de tecnologías limpias se ubica una línea de trabajo de la biotecnología, la cual, en conjunto, es considerada una de las tecnologías idóneas para fines ecológicos y para solucionar diversos problemas ambientales. Aún hoy sigue siendo utilizada la biotecnología de primera y segunda generación, basada en la fermentación para la producción no sólo de alimentos sino también de combustibles.

En este trabajo se presenta la experiencia de una pequeña empresa dedicada a la producción de derivados de maíz y que incursionó en un proyecto de

generación de energía limpia a partir de un proceso biotecnológico de segunda generación, con la fermentación de nopal y de desechos orgánicos.

La biotecnología y la generación de energía limpia

La biotecnología abarca procesos muy antiguos de fermentación básica, los cuales fueron utilizados para alimentos y combustibles. A partir de los años setenta del siglo XX la biotecnología da un salto importante que la llevó de una dinámica de lento desarrollo de conocimientos a la manipulación de moléculas y a una apertura multidisciplinar que incorpora a la biología celular, la biología molecular, la bioquímica, la genética, la microbiología y la ingeniería química. Estas disciplinas, entre otras, dieron origen a la ingeniería genética.

A pesar del acelerado desarrollo innovador de la nueva biotecnología, subsisten alternativas de solución a los problemas ambientales basadas en la biotecnología de primera y segunda generación. La biotecnología de primera generación se basaba en la fermentación como proceso básico para producir bebidas, alimentos y combustible a pequeña escala y con un mínimo de conocimiento científico. La segunda generación se caracterizó por la utilización de conocimientos científicos y de ingeniería para obtener procesos a escala industrial. Esta generación combinaba la microbiología, la bioquímica y la ingeniería química en la utilización de fermentaciones para fármacos, combustibles, alimentos y procesamiento de desechos (Roca, 2000).

Actualmente la biotecnología ofrece diversas alternativas para la producción de energía limpia, con lo cual adicionalmente se valorizan los residuos urbanos y forestales, o los subproductos domésticos o de ciertas industrias. Algunos procesos biotecnológicos para producir energía pueden ser considerados “clásicos” o de primera generación, como la producción de biogás a partir de aguas residuales o de procesos de descomposición a través de biodigestores. Otros procesos se encuentran en el estado del arte bajo un amplio abanico de lo que se conoce como producción de biocarburantes sostenibles; dicho abanico está basado en tecnologías que van desde la utilización de biomasa azucarada como materia prima, hasta las que utilizan biomasa lignocelulósica o microalgas para el mismo proceso (Ballesteros, Dufour y Marín, 2014).

En México es muy raro identificar proyectos biotecnológicos para la generación de energías alternativas, aun cuando se trate de procesos de primera generación. Por tratarse históricamente de una potencia petrolera, los esfuerzos por desarrollar otro tipo de tecnologías para producir combustibles y energía fueron prácticamente nulos hasta hace un par de décadas. Actualmente –en el marco del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018, el cual tiene como objetivo reducir emisiones de gases efecto invernadero para transitar a una economía competitiva y a un desarrollo bajo en emisiones– se impulsan estrategias y programas que incrementen la eficiencia energética. Ello ha dado lugar al surgimiento de proyectos de investigación en el ámbito académico y en instituciones públicas, así como al surgimiento de iniciativas empresariales de gran escala, como los proyectos de energía eólica, y de pequeña escala, como proyectos de generación de biogás.

A nivel internacional, las fuentes de energía renovable alcanzan ya cerca del 20 % de la generación de energía eléctrica, principalmente en lo que se refiere a las energías solar y eólica. La investigación y el desarrollo de tecnologías en este campo datan de los años setenta del siglo pasado; pero no fue sino hasta los años noventa, en la Cumbre de Río de Janeiro, cuando el tema del cambio climático se retomó en la agenda internacional con mucha contundencia. A partir de ese año se ha insistido en la firma de convenios entre países para reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera, inicialmente en el marco del Protocolo de Kioto y actualmente en los escenarios que apuntan a los años 2020 y 2030. Al respecto, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ha estimado un aumento de las emisiones mundiales de Gas Efecto Invernadero (GEI) de entre 25 % y 90 % los años 2000 y 2030, suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan una posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta 2030 (IPCC, 2007).

El sector energía es responsable de 80 % de las emisiones globales, y se espera que para el año 2020 éstas alcancen un nivel de cuatro gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente por encima de la trayectoria consistente con el objetivo de los 2 °C. Para lograr esta meta es necesario que las emisiones alcancen su “pico” en 2020 y luego comiencen a declinar vigorosamente. En la

COP21, realizada en París en 2015, se aprobó un acuerdo para gestionar una economía baja en carbono, con el compromiso de que será ratificado por 55 países que representan al menos 55 % de las emisiones globales de gases efecto invernadero (Finanzascarbono.org, 2016).

La generación de energía basada en biomasa –también llamada bioenergía– ha mostrado un fuerte potencial para satisfacer una necesidad de energía y también para mitigar el cambio climático. Este tipo de energía generada a partir de cultivos agrícolas o residuos de los mismos, ha generado dos puntos de debate, ya que puede generarse un riesgo en términos de competencia por la producción de alimentos –por suelo, por agua para el cultivo, y por el producto mismo–, y estamos hablando de la segunda generación de la biotecnología; pero la bioenergía también representa una posibilidad de distribuir y llevar la energía en sus distintas formas a comunidades rurales donde el modelo tradicional es económicamente inviable.

Bajo esa lógica de competencia por recursos para la producción de alimentos, la manera en que se ha utilizado tradicionalmente la biomasa también ha sido dañina para el medio ambiente. Pero las nuevas tecnologías –entre ellas la biotecnología de tercera generación– que llevan la biomasa a un proceso bioquímico se han convertido en una posible alternativa debido a las siguientes ventajas: mitigaría los efectos del cambio climático; garantizaría una distribución más equitativa del recurso energético, y ampliaría la cartera de fuentes de energía al incorporarse a la producción pequeñas empresas para satisfacer la demanda local.

Cabe señalar que como casi todos los tipos de energías alternativas en el país a partir de biomasa, éste también presenta sus límites, pues la mayoría de los proyectos que han mostrado su potencial siguen siendo en pequeña escala, como es el caso de los biodigestores, o están a nivel experimental, como es el caso de las microalgas. El reto es promover la generación de biocombustibles y electricidad identificando variedades de cultivos con alto rendimiento que no afecten los ecosistemas y demanden poco suelo y poca agua. Este objetivo no debe incorporar cultivos donde se compita con las necesidades alimentarias de la población. Bajo esa lógica se instrumenta el proyecto de Nopalimex que ha continuación se describe.

Antecedentes de Nopalimex

Nopalimex y el Manjar del Campo son las dos empresas vinculadas al Grupo Empresarial Nopal de Camébaro S.P.R. de R.L. (sociedad de producción rural de responsabilidad limitada). Creado en Zitácuaro, Michoacán, desde el año 2010, este grupo opera en cooperación técnica con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en la producción de biogás y electricidad a partir de la biomasa del nopal.

Al frente del grupo están Rogelio Sosa como propietario, y el ingeniero Miguel Ángel Aké Madera, investigador del Instituto Politécnico Nacional (IPN), como director técnico. Ambos iniciaron en 2007 un proyecto de investigación científica para identificar las aplicaciones óptimas de dos variedades de nopal (esmeralda y chicomostoc) y para probar su utilización en un proceso anaeróbico conducente a la generación de biogás y a su posterior transformación en electricidad. A la fecha se ha invertido en instalaciones a pequeña escala que les permiten la generación de 35.5 kw de energía eléctrica.

La idea de este proyecto surgió de la necesidad de abatir los costos de electricidad y gas utilizados en la operación cotidiana de la empresa tortilladora El Manjar del Campo, del mismo propietario. Se trata de una empresa establecida desde finales de los años ochenta para elaborar y comercializar productos derivados del maíz. El dueño ha buscado diferenciar sus actuales productos de la tortilla tradicional que ofrecía en sus inicios como producto único; desplazó su oferta hacia la elaboración de los siguientes productos: tortilla con nopal, totopos de maíz con nopal, tostadas horneadas, salsas, nopales curtidos y tortillas de harina de trigo, entre otros.

Otra iniciativa que derivó de la misma empresa fue investigar sobre distintas alternativas para reducir costos, optimizar sus recursos y cuidar el medio ambiente. Fue entonces cuando se buscó establecer contacto con distintos actores e instituciones que brindaran asesoría para eficientar sus procesos. Fue así como en el año 2007 Rogelio Sosa conoce al ingeniero Miguel Aké del IPN, en un acto académico en el que discutía sobre los beneficios y ventajas del cultivo del nopal. El ingeniero Aké le comenta sobre su experiencia en la investigación

de ese cultivo y llama su atención hacia una especie de nopal poco común que no sólo podía aportar mayores beneficios a su producción en términos de rendimiento, sino que, de forma paralela, podía ofrecerle otros beneficios, como la generación de energía.

La posibilidad de poder abastecerse de su propia energía para alimentar los procesos que el negocio demandaba —energía que a la sazón representaba el mayor costo de producción—, fue el principal atractivo para que el propietario de El Manjar del Campo considerara la posibilidad de una inversión de carácter tecnológico. Además, la necesidad de la empresa de reducir sus costos de consumo de energía coincide con un interés académico por continuar con una línea de investigación sobre la producción de biogás y su transformación en electricidad.

En el año 2007 surge el proyecto de investigación para la generación de energías renovables con base en la biomasa del nopal. Con un proceso anaerobio sencillo se incorporan dos variedades de nopal; el nopal esmeralda y el nopal chicomostoc. Apoyándose en la infraestructura (instalada en la ciudad de Zitácuaro) con que ya se contaba, y adecuando instalaciones para probar el proceso de generación de biogás, se ponen en marcha una serie de pruebas y mediciones de forma experimental; el empresario tiene un doble objetivo: alimentar el funcionamiento de las tortillerías, y generar combustible para sus vehículos distribuidores; el investigador, con una visión de mayor alcance, tiene varios propósitos: generar energía limpia y renovable para dar respuesta a los requerimientos de los mercados; reducir costos de producción y, de manera gradual, sustituir el uso de combustibles fósiles en pequeñas localidades.

Características de los agentes involucrados

El Grupo Agroindustrial Nopal de Camébaro se constituye formalmente en 2010, con Rogelio Sosa López como presidente de la sociedad; en la dirección técnica está el ingeniero Miguel Ángel Aké Madera, y como asesores especialistas en energías alternativas, el ingeniero José Luis Arvizu Fernández y el doctor Jorge Huacuz Villamar; los dos son investigadores del IIE. La organización surge con el objetivo de producir y utilizar energía limpia, renovable y

sustentable a partir de la generación del biogás, el cual se obtiene de un biodigestor alimentado con nopal. A la fecha la producción de energía se destina únicamente a abastecer una de las empresas del Grupo, por lo que el gran reto que enfrentan en este momento es incursionar en el mercado.

Rogelio Sosa, originario de Zitácuaro Michoacán, trabajó lejos de su tierra natal durante 17 años, periodo durante el cual se empleó en la empresa Vergel y Cía., ubicada en la Ciudad de México. Por problemas de salud se vio en la necesidad de regresar a Zitácuaro a finales de los años ochenta. En aquella época una de sus tías tenía varias tortillerías y empezó a trabajar con ella; más tarde se independiza e inicia por cuenta propia el negocio de la tortillería. La curiosidad por saber cómo funciona una máquina lo llevó a buscar y a transformar continuamente la maquinaria con la que contaba, para adaptarla a sus necesidades, eficientar sus procesos y optimizar sus recursos.

Esa misma inquietud lo llevó al ámbito de la producción, y con la finalidad de renovarlos enriqueciéndolos –para diferenciarse así de la competencia– desarrolló productos originales incorporando a la masa granos, semillas y verduras para fortalecer el contenido nutrimental del maíz y sus derivados. Cuando inició esta labor se percató de la resistencia de la gente ante la modificación del sabor, a pesar de que éste no variaba sustancialmente. En consecuencia diseñó una estrategia para que sus productos inéditos incluyeran nopal, soya, ajonjolí, trigo, linaza, amaranto y semillas de girasol sin afectar el sabor y el aspecto de las tortillas tradicionales. Su última innovación fue incluir chía para mejorar la calidad nutrimental de las tortillas.

Dentro de su línea de derivados del maíz, actualmente ofrece productos que proporcionan fibra y complementan la dieta de los consumidores. No está de más decir que utiliza nopal fresco, para que no pierda sus propiedades. En un comienzo adquiría el nopal en la Central de Abasto, pero la variación indiscriminada en los precios del nopal lo obligó a sembrar su propio nopal para garantizar su abastecimiento y calidad. Después de algunos meses se enfrentó a la enfermedad de la cochinilla carmín, por lo que buscó apoyo técnico en la Universidad Autónoma Chapingo. Ahí solicitó la colaboración de agrónomos para sanear el cultivo, pero los ingenieros que acudieron no lograron resolver el problema. Por ello se buscaron otras alternativas de solución. Fue un

investigador alemán que trabajaba en una planta de Chile y que se dedicaba a los pigmentos extraídos de la cochinilla de carmín, quien halló la respuesta al problema.

Otra de las dificultades a que se enfrentó Sosa fue el alto costo de producción en su empresa, derivado de los precios del gas. Esta circunstancia lo llevó a asistir a eventos y a instituciones públicas en busca de soluciones; así tuvo conocimiento de los beneficios de la biotecnología, a través del proyecto de investigación del ingeniero Aké. Después de analizar la propuesta decidió un par de cosas: destinar parte de sus recursos al cultivo de una nueva variedad de nopal y a la fabricación de un biodigestor, y participar en las pruebas para la generación de biogás y, posteriormente, de energía eléctrica.

El ingeniero Miguel Ángel Aké es egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del IPN. Ha sido funcionario y profesor de la misma casa de estudios, y cuenta con una maestría en administración pública por el Instituto Nacional de Administración Pública A. C. (INAP) y una maestría en administración pública por la Universidad del Desarrollo de Puebla. Fue coordinador de un proyecto de energías no convencionales para generar energía eléctrica mediante un sistema híbrido (solar y eólico) en el Cinvestav de Yucatán. Es director fundador del Centro Regional para la Producción más Limpia del estado de Tabasco, y desde 2009 es coordinador del proyecto de generación de energía limpia a partir de la biomasa del nopal.

El papel de este investigador en el proyecto ha sido crucial, ya que no sólo presentó la primera idea al dueño de la empresa, sino que a partir de su experiencia ha sido asesor permanente y ha logrado vincular a investigadores de distintas instituciones alrededor del proyecto. Uno de los colaboradores clave—contactado por el propio Aké— fue el doctor Jorge Huacuz Villamar, investigador del IIE, quien con su amplia experiencia en el tema de las energías de fuentes renovables les apoyó con asesorías y estudios para consolidar la operación de la planta piloto.

El doctor Huacuz es ingeniero químico por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con maestría y doctorado en ingeniería física por la Universidad de California. Desde 1980 trabaja en el IIE, donde se ha desempeñado como investigador, jefe de proyecto, jefe de departamento

y, desde hace algunos años, gerente de energías no convencionales. Además ha participado en el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, y en la Comisión de Cooperación de América del Norte con el tema de energías renovables.

La etapa del desarrollo de la infraestructura, en una escala relativamente pequeña, ha concluido; asimismo se tienen más de 10 ha de cultivo de nopal chicomostoc y actualmente ya se genera energía eléctrica, la cual será trasladada a una nueva planta tortilladora construida al lado del biodigestor y el transformador de energía. En ese sentido, el proyecto ha logrado avanzar en el aspecto técnico. La inversión ha corrido por cuenta del dueño de la empresa casi en su totalidad, y el trabajo técnico y la asesoría permanente han estado a cargo de los dos investigadores. Sin embargo, a lo largo de casi ocho años el papel que ha desempeñado el ingeniero Aké ha sido clave, pues además de la asesoría técnica ha operado como facilitador del proyecto al contactar otras instancias para que ayuden a promover y financiar la investigación. Tal es el caso de la colaboración que logró en 2008 con la ONUDI y con el mismo IIE.

La trayectoria de Nopalimex

a) Primera etapa: surgimiento del proyecto

La unión de estos emprendedores comienza en 2007, cuando el ingeniero Aké le propone a Sosa una nueva variedad de nopal para sus productos, la cual le representaría mayores ventajas en cuanto a rendimientos y aprovechamiento en su disposición final. Ese mismo año iniciaron un proyecto de investigación sobre las posibles aplicaciones del nopal y sobre las características y virtudes del proceso anaeróbico para la generación del biogás. Un año más tarde, en 2008, se buscó la participación de la ONUDI y del IIE, con la finalidad de afinar el proyecto mediante la experiencia y la técnica de ambos organismos; con ello se logró por primera vez la generación del biogás a partir del nopal a nivel experimental.

b) Segunda etapa: la construcción del biodigestor

La siguiente etapa se inicia en el año 2009, cuando el dueño de la empresa decide hacer una inversión mayor en la plantación de una variedad mejorada de nopal (esmeralda y chicomostoc) en una superficie de aproximadamente 11 ha, así como en la construcción de la infraestructura física para la instalación de un biodigestor en Zitácuaro, Michoacán. Un año más tarde, en 2010, se inició formalmente la generación del biogás para alimentar las líneas de servicio de la empresa El Manjar del Campo.

Esta etapa se vio consolidada con la construcción de una planta demostrativa con capacidad para procesar ocho toneladas de nopal por día; a partir de ella se hicieron las pruebas y mediciones pertinentes para definir el rendimiento —producción de gas—, con la idea de que en un futuro se podría establecer una planta comercial para suministrar biogás a todos los vehículos que se utilizan para la distribución de los productos de El Manjar del Campo.

El proceso biotecnológico desarrollado en Zitácuaro para la obtención de energía mediante la biomasa del nopal, estuvo precedido por varios estudios de factibilidad y viabilidad realizados por investigadores y técnicos del IIE y de la ONUDI, quienes afirmaron que la especie de nopal seleccionada ofrecía un alto potencial si se disponía de las condiciones favorables para su cultivo, como la orografía, la humedad, la temperatura y, desde luego, la asesoría técnica adecuada.

El proceso para la generación de biogás y electricidad desarrollado por Nopalimex en esta etapa, incluía desde la plantación del nopal —con especial atención en las características del suelo y en las condiciones en que se siembra para garantizar su productividad y resultados— hasta el proceso de fermentación dentro del biodigestor para obtener el gas metano que, luego de su traslado al generador, producirá electricidad.

En una entrevista se nos explicó que para el proceso de obtención del biogás y de electricidad, el equipo que se instaló consistía en lo siguiente: una tolva de alimentación de materia prima acoplada a un molino triturador de nopal que conduce —a través de un cárcamo— una bomba de alimentación a filtros de gruesos; un molino triturador de nopal que conduce a la vez a

una válvula de alimentación de agua en una tubería que lleva al biodigestor anaeróbico, cuyo interior incluye un intercambiador de calor al que se acoplan dos bombas diametralmente opuestas. La tubería de salida del biodigestor conduce a filtros de ácido sulfhídrico conectados a un compresor que comunica a lavadores de biogás, y éste se comunica a los calefactores de agua de circulación del biodigestor, a los tanques de almacenamiento, a quemadores o al generador de electricidad.

c) Tercera etapa: la difusión del modelo

En el año 2014 se presenta el proyecto en un programa de televisión. A partir de ese momento empiezan a llamarles de varias escuelas, y algunos productores se muestran interesados en conocer y replicar el modelo en otros lugares del país. La mayor difusión de los productos y del proyecto se logra en 2015. Fue entonces cuando empezaron a participar en distintos eventos sobre ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento.

Una de las iniciativas de Nopalimex ha sido promover una campaña de “plantación masiva de nopal en las grandes urbes”; este proyecto tiene como propósito combatir la contaminación producida por las emisiones de gases de efecto invernadero; al decir del ingeniero Aké, “no se trata de una visión simplista para resolver el problema de la contaminación de las grandes ciudades, sino como una parte importante para reducir el CO₂”. Evidentemente, las expectativas del asesor sobre el proyecto son muy altas. Sin embargo, son muchos los obstáculos que enfrentan las pequeñas empresas para empujar un sector naciente en un mercado globalizado, particularmente en el caso de empresas que promueven innovaciones. Aun cuando éstas no se encuentran en el estado del arte, se topan con fuertes límites relacionados con la escasa inversión del gobierno destinada al sector de la Investigación y Desarrollo (I+D) y con la poca disposición de los inversionistas para canalizar su capital en este rubro.

Otra de las ideas que se ha propuesto impulsar Nopalimex es el fortalecimiento e industrialización del campo a partir de la producción de su propio gas y energía, y en caso de que se genere un excedente, quedaría para la exporta-

ción. Así “se industrializaría el campo, cambiaría los entornos secos y áridos por vergeles; los campesinos tendrían trabajo en sus lugares de origen y no tendrían que migrar”. Se ha vislumbrado también que si la producción de biogás a mayor escala fuera técnicamente viable y económicamente rentable, los clientes potenciales estarían claramente identificados; éstos podrían ser cementeras, ladrilleras y todas aquellas empresas que consumen grandes cantidades de gas y, por eso mismo, producen altos niveles de contaminación.

Entre las acciones concretas relacionadas con el proyecto, actualmente se produce biogás y energía eléctrica como insumos para la producción de tortillas de la empresa El Manjar del Campo. Los volúmenes hasta hoy producidos no son suficientes para salir al mercado.

d) Cuarta etapa: los planes para el futuro

En 2015 se inició una etapa de divulgación del proyecto para vender el modelo a otras regiones y municipios del país, con la finalidad de producir un impacto local e incluso global. Nopalimex está diseñando la estrategia “Plantación masiva de nopal en las grandes urbes para combatir la contaminación producida por gases de efecto invernadero”. Un aspecto importante que promueven es el cultivo de extensiones grandes de nopal, ya que según algunas investigaciones se ha comprobado que el nopal, durante la noche, absorbe el bióxido de carbono (CO_2) y lo convierte en ácido málico, el cual es fácilmente metabolizable por los microorganismos y proporciona energía al cuerpo cuando se consume.

En esta fase se proponen también vender el proyecto para generar gas y electricidad en comunidades rurales e indígenas replicando el modelo de la planta generadora de electricidad y gas a partir de biomasa del nopal, con dos objetivos: que las comunidades gocen de servicios de electricidad y gas para el desarrollo de sus actividades, y que se pruebe y en el futuro se consolide un modelo de energía sustentable basado en el uso de la biomasa.

Asimismo se proponen continuar con la investigación e impulsar la producción de etanol y biofertilizantes. En el caso del bioetanol, Nopalimex ya ha probado que se pueden producir 13 000 litros por hectárea de nopal a nivel de laboratorio. Este proyecto fue presentado en 2015 ante la Secretaría de Energía

y se está en espera de conseguir fondos y financiamiento lo mismo para echar a andar el proyecto en el sitio que para continuar con los estudios de productividad, de mercado y de factibilidad económica. Los resultados positivos permitirían culminar la fase con la obtención de un biocombustible y la sustitución de la gasolina por un combustible no contaminante. Adicionalmente, el proceso de generación de biogás con nopal genera residuos llamados bioles, que con un proceso mínimo se convierten en biofertilizante cien por ciento orgánico (Aké, 2014).

Relevancia y vicisitudes del proyecto

Los ejes que han permitido la conformación de proyecto son tres:

- la postura abierta del dueño de las empresas a nuevas iniciativas que diversifiquen el negocio y la disposición a invertir;
- la experiencia y el espíritu investigador del director técnico en lo que se refiere al área de las energías alternativas, y
- la visión de ambos para vincularse con las instituciones de investigación que les han apoyado en el enriquecimiento del proyecto; en particular es destacable su acercamiento al doctor Jorge Huacuz, cuya asesoría permanente ha sido relevante en la transferencia de conocimiento; y a ello se suma el respaldo institucional de la Unidad de Energías no Convencionales del IIE, de la cual el doctor Huacuz es director.

Por lo que se refiere a apoyos al proyecto así como a los requerimientos que han debido atenderse para realizar investigación en laboratorio, se consiguió la colaboración y el respaldo del IPN, de la Universidad Autónoma Chapingo, de la Universidad Tecnológica de Netzahualcóyotl y del mismo IIE, con el cual se mantiene vigente un convenio de colaboración.

Por otro lado, ha sido importante la búsqueda de un respaldo financiero y de la asesoría técnica y comercial con organismos nacionales e internacionales del sector público, como la ONUDI, la Secretaría de Energía (Sener) y la

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), aunque en términos financieros esta labor ha sido poco exitosa.

Otro importante vínculo para el proyecto ha sido la conexión con los medios de comunicación; este nexo ha sido crucial para la difusión del proyecto, de las empresas y del Grupo Empresarial del Nopal, por cuanto ha dado lugar a la idea de vender el modelo de generación de energía a partir de biomasa a otras regiones donde sea viable el cultivo del nopal.

El contexto en que se ubica el proyecto impone un primer reto desde el punto de vista técnico, ya que se ha visto que las posibilidades de generar energía a partir de microorganismos son limitadas; Según A. Blanch, “muchas de las propuestas se han quedado a escala experimental de laboratorio o como mucho en ensayos de planta piloto [...] no obstante hay aportaciones en lo que se denomina la bioelectricidad mediante los generadores microbianos de energía de una escala muy modesta” (A. Blanch, 2010).

También se ha avanzado en procesos donde se utiliza el metabolismo microbiano para producir gas metano, el cual constituye la base para la generación de electricidad en el modelo seguido por Nopalimex.

En relación con el entorno económico y las posibilidades de innovación, las energías renovables son una oportunidad para la creación de pequeñas y medianas empresas potencialmente generadoras de una oferta local, de nuevos empleos y de un mayor desarrollo científico y tecnológico. Esta escala de producción ya se ha experimentado en países del norte de Europa.

En este sentido, existen diversos estudios que refieren a procesos biotecnológicos para la producción de biocarburantes; señalan que los de primera generación suponen menores emisiones de gases de efecto invernadero (entre 35 y 50 %); y los biocarburantes producidos usando tecnologías de segunda generación podrían disminuirlas prácticamente al cien por ciento. A pesar de ello, los estudios dicen que en este momento no es rentable producirlos (Ballesteros, Dufour y Marín, 2014).

Se ha considerado que la plantación de nopal ayuda a la retención de suelos en lugares erosionados; esto se apunta como una ventaja más del proyecto. Este cultivo es característico de las zonas áridas (que abarcan 52 % del terri-

torio mexicano) y, excluyendo áreas muy salinas de las costas del norte, sería idóneo para la producción de energía.

En ese contexto pareciera que existen amplias oportunidades para un mercado naciente; por lo tanto, el surgimiento del proyecto Nopalimex –cuya idea innovadora está basada en un proceso sencillo de biotecnología: la generación de gas metano y su posterior conversión en energía eléctrica, con una inversión no excesiva en un biodigestor convencional y una planta transformadora del gas en electricidad– tendría posibilidades de éxito.

Sin embargo, a pesar de las posibilidades de crecimiento Nopalimex se ha topado con todas las dificultades de una pequeña empresa en México, como la falta de incentivos financieros, de equipamiento técnico, de difusión del proyecto para que gane oportunidades de competir en los mercados con grandes empresas que empiezan a incursionar en ideas similares. Algunas de las experiencias en la difusión de su proyecto se han dado a través del Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem) en la Expo Pymes.

La experiencia de Nopalimex en la búsqueda de apoyo técnico y de recursos para financiar y hacer crecer el proyecto, ha sido de altibajos. Ha contado con asistencia técnica del IPN, del IIE y de la ONUDI, pero no así en el tema financiero, donde los apoyos que se han buscado –vía cabildeos en la Cámara de Diputados a través de representantes del estado de Michoacán, y vía convocatorias del Conacyt para financiar proyectos con recursos públicos– no se han conseguido. En 2013 se solicitó incluso un apoyo de la Sagarpa para concluir los trabajos de la planta, pero tampoco les fue otorgado.

Conclusiones

Los procesos biotecnológicos tradicionales datan de décadas atrás; pero los campos que actualmente aborda la biotecnología son más complejos: involucran elementos de corte transdisciplinario y se orientan a dar respuesta a los numerosos problemas actuales; entre ellos sobresale uno que demanda la mayor atención: el del medio ambiente.

El desarrollo científico y tecnológico orientado a la transformación y/o generación de recursos a partir de la acción de los microorganismos biológicos, es una de las principales tendencias de la biotecnología actual, dirigida a atender los problemas ambientales y a proveer de recursos y/o servicios a la sociedad. Hoy en día se reconoce un área específica denominada biotecnología ambiental, la cual busca atender uno de los grandes problemas de este siglo: garantizar las fuentes de agua y de energía.

La atención a la problemática del agua y la energía desde la biotecnología surge en México principalmente en los grupos de investigación consolidados en las instituciones de educación superior y en los centros de investigación. Sin embargo, también existe la experiencia particular de las empresas que con un perfil innovador han incursionado, tanto con recursos internos como con vínculos aislados con expertos, en la generación de desarrollos tecnológicos que den respuesta a necesidades específicas.

Esta vinculación empresa-investigador adquiere diversas dimensiones en función de las características de la empresa y de las capacidades y experiencia del investigador o grupo al que se vinculan, así como en función de la calidad de dicha vinculación. Es sabido que cuando esta experiencia se presenta en empresas pequeñas, la necesidad de recibir apoyos e incentivos públicos se vuelve mayor, dados sus limitados recursos, para consolidar sus proyectos innovadores.

La estrategia actual de Nopalimex se basa en un modelo demostrativo en la ciudad de Zitácuaro, con una superficie destinada al cultivo de nopal de alto rendimiento energético, un biodigestor y dos líneas de salida que proveen de gas metano a otra de las empresas del grupo y a una planta piloto en la que se genera energía eléctrica. Además, se prevé suministrar biogás y etanol a vehículos, al principio de la empresa y posteriormente a cualquier otro diseñado para este tipo de combustible.

Se ha iniciado un plan de difusión de los resultados mediante contactos personales del dueño y el director técnico, llevando el modelo desarrollado a otras comunidades, y ofreciendo la venta de nopal y la asesoría para la instalación y funcionamiento del resto de la tecnología. Sin embargo, como todo proyecto nuevo, éste se ha topado con la dificultad de transferir modelos tecnológicos

alternativos o poco probados que no garantizan aún resultados rentables inmediatos; no obstante, en ese tenor continúa operando la empresa con el abasto local y la oferta del modelo fuera del estado.

La experiencia de esta empresa refleja la problemática a que se enfrentan en México empresas pequeñas que a partir de la biotecnología buscan dar respuesta a una problemática que afecta su rentabilidad pero que también beneficia el ambiente. Como ya se señaló, a pesar de que el contexto internacional, en términos de orientaciones y políticas, es favorable a la aparición de fuentes alternativas para la generación de energía, los incentivos que existen en la política pública nacional son insuficientes, o al menos eso es lo que se observa en esta experiencia.

Los resultados y avances técnicos de Nopalimex en menos de 10 años no han estado libres de los contratiempos derivados de la ausencia de apoyo financiero por parte de organismos públicos; esto se debe a que el enfoque de la política energética en el país está orientado a facilitar la entrada de inversión extranjera en proyectos de gran envergadura y se desestima la posibilidad de proyectos pequeños de impacto local que también representan una alternativa importante, especialmente para la población en condiciones de marginación.

La vertiente biotecnológica del proyecto —el aprovechamiento de la biomasa para generar gas metano y transformarlo en energía eléctrica— es el punto de mayor relevancia que se ha rescatado en este análisis. En una visión optimista, el impacto del proyecto podría ir más allá de lo ambiental y traducirse en efectos sociales y económicos a nivel local, como bajos costos energéticos, nuevos empleos y reforestación de zonas desérticas.

El desarrollo tecnológico hasta ahora alcanzado por la empresa estudiada muestra un potencial importante; pero no hay que perder de vista que la generación de energía a través de estos procesos microbianos presenta límites que quizá con una planta piloto no son visibles; por ello sería importante la vinculación con otros biotecnólogos expertos e investigadores que visualizaran las posibilidades, la rentabilidad y el impacto de este tipo de proyectos en escalas de mercado. De igual importancia sería contar con incentivos fiscales y con programas de apoyo a este tipo de iniciativas innovadoras de generación y distribución de energía a partir de fuentes alternativas amigables con el medio ambiente.

Bibliografía

- Aguirre, M. (2012), “Los combustibles fósiles, la crisis energética y el cambio climático”, en <<http://blog.nuestroclima.com/los-combustibles-fosiles-la-crisis-energetica-y-el-cambio-climatico/>>, consultado el 19 de junio de 2012.
- Aké, M. (2014), *El oro verde de México. El santo grial de las energías renovables: el nopal, fuente excepcional de energía renovable limpia y sustentable*, Sindicato Nacional de Trabajadores de la Educación, México, p. 133.
- Ballesteros, M., J. Dufour, y F. Marín (2014), “Biotecnología para la producción de energía”, en *Análisis Madrid*, disponible en <<http://www.madrimasd.org/informacionidi/analisis/opinion>>.
- Bulletin of the Atomic Scientists* (BAS) (2013), “Clima, alimentos y la energía de biomasa”, *Bulletin of the Atomic Scientists*, septiembre, en <<http://thebulletin.org/node/6490>>, <<http://thebulletin.org/node/6490>>.
- Blanch, A. R. (2010), “Biotecnología ambiental. Aplicaciones biotecnológicas en la mejora del medio ambiente”, *Monográfico*, núm. 183, Cataluña.
- Casals, I., *et al.* (2004), “Biotecnología y medio ambiente: preguntas y respuestas”, Sociedad Española de Biotecnología, Madrid.
- Casalet, M., y F. Stezano (2013), *Desafíos internacionales y nacionales para el diseño de políticas en el sector de biotecnología*, Congreso Acuerdos de colaboración para la innovación: diferentes estrategias productivas y de vinculación para el desarrollo sectorial y regional, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-México, Cd. de México.
- International Energy Agency (IEA) (2015), “Energy and Climate Change”, *World Energy Outlook Special Report*.
- Roca, W. M. (2000), *Introducción a la biotecnología vegetal*, Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Cali, p. 174.

Fuentes electrónicas

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) (2007); “IPCC, Fourth Assessment Report: Climate Change 2007”, IPCC, WMO-UNEP, <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/spms3.html>.

Finanzas Carbono (2016) artículo del día 16 de octubre del 2016, en <http://finanzascarbono.org/noticias_externas/>.

12. Energía termosolar: el caso de Enersureste

Daniel H. Villavicencio Carbajal y Francisco J. Manzano Mora

Introducción

La comunidad académica especializada en eficiencia energética postula que el uso de energías renovables –también denominadas verdes o limpias– es una de las vías más efectivas para contrarrestar los efectos del cambio climático, es decir, los efectos que en el último siglo ha originado el incremento de la temperatura promedio en la Tierra: frecuentes inundaciones, olas de calor y sequías, entre otros sucesos climáticos extremos (The United States Department of Energy, 2001). Los beneficios que resultan de este tipo de energía no sólo se reflejan en el mejoramiento del medio ambiente sino también en algunas variables que inciden en el comportamiento económico de los países, como la inversión y el empleo. En efecto, uno de los reportes más recientes estimó que la inversión global en energías renovables (ER) creció de 39.5 billones de USD en 2004 a 279.6 billones de USD en 2014. Asimismo, el número de puestos de trabajo se duplicó, pasando de tres millones en 2004 a 6.5 millones en 2014. En esa línea, las tecnologías derivadas del uso de energías renovables han creado nuevas oportunidades de negocio que contribuyen, por un lado, a la adaptación y mitigación del cambio climático, y por el otro, al crecimiento económico de las naciones.

Desde hace varias décadas se dispone de tecnologías que almacenan y convierten los rayos del sol en calor o electricidad; dichas tecnologías tienen cada vez mayor difusión y aceptación, principalmente en los países industrializados.

La luz solar es un bien renovable y disponible en todo el planeta; sin embargo, su aprovechamiento como fuente energética implica importantes modificaciones, en diferentes niveles de los sistemas tecnológicos y económicos de un país. La regulación vigente respecto al consumo energético y la disponibilidad de tecnologías de bajo costo para producir y distribuir energía, así como la existencia de mecanismos institucionales que estimulan el uso de ER —como los descuentos fiscales—, son todos elementos que de manera combinada coadyuvan a modificar el comportamiento de consumidores de energía, ya sea con fines productivos o domésticos.

Las reservas de petróleo en nuestro país han sido un gran obstáculo para la difusión y aprovechamiento de las ER, y a ello se suma la falta de dispositivos regulatorios que presionen hacia una mayor eficiencia energética y/o que estimulen el uso de fuentes renovables de energía, como el viento o la luz solar. A pesar de ello, hay un reciente interés por desarrollar capacidades tecnológicas relacionadas con las ER; de ahí que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología haya creado programas de investigación y coadyuvado a la creación de centros de investigación con la finalidad de desarrollar y explotar distintas tecnologías asociadas a las ER. Sin embargo, y como veremos más adelante, en el país existen pocas empresas dedicadas a la distribución de energía solar, a la fabricación de equipos y al desarrollo de tecnología propia que sustituya y reduzca los costos de importación. Desde esta perspectiva, aquí presentamos el caso de una empresa familiar ubicada en el sur del país y cuyos propietarios supieron aprovechar los recursos otorgados por un programa de política pública y las ventajas de crear y mantener una relación con un centro público de investigación.

Tras esta breve introducción, el segundo apartado muestra un panorama general de la energía termosolar tanto a nivel mundial como en el ámbito nacional. En el tercer apartado se exponen algunos datos generales de la empresa y se examina la colaboración con un centro público de investigación de su localidad, así como las fases del desarrollo tecnológico de su producto y tecnología. En el cuarto apartado se describen los puntos catalizadores de la transferencia de tecnología y la innovación, para finalmente presentar las conclusiones del caso estudiado.

Energía termosolar

La International Energy Agency (IEA) define la energía renovable como la energía derivada de procesos naturales (como la luz solar o el viento) que se reponen a una tasa mayor que la consumida. Así pues, la energía solar –al igual que la eólica, la geotérmica, la hidráulica y la obtenida a partir de biomasa– constituye una de las principales fuentes de energía renovable existentes en la Tierra. En esa línea, la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) las cataloga como “formas de energía con una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable”.

De acuerdo con la European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), el principio básico de todo sistema termosolar es simple: la radiación solar es almacenada y el calor resultante es llevado a un medio (o dispositivo) de transferencia de calor. Los dispositivos de transferencia de calor son usados directa o indirectamente. En el primer caso sirven para calentar piscinas; en el segundo, para la liberación de calor dentro de un espacio físico determinado, como los calefactores para hogares. Por lo tanto, la energía termosolar puede ser aplicada a una amplia gama de requerimientos domésticos e industriales.

La IEA ha identificado que pese al establecimiento de plantas de concentración solar en Estados Unidos en los años ochenta, la generación de energía termosolar en ese país sólo ha mostrado un incremento desde 2010. Ello se debe a dos factores:

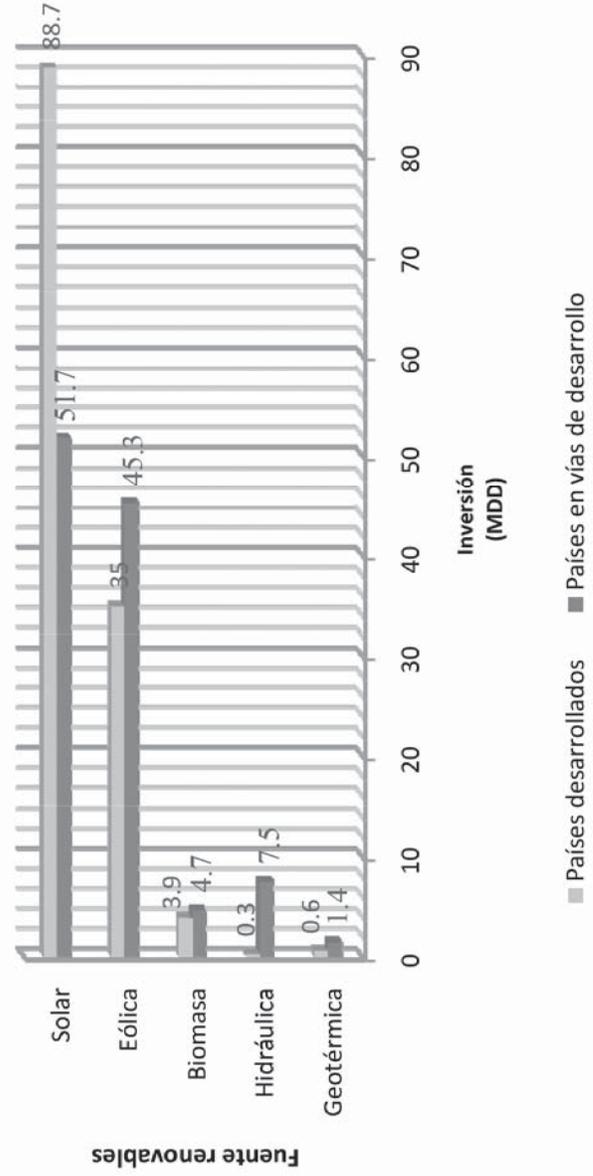
- la enorme competencia en la producción de energía fotovoltaica (es decir, la transformación de la luz solar en electricidad) y en la extracción de hidrocarburos no convencionales asociados a capas de carbón, como hidratos de gas, gas natural y metano, entre otros; y
- la lenta disminución de los costos de operación de dichas plantas. Adicionalmente, las estructuras de los mercados y los marcos regulatorios no han proporcionado facilidades ni la suficiente certidumbre a largo plazo para la construcción de este tipo de plantas (IEA, 2010 y 2014a).

La poca atención prestada a las ventajas que podría ofrecer el uso de energía termosolar en cuanto a la mitigación del cambio climático y al descubrimiento de nuevas oportunidades de investigación y desarrollo (I+D) y de negocio, como la producción de combustibles solares de concentración (señaladamente el hidrógeno), constituye un tema de debate entre algunos organismos internacionales, especialmente europeos, dado el desarrollo del mercado en países como Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Polonia, Portugal y Suiza (IEA, 2014b; ESTIF, 2007 y 2015). Esta cuestión debería adquirir relevancia en México considerando las múltiples oportunidades para sus empresas como piezas clave en la cadena de proveeduría para plantas eléctricas con fines industriales: reflectores, receptores solares, soportes estructurales y servicios de ingeniería. Las oportunidades son mayores en el ámbito de la fabricación y exportación de equipo termoeléctrico; sistemas solares de calentamiento de agua; alumbrado público; refrigeradores, congeladores, radios, y sistemas de recarga de baterías, de acuerdo con el informe realizado por la Secretaría de Economía y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia en 2012.

Ahora bien, la inversión para la generación de energía por medio de fuentes renovables varía de país a país. La gráfica 1 muestra la inversión medida en millones de dólares (MDD) realizada por países desarrollados y en vías de desarrollo en 2012. Los primeros registraron una inversión total de 128.5 MDD, y los segundos una de 110.6 MDD. De igual manera, la mayor inversión registrada fue la realizada en fuentes solares (140.4 MDD), seguida por las eólicas (80.3 MDD), de biomasa (8.6 MDD), hidráulicas (7.8 MDD) y geotérmicas (2 MDD).

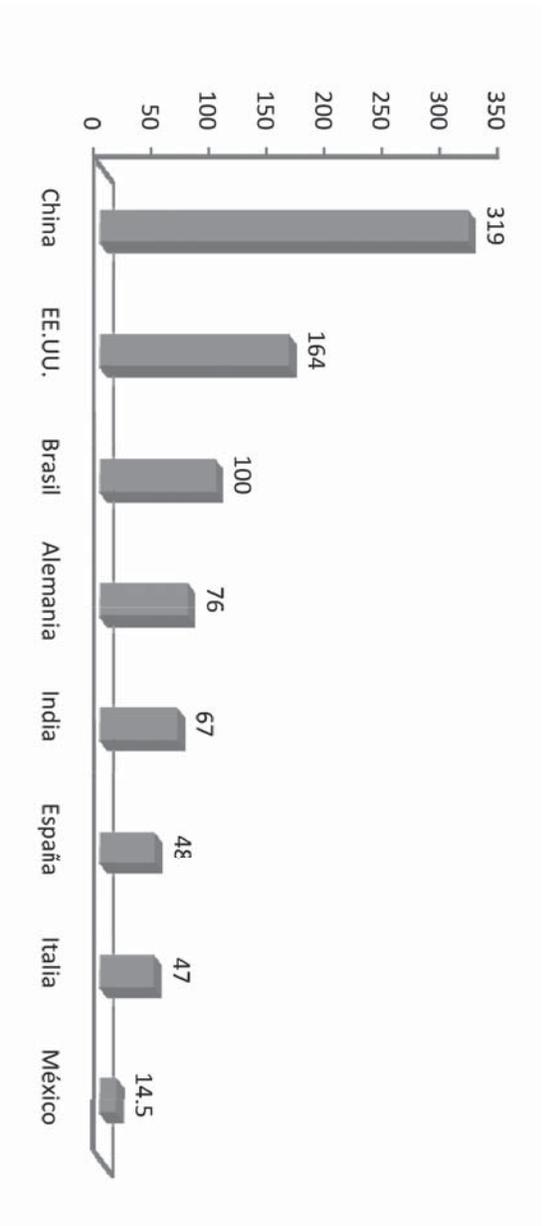
Asimismo, la capacidad instalada que refiere a la potencia nominal o de placa de una unidad generadora medida generalmente en gigawatts (GW), difiere entre países. Con base en el *Renewables Global Status Report* (RGSR) (2013), la gráfica 2 presenta los países con mayor capacidad instalada para la generación de energía por medio de fuentes renovables en 2012. China fue el país con mayor capacidad instalada, superando notoriamente a países europeos y americanos.

GRÁFICA 1
Inversión para la generación de energía por medio de fuentes renovables, 2012



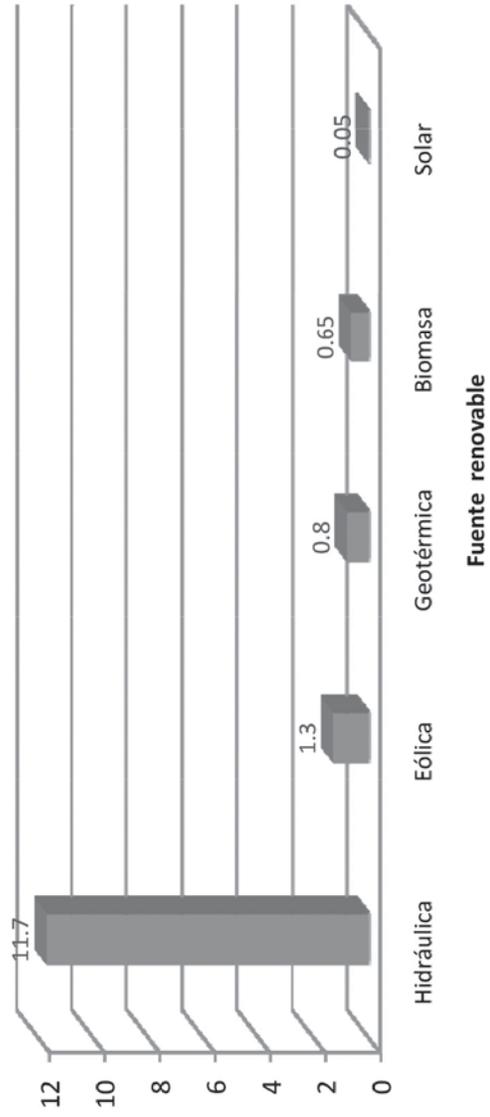
Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Economía y ProMéxico (2013).

GRÁFICA 2
Capacidad instalada para la generación de energía (GW) por medio de fuentes renovables, 2012



Fuente: elaboración propia con base en datos del RGSR (2013).

GRÁFICA 3
México: capacidad instalada en operación y en construcción (GW), 2012



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Economía y ProMéxico (2013).

Por otro lado, la utilización de fuentes renovables en México, entre ellas la solar, ocupa el último lugar para la generación de energía. En ese sentido, el estudio realizado por la Secretaría de Energía (Sener) en 2012 pone de manifiesto la necesidad de redirigir inversiones hacia el aprovechamiento de este tipo de fuentes renovables, considerando la ubicación geográfica estratégica que poseen en el cinturón solar entre el trópico de Cáncer y el de Capricornio. La gráfica 3 muestra la baja capacidad instalada en operación y en construcción para la generación de energía eléctrica a través de fuentes como el sol en México en 2012. Por esta razón no sólo habría una menor producción de electricidad sino también un uso ineficiente de la radiación solar en el país, aun cuando México ocupa el tercer lugar entre los países con mayor recepción de luz solar al año. De manera que con un área de 10 km por 10 km en el desierto se podría generar suficiente energía para todo el territorio nacional.

A pesar del panorama poco alentador en México, la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) ha localizado 18 zonas dedicadas a la divulgación y promoción de energía solar. Dichas zonas se encuentran en los estados de Baja California, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. Asimismo ha identificado un total de 94 empresas involucradas en la transformación de la luz solar en energía para fines industriales. Entre ellas sobresalen las siguientes: Acciona, Abengoa, BOSCH Termotecnología, CANNON Power Group, Energies Nouvelles (EDF), Enersureste, Gamesa, Iberdrola, Kyocera, Sotecsol (Sociedad de Tecnología Solar Avanzada de Tubos Evacuados), Vestas, Vientek y SANYO.

Por el lado de la generación de conocimiento, la ANES ha localizado nueve organismos especializados de investigación de energía termosolar en el país. El cuadro 1 describe su nombre, el área y/o departamento al que pertenecen, la institución de adscripción y su localización. Observamos una concentración de estos organismos en el centro y norte del país, mientras que es observable la poca atención que se concede a esta temática en estados del sur.

CUADRO 1
Organismos especializados de investigación en energía termosolar en México

<i>Organismo</i>	<i>Área/Departamento</i>	<i>Estado</i>
Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California (UABC)	Tecnologías limpias y medioambiente	Baja California
Instituto de Ingeniería, Univ. Nacional Autónoma de México (UNAM)	Mecánica y energía	Distrito Federal
Instituto de Energías Renovables, UNAM	Termociencias	Morelos
Instituto de Investigaciones Eléctricas	Energías no convencionales	Morelos
Sría. de Energía		
Instituto Nacional de Astrofísica y Electrónica	Óptica	Puebla
Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Azcapotzalco)	Estudios de Ingeniería Física	Distrito Federal
Universidad de Sonora	Energía solar y procesos de transformación de calor	Sonora
Laboratorio de Energía Solar, Univ. Autónoma de Baja California	Energía solar	Baja California
Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar, UNAM	Concentración solar	Sonora

Fuente: elaboración propia basada en información de la ANES.

Las ideas expuestas en este apartado dan cuenta de las carencias y oportunidades que existen en México en materia de desarrollo tecnológico en el ámbito de las energías renovables. En otro capítulo se presenta la situación del país en materia de desarrollo de las denominadas Tecnologías de Propósito General, que incluyen las tecnologías ambientales. Los datos que se presentan en ese capítulo muestran que nuestro país cuenta con algunas capacidades de investigación científica y tecnológica; sin embargo, dado el tamaño de su economía, su situación geográfica y su potencial para la generación de energía termosolar, la participación del sector empresarial en el sector es incipiente, por no decir escasa. En ese sentido, la pequeña empresa que a continuación analizamos es un ejemplo de emprendimiento e innovación en un campo tecnológico emergente y con futuro prometedor en México.

Empresa familiar yucateca

Enersureste (Energías renovables del Sureste) es una empresa localizada en el estado de Yucatán. Surge en 2009 con el objetivo de encontrar soluciones a los altos costos de la energía por medio de la utilización de fuentes renovables, como la solar. Carlos Cortés (director general) y Fátima Rocha (directora comercial) son los fundadores de esta empresa, así como de la tienda especializada en productos ahorradores de energía: Energy Depot.

La idea de constituir una empresa fabricante de calentadores solares de vidrio evacuado fue inspirada en gran medida por la novedad que representaba el cuidado del medio ambiente. Su propósito era convertir la luz solar en calor útil para procesos industriales o para aplicaciones residenciales a un bajo costo. Esta tecnología proporciona asimismo alternativas para que las personas desde sus casas pudiesen generar la energía que consumen, democratizando de esta manera el uso de fuentes renovables. Los productos que elabora actualmente la empresa son tres: calentadores solares, paneles solares, y focos ahorradores.

La empresa inició sus actividades comercializando calentadores de agua para productores yucatecos de nixtamal, quienes utilizan agua caliente para su proceso productivo. El servicio vendido abarca desde la instalación hasta la puesta en marcha del equipo. Al principio los calentadores eran importados

de China, pero éstos comenzaron a presentar fallas en el funcionamiento de sus piezas; de modo que los fundadores de la empresa buscaron fabricarlos en colaboración con un centro de investigación público de la localidad. Los resultados fueron alentadores, ya que obtuvieron diseños y materiales que no sólo eran de mejor calidad y duración que los de sus proveedores chinos, sino que se adaptaban a las necesidades del mercado.

El escaso desarrollo del mercado para este tipo de bienes en Yucatán fue una de las causas por las que sus propietarios decidieron montar la planta de producción en la ciudad de Guadalajara, donde el mercado es mayor. Allí se asociaron con una empresa que tenía una cierta experiencia en el desarrollo de calentadores solares, y financiados a través del Programa de Estímulos a la Innovación (PEI-INNOVAPYME) del Conacyt lograron construir su planta de producción, la cual vende aproximadamente entre 2 000 y 3 000 equipos al año.

Sin embargo, a inicios de la presente década el precio del gas y de otros energéticos comenzó a aumentar, por lo que la empresa hubo de enfrentar un reto tecnológico que podía verse desde distintos ángulos: mejorar la eficiencia de los calentadores reduciendo el consumo energético, o implementar dispositivos tecnológicos distintos que redujeran los costos energéticos de los calentadores. Así, la empresa creó en 2011 el Departamento de Desarrollo Tecnológico e Innovación, buscando optimizar el consumo de energía y desarrollar nuevos dispositivos para la apertura a nuevos mercados.

La adopción de celdas solares permite ahorrar 80 % en el consumo de gas mediante el uso eficiente de la radiación solar que calienta el agua que pasa por sus tubos o placas planas y cuyo tanque la almacena. En consecuencia, el consumidor puede disponer de agua caliente a cualquier hora del día, sin importar si se cuenta o no con luz solar.

A raíz de los cambios tecnológicos, las ventas de la empresa se incrementaron. Uno de sus clientes, importante productor de botanas y frituras, requería un equipo para calentar aceite pero que le permitiese disminuir el consumo energético. Ello implicaba diseñar y fabricar un artefacto que tuviese un recubrimiento distinto en los tubos y conectores que se utilizaban para el calentamiento de aceite. Con la intención de satisfacer la demanda del cliente, los dueños de la empresa se dieron a la tarea de buscar una institución académica

que pudiese apoyarles en el desarrollo del recubrimiento. Así se inició la colaboración con un investigador (y con su equipo) de la sede en Mérida del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav).

Fases del desarrollo tecnológico

Una vez identificados los aspectos de mejora de los calentadores solares así como la tecnología asociada a un nuevo producto, las etapas siguientes fueron cuatro:

- vínculo entre empresa y Cinvestav-Mérida;
- aplicación del conocimiento desarrollado en una investigación doctoral;
- construcción de una cámara de inyección al vacío, y
- lanzamiento del producto.

1. Acercamiento al Cinvestav. De acuerdo con nuestras entrevistas, el diálogo empresario-investigador no fluyó como se esperaba durante las primeras reuniones, ya que el “lenguaje” usado por los investigadores era muy técnico y –en algún punto– hasta desconocido por el empresario. La construcción de un diálogo entre las partes es un proceso difícil que requiere desplegar capacidades de aprendizaje particulares y constituye por lo general un momento decisivo para que la relación entre actores de empresas e instituciones académicas pueda ser positiva. Así, en virtud de las continuas sesiones de trabajo y de las discusiones, las necesidades del empresario y las alternativas de los investigadores empezaron a ser mutuamente comprendidas, dando como resultado procesos de interacción, retroalimentación y confianza entre ambas partes. De hecho, con independencia de la comprensión clara de las especificaciones técnicas de un prototipo, del tipo de material requerido, de los tiempos de trabajo y los costos, lo que más importa es la manera cómo la relación que se construye propicia la mutua confianza y algo que podemos llamar retroalimentación cognitiva; es

decir: un constante flujo de información y conocimientos de diversa índole que ambas partes consideran importantes y necesarios para el otro.

El equipo del Cinvestav-Mérida no trabajaba con tecnologías relacionadas con calentadores solares, pero sí con aquellas relacionadas con materiales y recubrimientos absorbentes de calor derivados de diferentes combinaciones de aluminio, níquel y titanio mezclado con óxidos y flúor. Una vez identificada la demanda de la empresa y la oferta del centro de investigación, las partes estructuraron un proyecto que cubría desde el desarrollo de materiales hasta el diseño del prototipo del calentador solar, pasando por la caracterización de las muestras que se obtuvieran.

Ante las potencialidades que tenía el desarrollo de un prototipo para calentadores de aceite a base de energía solar, la empresa sometió el proyecto a la convocatoria 2012 del PEI-INNOVAPYME, con resultados positivos. El apoyo obtenido representó un tercio de la inversión total (10 millones de pesos aproximadamente) que implicó el desarrollo tecnológico. Por su parte, Cinvestav-Mérida estableció con la empresa un convenio de cobro preferente por servicios de pruebas de laboratorio, considerando que se trataba de una empresa aún no consolidada y del desarrollo de un nuevo método o tecnología que representaba a su vez un reto científico y tecnológico para el investigador involucrado y su equipo de colaboradores, entre ellos estudiantes de posgrado.

El equipo de trabajo del Cinvestav estuvo a cargo del doctor Óscar Ares, quien cuenta con experiencia en el área de energía termosolar. Este investigador posee un doctorado en materiales para imanes permanentes por la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de La Habana, Cuba. Desde 2012 forma parte del Departamento de Física Aplicada en donde coordina el área de energía termosolar, la cual se dedica al desarrollo de recubrimientos absorbentes solares para la captación eficiente del espectro solar. Junto con su equipo de investigación ha desarrollado celdas solares y materiales magnéticos para usos del sector productivo.

2. Aplicación del conocimiento del posgrado. La investigación doctoral llevada a cabo por la entonces alumna del posgrado, A. Ríos sobre recubrimientos

para celdas y paneles solares, representó el punto clave de la relación entre la empresa y el Cinvestav-Mérida, así como del éxito del proyecto. En efecto, la investigación de la alumna permitió conocer aspectos de los materiales, su función y tratamiento, y sobre todo la factibilidad de aplicar materia elaborada a base de nanotecnología para su aplicación en los calentadores que buscaba fabricar la empresa.

Así, con los resultados de la investigación doctoral se obtuvieron los elementos centrales del recubrimiento necesario para el prototipo del calentador solar. La alumna consiguió el título de posgrado, y se obtuvo la protección del conocimiento mediante una patente.

3. El diseño y fabricación de los tubos. Para lograr el recubrimiento de los tubos con el material diseñado a raíz de la investigación de la doctora Ríos, era necesario desarrollar un dispositivo novedoso: una cámara que permitiera la inyección del material al vacío, es decir, en completo aislamiento.

El diseño y la fabricación de la cámara de inyección al vacío estuvieron a cargo de un ingeniero mecánico y microempresario conocido por el doctor Ares; El ingeniero G. Barroso, cuya empresa se dedica al mantenimiento e instalación de equipo metalmecánico y electrónico, fue el encargado de estudiar el proceso y las normas requeridas para la fabricación de los tubos al vacío, de acuerdo con las especificaciones propuestas por el equipo del Cinvestav. A pesar de que se trata de un desarrollo novedoso y que puede tener otras aplicaciones, al momento de nuestra entrevista el ingeniero Barroso no había iniciado un proceso de registro de la propiedad intelectual ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI). Según nos explicó el ingeniero Barroso, la falta de tiempo y el costo que representa el trámite han aplazado su decisión de proteger el conocimiento. El riesgo para su microempresa, como para muchas otras que no disponen de los recursos necesarios para llevar a cabo el registro de propiedad intelectual, es que otra empresa pueda realizar ingeniería de reversa, copiar y hasta mejorar la cámara de inyección al vacío de nanopartículas para distintos usos, aprovechando las oportunidades de mercado que ello podría generar.

4. El lanzamiento del producto al mercado. Para esta fase la empresa contó con un área comercial que ya se dedicaba a la venta de varios productos y de diversos modelos de calentadores solares, paneles solares y focos ahorradores. Una vez creado el prototipo del calentador solar que implicó el desarrollo de nueva tecnología, su escalamiento industrial y venta no fue difícil. De hecho, la empresa ya contaba con clientes potenciales que habían solicitado el producto y esperaban adquirirlo apenas saliera al mercado. Hoy la empresa fabrica y comercializa calentadores solares de baja presión con tubos al vacío, calentadores solares con placa plana para alta presión, calentadores solares con tubo *heat pipe* para alta presión, paneles solares portátiles, focos LED, focos ahorradores, focos fluorescentes y regaderas ahorradoras LED.

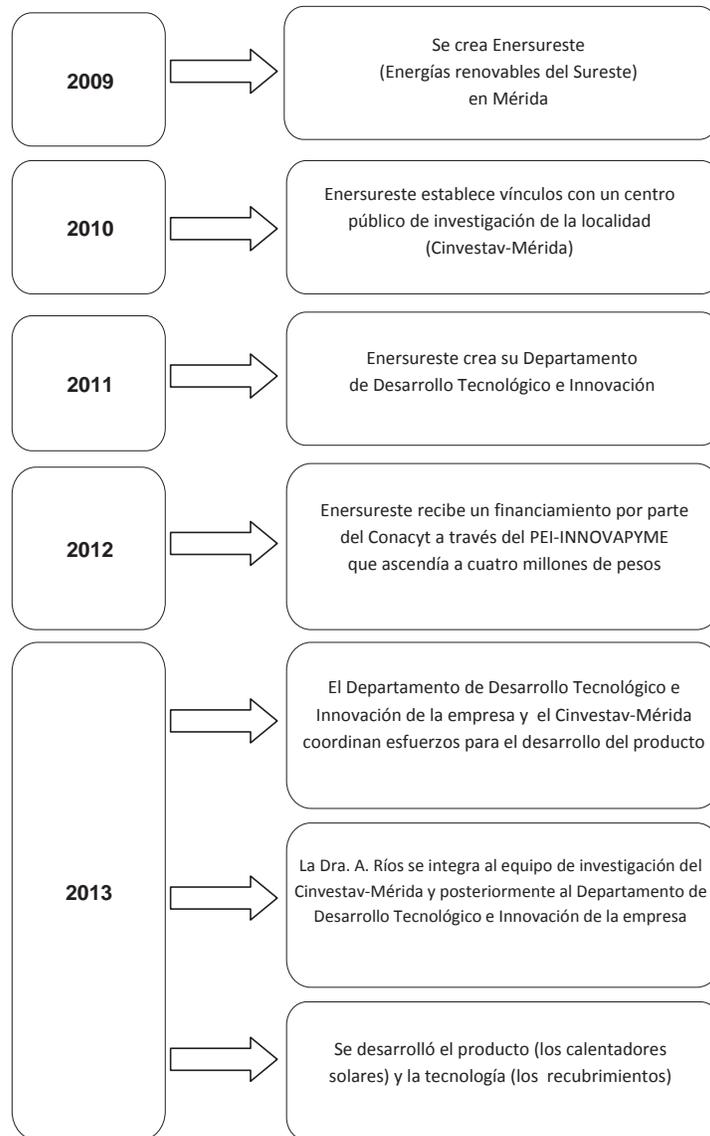
A manera de resumen, la figura 1 ilustra las principales etapas de la empresa, las cuales van desde su creación hasta el desarrollo de su producto.

Aspectos relevantes asociados al éxito

Hay varios aspectos de este caso que nos interesa destacar para comprender la exitosa trayectoria de Enersureste. El primero hace referencia a la naturaleza de la tecnología que movilizó las capacidades de la empresa. Se trata de un dispositivo que consume energía a partir de una fuente renovable y que al mismo tiempo disminuye el consumo energético. En un mercado donde el costo de la energía ha ido en aumento y donde el aprovechamiento de fuentes alternativas y renovables es una necesidad, la apuesta tecnológica de Enersureste resulta ser muy atinada y le brinda oportunidades de participar en un creciente mercado, tanto nacional como extranjero.

Otro aspecto por destacar es la relación de Enersureste con el Centro de Investigación, y también el proceso de transferencia de conocimiento que de ella resultó. En efecto, la relación de intercambio y confianza entre las dos entidades se construyó durante más de un año de mutuos aprendizajes. Pero a raíz del desarrollo tecnológico logrado hubo una derrama adicional, pues la doctora A. Ríos pasó a formar parte del recién creado Departamento de Investigación y Desarrollo de Enersureste.

FIGURA 1
Enersureste: línea cronológica



Fuente: elaboración propia.

Dicho Departamento se encuentra actualmente integrado por cinco investigadores especializados en física aplicada, mecatrónica, modelado, simulación, y análisis de datos y materiales. Su creación es en parte una consecuencia del proyecto realizado con el Cinvestav, pues los dueños de Enersureste se percataron de la importancia que conlleva la innovación para mejorar la posición competitiva de su empresa. En el momento de nuestra visita, la empresa llevaba a cabo diversos proyectos en áreas desarrolladas con las energías alternativas y con la nanotecnología.

Un proyecto de particular interés es el desarrollado con una tela térmica llamada Thermalfit, capaz de mantener la temperatura corporal en lugares con fríos extremos, como EUA, Canadá y los países escandinavos. La tela térmica consiste en poner una película delgada entre dos capas de tela de una chamarra que genera calor absorbiendo la radiación solar y/o artificial y propagándola a todo el cuerpo. En caso de tener poca iluminación solar o artificial, el calor que genera el cuerpo se almacena en la tela manteniendo una temperatura de confort. La Dra. Ríos y un colega suyo del Departamento de Investigación y Desarrollo, han sido los encargados de la creación y lanzamiento de la tecnología de la tela térmica. El Cinvestav-Mérida ha participado igualmente en este desarrollo, ya que los ha provisto de asesoría técnica para la fase de pruebas.

El prototipo de la tela fue desarrollado en 2015, y luego de mejorar sus características y de solicitar el registro de la patente en 2016, la empresa dio inicio a la fabricación de una prenda cuya comercialización se realizó en Canadá y Estados Unidos. La tela térmica es un producto que ha despertado el interés de reconocidas empresas deportivas, como Nike y Columbia Sportswear Company.

Además de su estrecha relación con el Cinvestav, la empresa posee vínculos con otros centros de investigación y con instituciones de educación superior, como el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (Cidesi-Querétaro), el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (Cimav-Chihuahua), la Universidad Metropolitana de Mérida y el Instituto Tecnológico Superior de Progreso. La creación y consolidación de estas relaciones fueron resultado de los diversos proyectos de I+D que ha venido impulsando la empresa; éstos se aprovechan también para que estudiantes de posgrado realicen en ellos parte

de sus trabajos de investigación, siguiendo el ejemplo de la Dra. Ríos. La aplicación de una tesis doctoral impulsó a la empresa a participar en programas como “Jóvenes talentos”, “Incorporación de maestros y doctores a la industria para fomentar la competitividad e innovación” del Conacyt, incorporando así recursos humanos altamente especializados. A pesar de ser una empresa pequeña, el personal está conformado por cinco doctores, cuatro maestros, ingenieros y/o pasantes de universidades locales, y otras tres personas para labores administrativas.

Reflexiones finales

¿Qué lecciones podemos retomar del caso de Enersureste? La corta trayectoria de la empresa y los logros obtenidos dejan importantes enseñanzas sobre las ventajas que ofrecen la vinculación con instituciones académicas y el aprovechamiento de tecnologías emergentes como la nanotecnología y las energías alternativas. Un tercer aspecto que debe resaltarse es el aprovechamiento de los instrumentos de política pública que otorgan financiamiento para desarrollar tecnología o para incorporar talento a la empresa.

Respecto al desarrollo de un calentador solar, fueron las fallas en el funcionamiento de las piezas de los calentadores de importación lo que llevó a la empresa a realizarlo en colaboración con el Cinvestav-Mérida. Este centro permitió sustituir importaciones con un producto de mejor calidad y duración; un producto que además permitió desarrollar una nueva tecnología para producir recubrimientos más absorbentes del calor, así como una cámara de inyección al vacío para aplicar dichos recubrimientos. Digamos que se trata de un triple resultado tecnológico cuyos efectos fueron multiplicadores. En efecto, la empresa empezó a vender sus calentadores solares y el recubrimiento, y a partir del conocimiento adquirido incursionó en otras aplicaciones tecnológicas para otro tipo de productos.

Por el lado de la vinculación academia-empresa, podemos decir que tuvo un carácter integral; es decir: no se limitó a la realización de servicios de pruebas de laboratorio, como ocurre en la mayoría de los casos, sino que consistió en un

diálogo constante cuyo resultado fue la creación conjunta de tecnología. Una “derrama” adicional fue la posterior incorporación de la estudiante de doctorado al departamento de I+D de la empresa, así como la reproducción de ese ejemplo con otros estudiantes de posgrado.

Finalmente, respecto a las políticas de fomento a la innovación en México podemos decir que son relativamente recientes, y aunque se trata de instrumentos de subsidio complementario, son las grandes y medianas empresas las que utilizan los recursos públicos para desarrollar tecnología (Villavicencio, 2009 y 2012). Aquí tenemos el caso de una pequeña empresa que no sólo aprovechó el apoyo de uno de los instrumentos de la política pública en CTI; además supo capitalizar su primera experiencia encadenando sus proyectos y su trayectoria tecnológica ascendente y repitiendo exitosamente la obtención de apoyos de distintos instrumentos de la política pública.

En suma, podemos decir que los aprendizajes de Enersureste se fueron multiplicando, y con ello la empresa pudo mejorar y diversificar sus tecnologías, sus productos y sus mercados.

Bibliografía

- Dutrénit, G., *et al.* (1996), “La vinculación universidad-empresa en un macroproyecto de polímeros”, *Comercio Exterior*, vol. 46, núm. 10, octubre, México, pp. 808-816.
- European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF) (2007), “Solar Thermal Action Plan for Europe Heating and Cooling from the Sun”, disponible en <<http://bit.ly/1f16keQ>> consultado en noviembre de 2015.
- (2015), “Solar Thermal Markets in Europe: Trends and Market Statistics 2014”, disponible en <<http://bit.ly/1OSHcvG>>, consultado en noviembre de 2015.
- Gortari, R. (2003), “La vinculación academia-empresa desde una perspectiva cultural”, en C. Bueno y M. Santos (coords.), *Nuevas tecnologías y cultura*, Universidad Iberoamericana, México, pp. 101-116.

- International Energy Agency (IEA) (2010), “Technology Roadmap: Concentrating Solar Power”, disponible en <<http://bit.ly/1Tofvhr>>, consultado en noviembre de 2015.
- (2014a), “Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy”, disponible en <<http://bit.ly/1zp91C8>>, consultado en noviembre de 2015.
- (2014b), “Technology Roadmap: Solar Thermal Electricity”, disponible en <<http://bit.ly/1nPBqlP>>, consultado en noviembre de 2015.
- Merritt, H., y O. Mandujano (2011), “La innovación industrial en México y su efecto en la vinculación academia-industria”, en B. Méndez, H. Merritt y H. Gómez (coords.), *La innovación en México: instituciones y políticas públicas*, Instituto Politécnico Nacional / Porrúa, México, pp. 71-97.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2013), “Renewables Global Status Report 2013”, disponible en <<http://bit.ly/1fyQJpe>>, consultado en septiembre de 2015.
- (2014), “The First Decade: 2004-2014. 10 Years of Renewable Energy Progress”, disponible en <<http://bit.ly/1oFAtf3>>, consultado en septiembre de 2015.
- Secretaría de Energía (2012), “Prospectiva de energías renovables 2012-2026”, disponible en <<http://bit.ly/1IdEGtf>>, consultado en septiembre de 2015.
- Secretaría de Economía y Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (2012), “Programa de innovación orientada-sector energía solar: aceleración de empresas tecnológicas”, disponible en <<http://bit.ly/1Sm9wgc>>, consultado en septiembre de 2015.
- Secretaría de Economía y ProMéxico (2013), “Energías renovables: unidad de inteligencia de negocios”, disponible en <<http://bit.ly/1FQuOIk>>, consultado en septiembre de 2015.
- The United States Department of Energy (2001), “Renewable Energy: An Overview”, disponible en <<http://bit.ly/29vkNph>>, consultado en septiembre de 2015.
- Villavicencio, D. (2009), “Recent Changes in Science and Technology Policy in Mexico: Innovation Incentives”, en J. M. Martínez (ed.), *Generation and Protection of Knowledge: Intellectual Property, Innovation and Economic*

Development, Comisión Económica para América Latina y el Caribe / Naciones Unidas, Santiago, pp. 263-290.

——— (2012), “Incentivos a la innovación en México: entre políticas y dinámicas sectoriales”, en J. Carrillo, A. Hualde y D. Villaviciencio (eds.), *Dilemas de la innovación en México*, México, pp. 27-72.

Fuentes electrónicas

Asociación Nacional de Energía Solar disponible en <<http://bit.ly/1hZcn4C>>; <<http://bit.ly/1lCoi2j>>; <<http://bit.ly/1QXDbbn>>; <<http://bit.ly/29OMzyf>>.

Emprende disponible en <<http://bit.ly/1PKe1Zb>>.

Energía en México disponible en <<http://bit.ly/1N2mO7b>>.

Energy Depot disponible en <<http://bit.ly/1NKaMAi>>.

European Solar Thermal Industry Federation disponible en <<http://bit.ly/1XhiSp7>>.

International Energy Agency disponible en <<http://bit.ly/1Lseyzy>>.

Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía <<http://bit.ly/1lbTVPB>>.

13. Situación actual de las Tecnologías de Propósito General en México: biotecnología, nanotecnología y tecnologías ambientales

*Francisco J. Manzano Mora, Diana Patricia Rivera Delgado
y José J. Bracamontes Zapién*

Introducción

Las tecnologías de propósito general (TPG) son aquellas cuya difusión puede promover cambios en diversos sectores productivos, con la finalidad de incrementar su productividad y lograr beneficios económicos sostenidos (Bresnahan y Trajtenberg, 1995; Helpman y Trajtenberg, 1998a y 1998b). En el pasado, la máquina de vapor y el motor eléctrico desempeñaron un rol fundamental en el crecimiento económico de distintos países como TPG, similar al que fue desempeñado por los semiconductores y las computadoras en el siglo pasado. Y hoy en día se espera que el dinamismo de la biotecnología, la nanotecnología y tecnologías ambientales contribuyan a generar innovaciones importantes con impacto en diversos sectores de la economía, como la producción de alimentos, las industrias química y farmacéutica, los productos derivados del plástico, la cerámica, las piezas y partes automotrices, la maquinaria y demás.

En esta línea, los países miembros de la Unión Europea, por medio de la Estrategia Europa 2020, han considerado imperativo el dominio y despliegue de las TPG a fin de fortalecer la capacidad europea para la innovación industrial y el desarrollo de nuevos productos y/o servicios; con ello se espera alcanzar

un crecimiento sostenible e integrador. Las TPG que se pretende desarrollar en Europa son seis:

- nanotecnología;
- micro y nanoelectrónica;
- materiales avanzados;
- fotónica;
- biotecnología industrial y
- sistemas de fabricación avanzados.

Los criterios para la selección de dichas tecnologías han estado basados en aspectos como los siguientes: su potencial económico y su valor añadido; su aplicabilidad universal; la intensidad de investigación y desarrollo (I+D) que requieren, y los costos iniciales de inversión (CE, 2011).

El panorama en México es distinto, pues aquí no existe una estrategia que establezca prioridades relacionadas con el impulso directo a las TPG. El país cuenta con programas de política pública que fomentan la innovación y el desarrollo tecnológico en diversos sectores a través de financiamiento a proyectos presentados por empresas. Aunque las convocatorias de dichos programas están dirigidas a sectores prioritarios (entre ellos la biotecnología), la competencia entre empresas por obtener los recursos de dichos programas no conduce necesariamente al desarrollo de las TPG; muchos de los proyectos financiados se relacionan con sectores industriales maduros y de tecnologías intermedias, como el de autopartes, el eléctrico/electrónico y el químico-farmacéutico (Villavicencio, 2012).

Existen diversos trabajos sobre el panorama en México de la biotecnología (González y Quintero, 2008; Trejo, 2010), la nanotecnología (Záyago y Foladori, 2010; Red de Nanociencias y Nanotecnología, 2014) y las tecnologías ambientales (Constantino y Muñoz, 2004; OCDE, 2013). Dichos trabajos analizan las capacidades de investigación científica así como las patentes generadas en esas áreas. El propósito de este capítulo es identificar la dinámica de las TPG a partir de diferentes fuentes de información con datos disponibles de manera pública. Para ello utilizamos datos de organismos nacionales e internaciona-

les, como la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior (ANUIES), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (Inegi), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) y United States Patent and Trademark Office (USPTO).

Enseguida de esta breve introducción, el capítulo comprende tres apartados referentes a la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías ambientales, respectivamente. Por último se exponen las reflexiones finales del trabajo.

La biotecnología

La biotecnología es definida como la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a sus partes, para la modificación de materiales orgánicos e inorgánicos; y su finalidad es producir conocimiento, bienes y servicios. Abarca tecnologías derivadas de la biología molecular (o de “cuarta generación”) así como la biotecnología tradicional. Con base en el análisis de diversos especialistas, Trejo (2010) comenta las cuatro generaciones por las que ha pasado la biotecnología a lo largo de la historia.

La biotecnología de primera generación es la tradicional, de fermentaciones causadas por los productos obtenidos mediante un uso empírico de cultivos fermentativos, lo que posteriormente fue formalizado como tecnología microbiana. La de segunda generación se inició con las fermentaciones industriales asociadas a la producción de compuestos utilizados en alimentación, farmacia y procesamiento de materiales. La de tercera generación —o ingeniería genética— se centra en la manipulación de genes por la tecnología del ADN (ácido desoxirribonucleico). Por último, la biotecnología de cuarta generación es la basada en campos de la biología molecular, como la genómica, la proteómica y la metabolómica.

El esfuerzo que México ha realizado para desarrollar capacidades de investigación científica y desarrollo tecnológico en biotecnología, pasa por identificar un grupo de indicadores que permita reflejar su desarrollo, entre ellos la

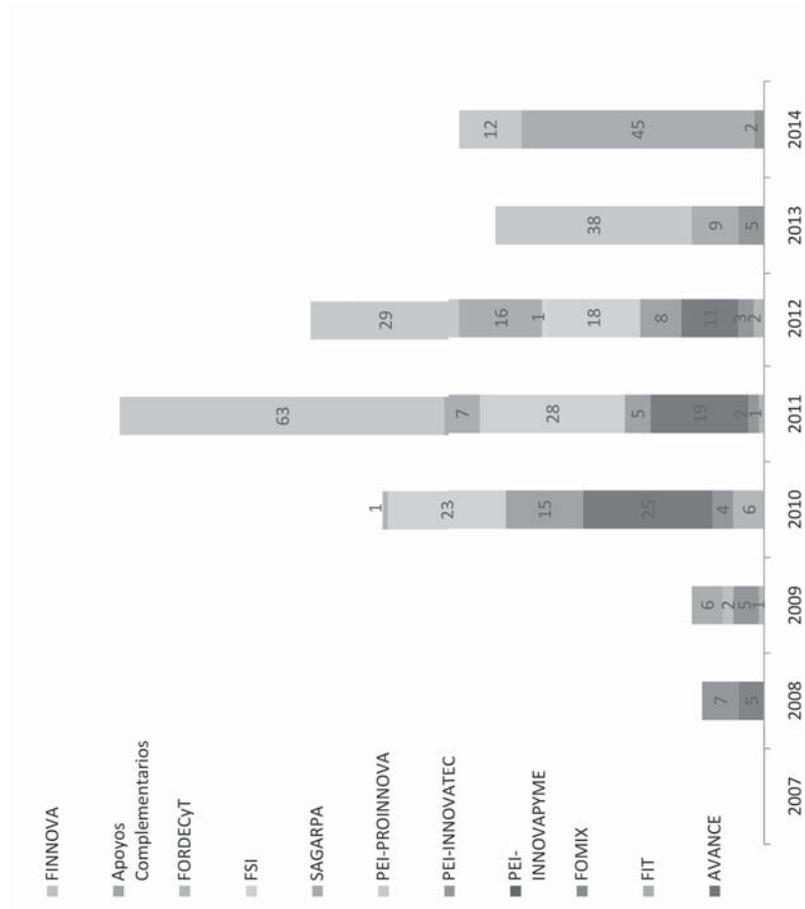
inversión realizada en I+D por parte del sector productivo. De acuerdo con datos de la OCDE, para 2011 el sector destinó a biotecnología 88 millones de dólares, lo que representó 2.8 % de la inversión total que se realiza en I+D en México. Es una cantidad muy inferior a la invertida en países como Dinamarca (19.69 %) e Irlanda (17.04 %). Los siguientes incisos muestran datos sobre los diversos ámbitos que puede cubrir la biotecnología desde la perspectiva del sector productivo.

Proyectos apoyados por programas de política pública

México cuenta con programas diseñados para incentivar la I+D y la innovación en diferentes sectores productivos, aunque no existe uno específico para el desarrollo de la biotecnología, hemos identificado un conjunto de proyectos apoyados por los siguientes nueve programas:

- Fondo Sectorial de Innovación Secretaría de Economía-Conacyt (Finnova);
- Apoyos Complementarios;
- Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) en sus tres modalidades: PEI-Proinnova, PEI-Innovapyme y PEI-Innovatec;
- Fondos Mixtos (Fomix);
- Fondo de Innovación Tecnológica (FIT);
- Programa Avance;
- Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT);
- Fondo Sectorial de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), y
- Fondo Sectorial de Investigación (FSI) Secretaría de Relaciones Exteriores-Conacyt.

GRÁFICA 1
Biotecnología: proyectos beneficiados por programa y año



Fuente: elaboración a partir de información del Conacyt.

Como se muestra en la gráfica 1, el total de proyectos en biotecnología beneficiados por estos programas en el periodo 2007-2014 fue de 424. Así, Finnova, Apoyos Complementarios y PEI-Proinnova concentraron aproximadamente el 70 % de los proyectos, registrando el primero 142 proyectos, el segundo 83 y el tercero 69. Es importante mencionar que el Finnova ha tenido un triple objetivo: la realización de investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos; el registro nacional e internacional de propiedad intelectual, y la formación de recursos humanos especializados de forma general, sin focalizarse en ningún sector productivo en particular.

Los datos permiten observar que a partir de 2011 el número de proyectos beneficiados disminuyó drásticamente, pasando de 125 en 2011 a 59 en 2014. Entre las principales causas figuran las siguientes:

- baja inversión en I+D destinada a la biotecnología;
- ausencia de políticas públicas específicas;
- desconocimiento por parte de la industria mexicana de las múltiples aplicaciones de la biotecnología;
- falta de entendimiento por parte del sector académico de las necesidades y requerimientos del sector privado;
- bajo patentamiento en biotecnología de los investigadores mexicanos, lo que a su vez dificulta la posibilidad de comercializar los resultados de la investigación científica;
- ineficiente asignación de recursos ante la falta de priorización para el diseño e implementación de políticas públicas (González y Quintero, 2008; Trejo, 2010).

Asimismo, de los 424 proyectos biotecnológicos beneficiados en el periodo 2000-2014, aproximadamente 70 % se concentraron en algunos estados del norte y centro del país. Como se observa en la gráfica 2, los estados con cifras por encima del promedio de proyectos (13 proyectos) fueron Baja California Sur (15), Querétaro (16), Guanajuato (18), Chihuahua (19), Baja California (20), Puebla (21), Sonora (23), Coahuila (26), Jalisco y Nuevo León (34 cada uno), y Ciudad de México (67). Esto significa que en estas zonas del país tenemos el

mayor número de empresas con actividad industrial y tecnológica en biotecnología ya sea agrícola, agroindustrial, farmacéutica o ambiental. De manera complementaria, ahí podemos encontrar centros de investigación científica aplicada y/o tecnológica que llevan a cabo proyectos en conjunto con las empresas.

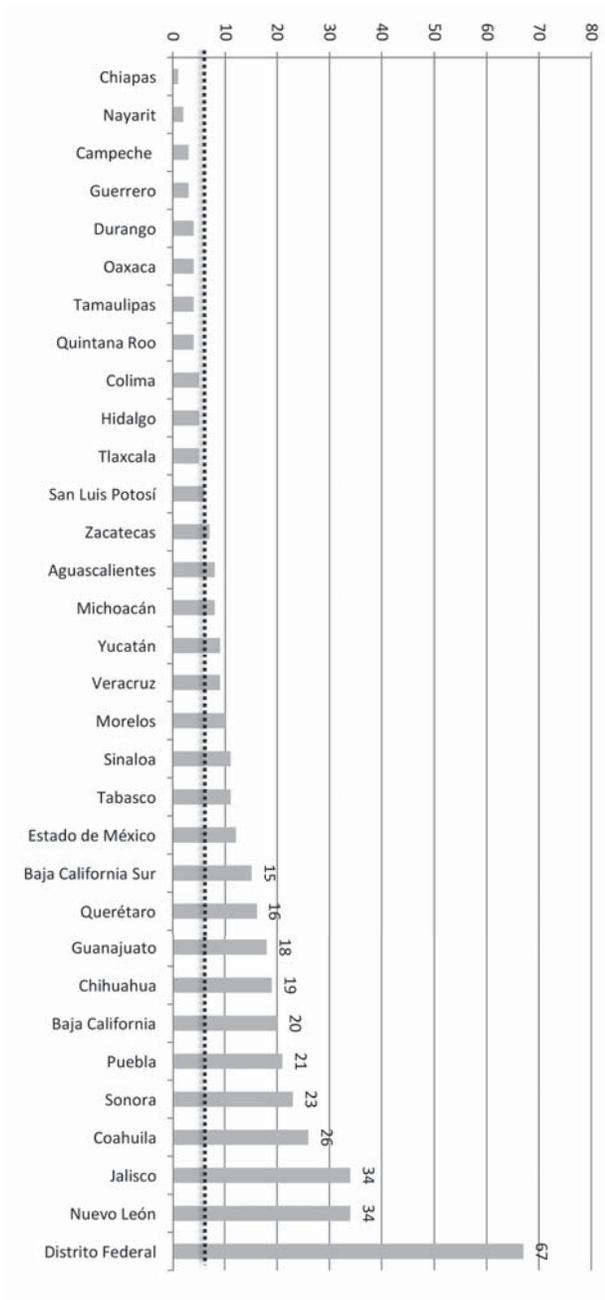
Capacidades de investigación científica

De acuerdo con datos de la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico y Módulo sobre Actividades de Biotecnología y Nanotecnología (ESIDET-MBN), elaborada en 2010 por Inegi y Conacyt (2012) y aplicada a empresas e instituciones involucradas en actividades de Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT) y que se desarrollan en los sectores productivos, privado no lucrativo, educación superior y gobierno, se identificaron 2 267 personas especializadas en actividades de IDT en el área de biotecnología; mientras que en 2011 fueron 2 023 personas, de las que 956 eran investigadores y tecnólogos; 662, técnicos y personal equivalente, y 406 personal de apoyo administrativo.

Por otro lado, de un total de 21 359 miembros que integraron el directorio del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Conacyt en 2014, identificamos un grupo de 701 investigadores dedicados al estudio de la biotecnología: 57 % eran hombres y 43 % mujeres. En la gráfica 3 se aprecia que la mayor parte estuvo concentrada en dos áreas de conocimiento: biotecnología y ciencias agropecuarias (55.9 %), y biología y química (34.4 %); las siguen ingeniería (7 %), medicina y ciencias de la salud (1.4 %), ciencias físico-matemáticas y de la Tierra (1.1 %), y ciencias sociales (0.3 %).

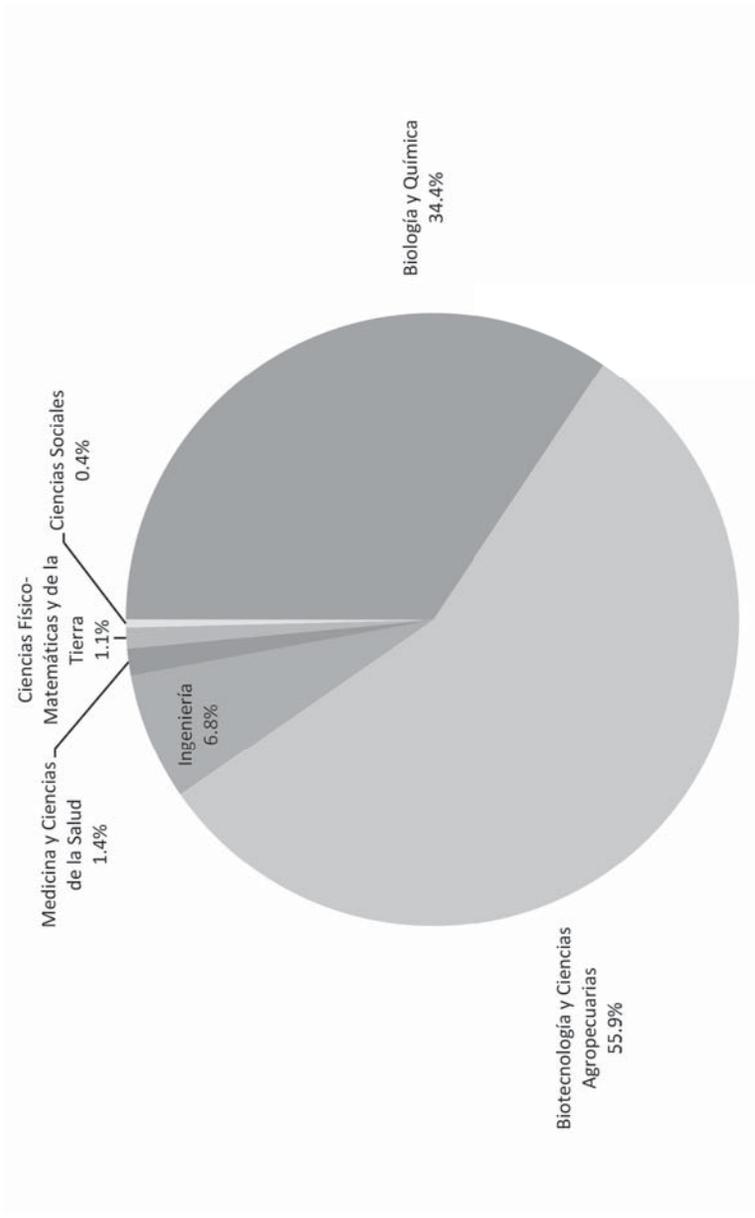
Del total de miembros del SNI en el área de biotecnología, 22 % eran candidatos a investigador nacional; 49 % a investigador nacional nivel 1; 20 % a investigador nacional nivel 2; y 9 % a investigador nacional nivel 3. Debemos señalar que esta masa crítica de recursos humanos no representa la totalidad de la comunidad de biotecnologías del país; pero lamentablemente no existen directorios o bases de datos completos de todo el país; la única fuente disponible para conocer la masa crítica de investigadores en distintas áreas científicas del país, es la del Sistema Nacional de Investigadores.

GRÁFICA 2
Biocombustibles: proyectos beneficiados por entidad federativa



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

GRÁFICA 3
Biología: capital humano por área de conocimiento



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

En relación con la distribución de los investigadores en las diferentes entidades federativas, la gráfica 4 muestra que para 2014 la mayoría de los miembros del SNI en el área de biotecnología se encontraba trabajando en instituciones ubicadas en Veracruz (25), Nuevo León (28), Jalisco (34), Yucatán (36), Guanajuato (44), Ciudad de México (120) y Morelos (179). Insistimos en que la ausencia de un censo o directorio nacional impide conocer el número de investigadores y científicos involucrados de manera directa en el área de biotecnología en distintas instituciones académicas o dependencias de gobierno.

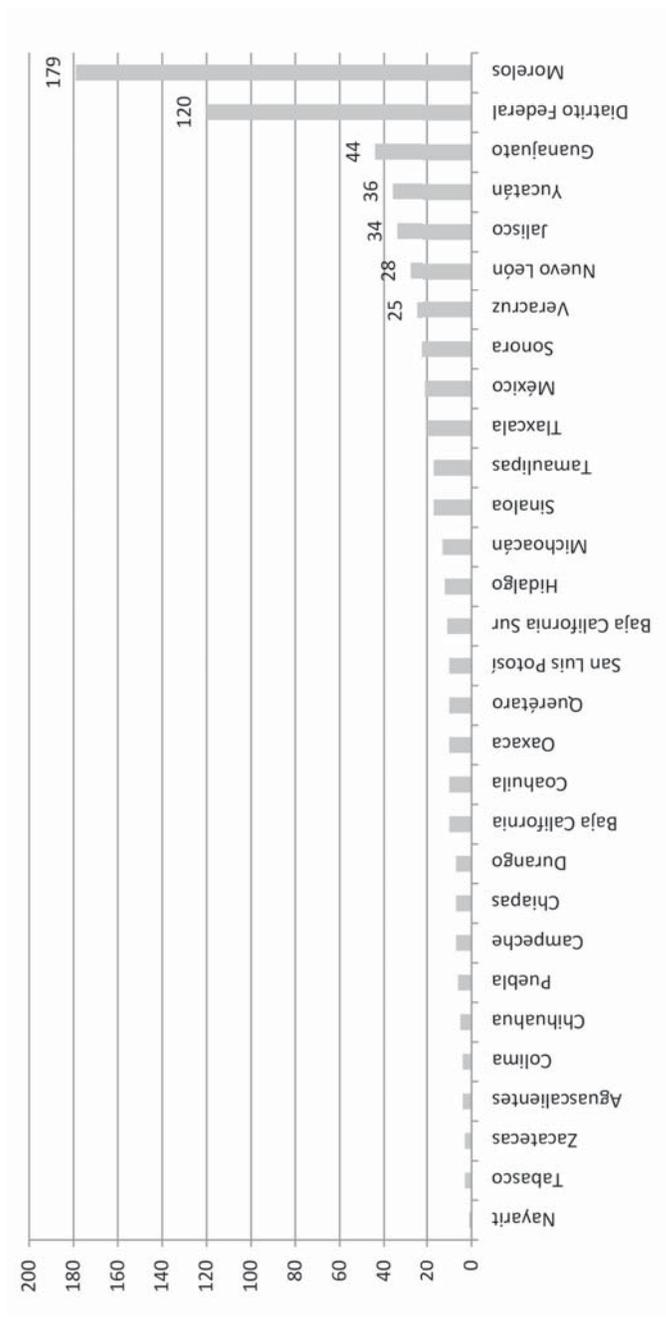
En relación con la existencia de programas de posgrado para la formación de biotecnólogos, las fuentes de información disponibles son el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) y la ANUIES. Así pudimos identificar la existencia de 183 programas de formación de recursos humanos: 110 maestrías, 68 doctorados, tres especialidades y dos programas integrados (maestría-doctorado). Se trata de programas orientados esencialmente a la investigación científica; sólo 16 presentan una orientación profesional, lo que implica una escasa estimulación de la vinculación con el sector privado.

A nivel nacional existen 69 instituciones —entre las que figuran centros de I+D, Institutos Tecnológicos (IT) y universidades— que ofrecen programas de posgrado especializados en biotecnología. La mayoría son de carácter público, y sólo tres son de carácter privado: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) y Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Este tipo de instituciones está concentrado en el centro del país; sin embargo, existe una presencia importante en el norte y en menor medida en el sur.

1.3 Infraestructura y espacios de interacción en biotecnología

Los parques científico-tecnológicos representan posibles espacios de infraestructura para la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico. El cuadro 1 muestra más de 20 unidades —entre las que figuran parques de ciencia, tecnología e innovación (CTI) y centros de I+D especializados en la tecnología de dispositivos integrada (IDT, por sus siglas en inglés)— de biotecnología en México. Los estados del centro albergan 11 de estas instituciones; los del norte, cinco, y existe una en el sur del país.

GRÁFICA 4
Biotecnología: investigadores por entidad federativa



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

CUADRO 1
Biotecnología: parques de CTI y centros de I+D

<i>Estado</i>	<i>Parque de CTI</i>	<i>Centro de I+D</i>
Baja California	Parque Científico-Tecnológico Silicon Border	Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CI-CESE)
Baja California Sur		Centro de Investigación Biológicas del Noroeste (Cibnor) Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar-IPN)
Chihuahua	Parque de Innovación y Transferencia de Tecnología (PIT2)	
Colima	Tecnoparque CLQ	
Ciudad de México		Centro de Investigación Farmacológica y Biotecnológica Médica Sur
Estado de México		Centro de Desarrollo Empresarial y de Transferencia de Tecnología (CEDETEC)
Guanajuato	Parque de Innovación Agrobioteg Unidad de Innovación, Aprendizaje y Competitividad de la Ibero	
Jalisco	Parque Científico y Tecnológico (PCiTec)	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ)
Michoacán	Parque Tecnológico Agroindustrial	Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán (CIDAM)

Morelos	Parque Científico y Tecnológico Morelos Parque Tecnológico (Campus Cuernavaca)	Instituto de Biotecnología IBT-UNAM
Nuevo León	Parques de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT)	
Querétaro	Parque Tecnológico Innovación Querétaro	
Sinaloa		Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)
Sonora		Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)
Tlaxcala		Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada-IPN
Yucatán	Parque Científico y Tecnológico (PCTYuc)	Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)

Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

En este mismo orden de ideas, para 2015 existían dos redes temáticas de investigación focalizadas en la IDT de la biotecnología. Una de ellas tenía como tema central de sus actividades el desarrollo de fármacos y métodos de diagnóstico; la otra, la biotecnología para la agricultura y la alimentación. En ambos casos sus integrantes están dispersos a lo largo y ancho del país. Lo mismo ocurre con los Laboratorios Nacionales, cuya función principal es proveer de infraestructura para la investigación, pero de tal manera que sea compartida por distintas instituciones académicas y, en algunos casos, por empresas o asociaciones de empresa (véase cuadro 2).

CUADRO 2
Biología: Laboratorios Nacionales

<i>Estado</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Institución de adscripción</i>
Coahuila	Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos	Centro de Investigación en Química Aplicada
Estado de México	Laboratorio Nacional en Salud: Diagnóstico Molecular y Efecto Ambiental en Enfermedades Crónicas Degenerativas	Facultad de Estudios Superiores Iztacala (UNAM)
Jalisco	Productos Forestales	Universidad de Guadalajara
	Laboratorio Nacional de Estructura de Macromoléculas con el Desarrollo de Investigación	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
	Laboratorio Nacional de Microscopía Avanzada	Instituto de Biotecnología (UNAM)
Morelos	Laboratorio Nacional de Respuesta a Enfermedades Emergentes	Instituto de Biotecnología (UNAM)
Querétaro	Centro Nacional de Proyección Térmica	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Sinaloa	Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria	Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo (CIAD)

Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

Patentes

Las patentes representan el esfuerzo por proteger el conocimiento que desarrollan las empresas con relación a los competidores, o bien el desarrollado por los investigadores académicos e inventores individuales. Sin embargo, una

patente registrada no significa necesariamente que el conocimiento será explotado comercialmente, y tampoco significa un resultado que colocará de manera inmediata a la empresa en la frontera tecnológica; hay muchas áreas susceptibles de patentarse en los distintos campos tecnológicos de un sector, ya sea en los procesos o bien en los productos.

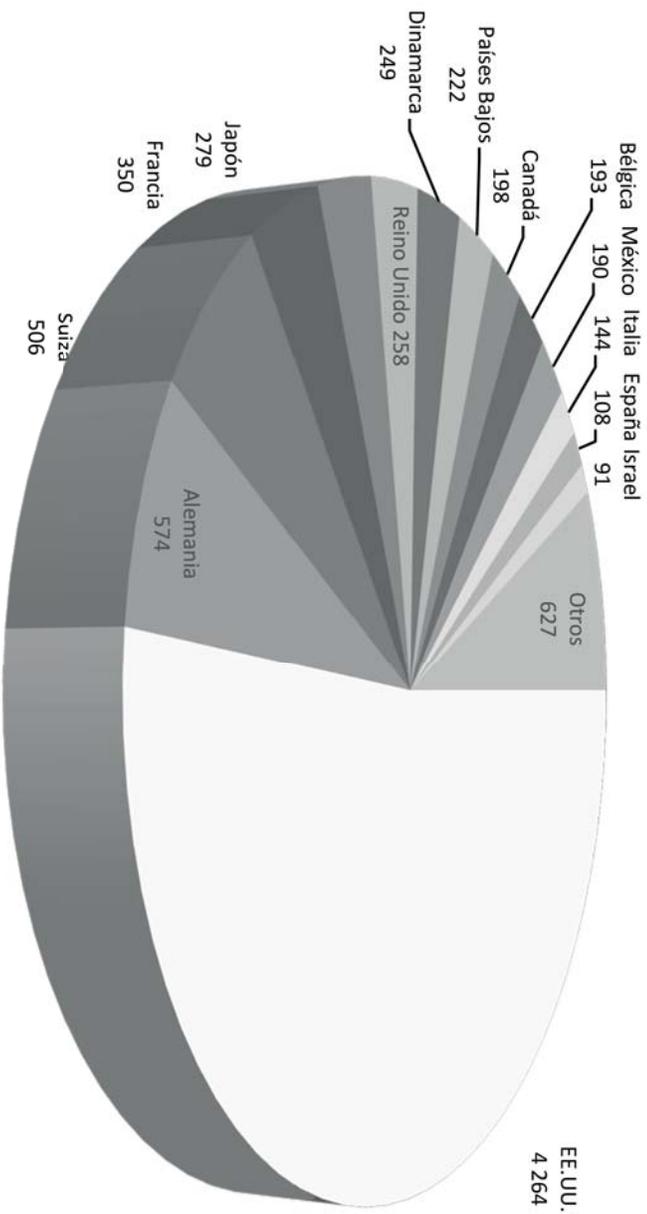
Nuestra búsqueda de patentes en biotecnología en el IMPI arrojó 8 253 patentes de biotecnología en un periodo de 30 años (1984-2014). De acuerdo con datos del IMPI, la gráfica 5 presenta la distribución de patentes de esta tecnología por país. El primer lugar es ocupado por EUA con 4 264 patentes; lo siguen Alemania, Suiza, Francia y Japón con 574, 506, 350 y 279 patentes, respectivamente. Por su parte, México registra 2.3 % de participación en relación con el total de patentes. Asimismo, en el IMPI se registraron 8 063 patentes de no residentes, y tan sólo 190 de residentes en México.

La mayoría de titulares de las 190 patentes provienen de instituciones de educación superior (IES), con 136 patentes. A estas instituciones las siguen empresas, investigadores independientes y organismos gubernamentales, con 27, 25 y dos patentes, respectivamente. La gráfica 6 indica las principales instituciones titulares de patentes. La UNAM sobresale entre otras instituciones públicas y privadas.

Por último, las patentes de biotecnología otorgadas por la USPTO a titulares mexicanos fueron 84 a lo largo del periodo. Entre sus titulares figuran IES con 46 patentes, empresas con 19, inventores independientes con 18, y otros con una.

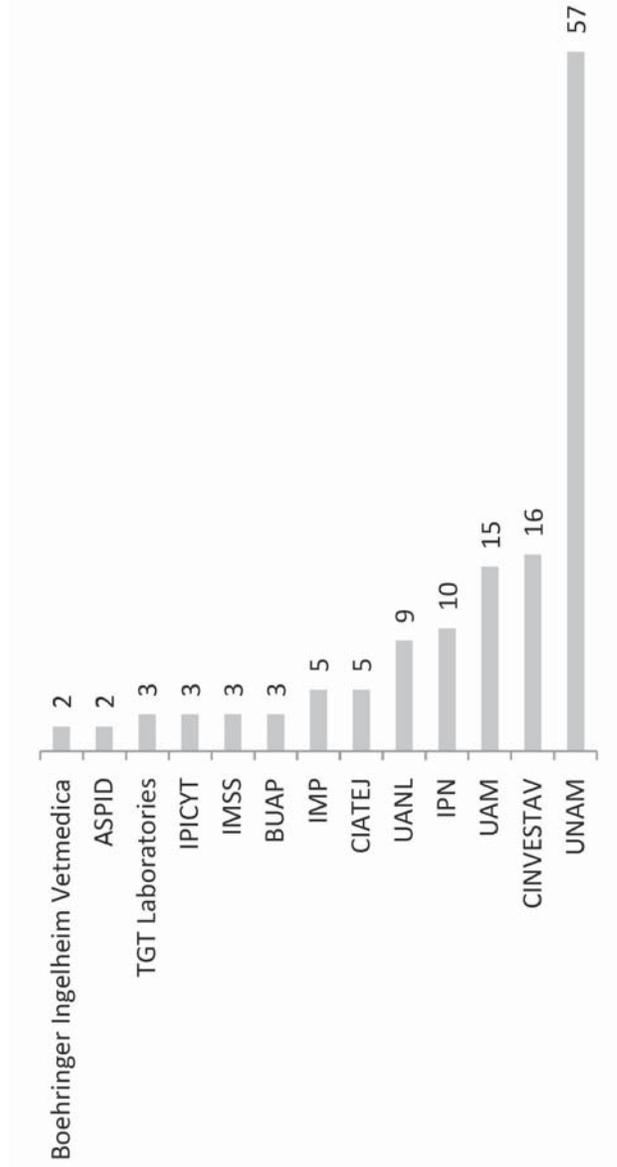
Los datos anteriores revelan que los desarrollos tecnológicos en biotecnología en México identificados a través de las patentes, pertenecen principalmente a instituciones académicas, por lo que podemos inferir que el sector de las empresas realiza poco desarrollo tecnológico, o tal vez no protege mediante la propiedad intelectual los desarrollos que lleva a cabo.

GRÁFICA 5
Biotecnología: distribución de patentes por país, 1984-2014



Fuente: elaboración propia a partir de información del IMPI.

GRÁFICA 6
Biotecnología: principales instituciones titulares de patentes



Fuente: elaboración propia a partir de información del IMPI.

La nanotecnología

La nanotecnología es el conjunto de tecnologías que permite la manipulación, el estudio o la explotación de estructuras y sistemas pequeños (típicamente menores que 100 nanómetros). La nanotecnología contribuye con novedosos materiales, dispositivos y productos que tienen propiedades y características cualitativamente diferentes. Sus avances pueden afectar a prácticamente todas las áreas de la actividad económica e incidir en todos los aspectos de la vida cotidiana, por lo que suponen nuevas oportunidades y desafíos para países desarrollados y en vías de desarrollo (OCDE, 2015).

Con base en datos de la OCDE, el sector privado en México invirtió 122.8 millones de dólares en I+D en nanotecnología para 2011, lo que representó 3.9 % de la inversión total que realiza en I+D. La cifra representa una cantidad por debajo de la invertida por Corea del Sur (15.53 %) y por Estados Unidos (4.46 %). Los siguientes apartados presentan el número de proyectos apoyados por los instrumentos de la política pública, así como el capital humano, los parques de CTI, centros de I+D, redes temáticas de investigación y laboratorios nacionales especializados en nanotecnología, además de las patentes.

Proyectos apoyados por programas de política pública

A pesar de no existir un programa específico para el impulso de la nanotecnología en México, hemos identificado algunos proyectos beneficiados por los siguientes programas:

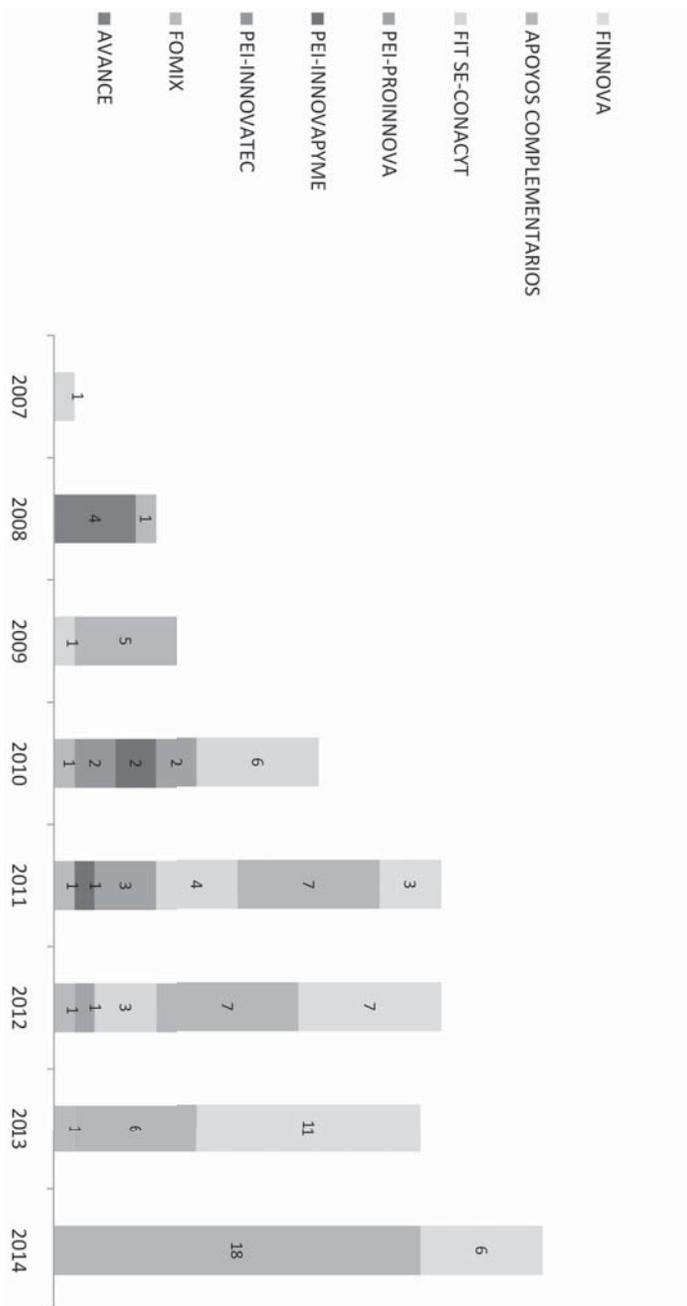
- Apoyos Complementarios;
- Programa Avance;
- Finnova;
- FIT;
- Fomix, y
- PEI en sus tres modalidades: PEI-Proinnova, PEI-Innovapyme e PEI-Innovatec.

Como se muestra en la gráfica 7, el total de proyectos apoyados por estos programas en el periodo 2007-2014 fue de 105. Apoyos Complementarios, Finnova y FIT concentraron 81 % de los apoyos otorgados, con 43, 27 y 15 proyectos, respectivamente. En ese sentido es importante mencionar que el programa de Apoyos Complementarios ha tenido como propósito proveer de apoyo económico complementario a instituciones de educación superior, centros públicos de investigación y en general a instituciones del sector público para la renovación o actualización del equipo científico existente. Asimismo, dentro del periodo analizado observamos que a partir de 2010 el número de proyectos beneficiados casi se duplicó, pasando de 13 en 2010 a 24 en 2014. Ello da cuenta de lo incipiente que es la actividad de investigación aplicada y desarrollo tecnológico en nanotecnología en el país. Entre las principales causas figuran las siguientes:

- carencia de un programa o iniciativa nacional que impulse y norme la nanotecnología;
- escasa inversión en I+D destinada a esta área de conocimiento;
- dependencia tecnológica, y
- ausencia de ámbitos colaborativos entre grupos de investigación (Záyago y Foladori, 2010; RNN, 2014).

De los 105 proyectos de nanotecnología beneficiados en el periodo 2007-2014, 72 % se concentraron en algunos estados del centro y norte del país. Como se muestra en la gráfica 8, los estados que se encontraron por encima del promedio de proyectos fueron: Estado de México (6); San Luis Potosí, Querétaro y Guanajuato (7 cada uno); Coahuila (9), Nuevo León (17) y Ciudad de México (23).

GRÁFICA 7
Nanotecnología: proyectos beneficiados por programa y año



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

Capacidades de investigación científica

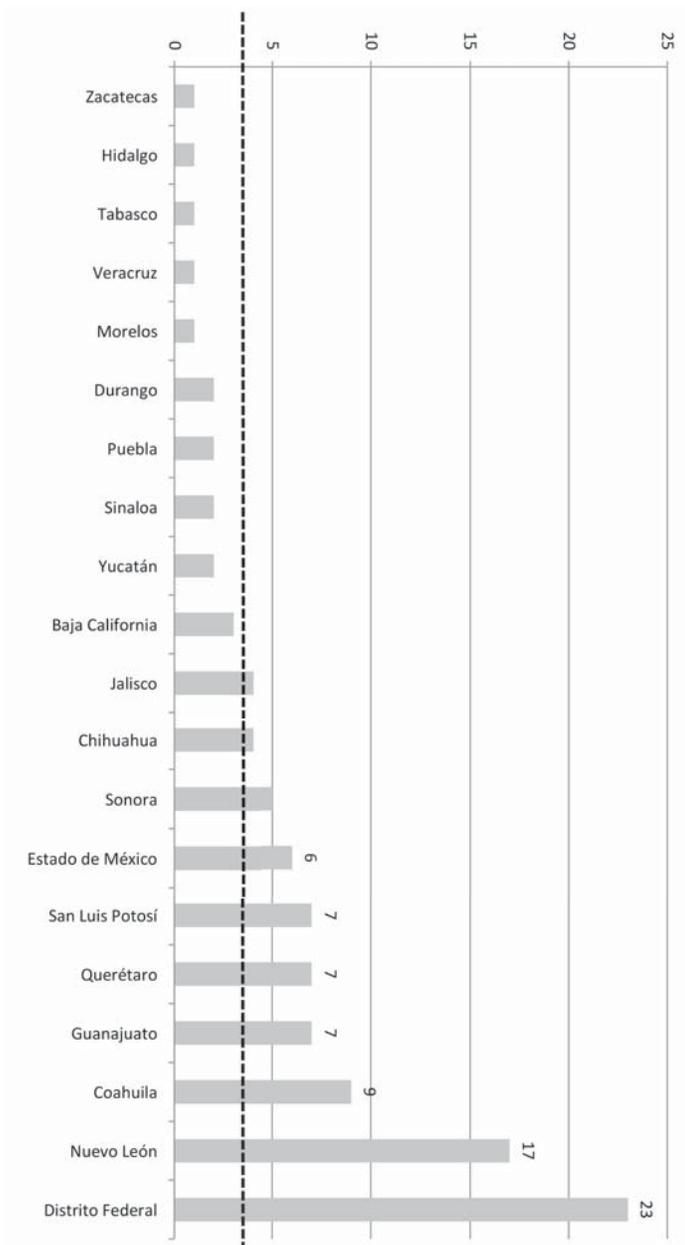
De acuerdo con datos de la ESIDET-MBN, en 2010 hubo 1 455 personas especializadas en actividades de IDT en el área de nanotecnología; mientras que en 2011 fueron 1 279 personas: 489 investigadores y tecnólogos; 485 técnicos y personal equivalente, y 305 eran personal de apoyo administrativo.

De un total de 21 359 miembros que integraron el directorio del Sistema Nacional de Investigación (SNI) del Conacyt en 2014, identificamos un grupo de 300 investigadores dedicados al estudio de la nanotecnología: 73 % eran hombres y 27 %, mujeres. En la gráfica 9 se puede observar que la mayor parte estuvo concentrada en dos áreas de conocimiento: ciencias físico-matemáticas y de la Tierra (46 %) e Ingeniería (39 %); las siguen biología y química (12.33 %), y en un porcentaje reducido, biotecnología y ciencias agropecuarias (1.67 %), ciencias sociales (0.67 %), y medicina y ciencias de la salud (0.33 %). Del total de miembros del SNI en el área de nanotecnología, 19 % eran candidatos a investigador nacional; 50 %, a investigador nacional nivel 1; 22 % a investigador nacional nivel 2; y 9 % a investigador nacional nivel 3.

En relación con la distribución de los investigadores en las diferentes entidades federativas, la gráfica 10 muestra que la mayoría de los miembros del SNI en el área de nanotecnología se encontraban trabajando en instituciones ubicadas en el Ciudad de México (72), Baja California (49), Nuevo León (27), Chihuahua (20) y San Luis Potosí (14).

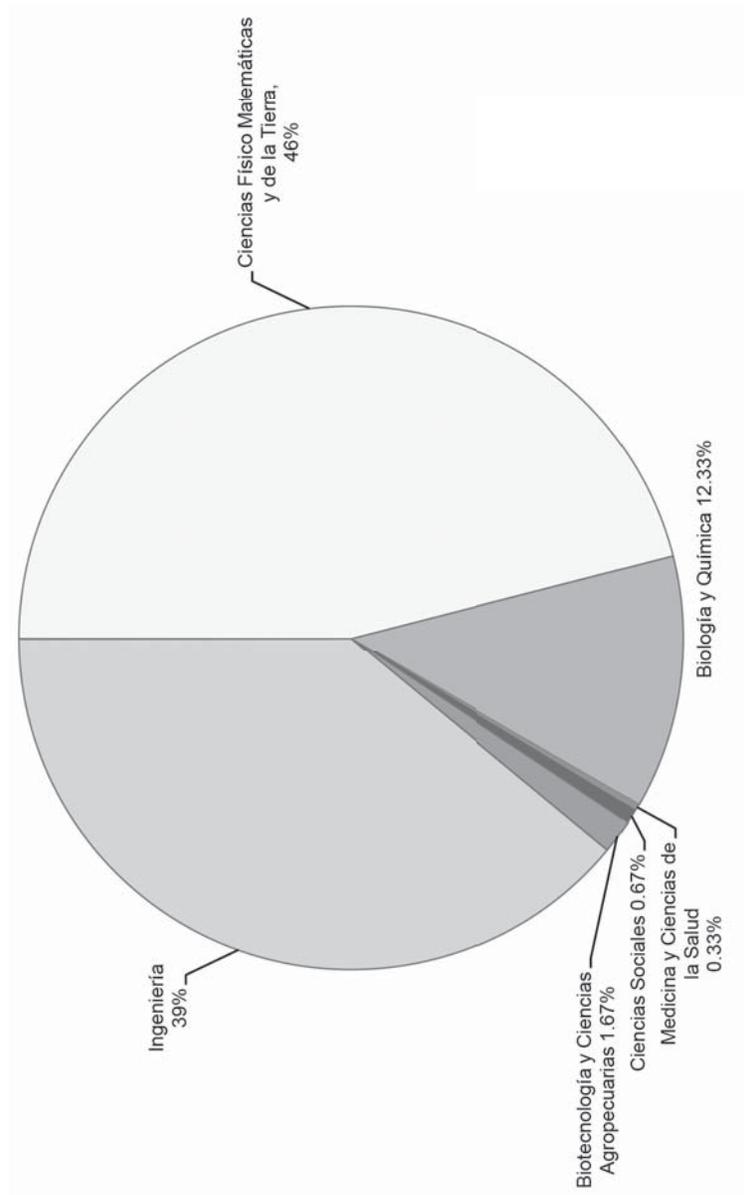
En el país existen 79 programas de posgrado del PNPC relacionados con la nanotecnología: 43 son maestrías y 36, doctorados. Se trata de programas orientados a la investigación y sólo tres presentan orientación profesional, lo que implica –como en el caso de la biotecnología– una reducida vinculación con el sector productivo. A nivel nacional existen 26 instituciones –entre las que figuran centros de I+D, IT y universidades– que ofrecen programas de posgrado especializados en nanotecnología. La gran parte de estas instituciones son de carácter público, mientras que sólo dos son privadas: ITESM y UD-LAP. La concentración de este tipo de instituciones –al igual que en el caso de la biotecnología– está en el centro del país; sin embargo, existe una presencia importante en el norte y en menor medida en el sur.

GRÁFICA 8
Nanotecnología: proyectos beneficiados por entidad federativa



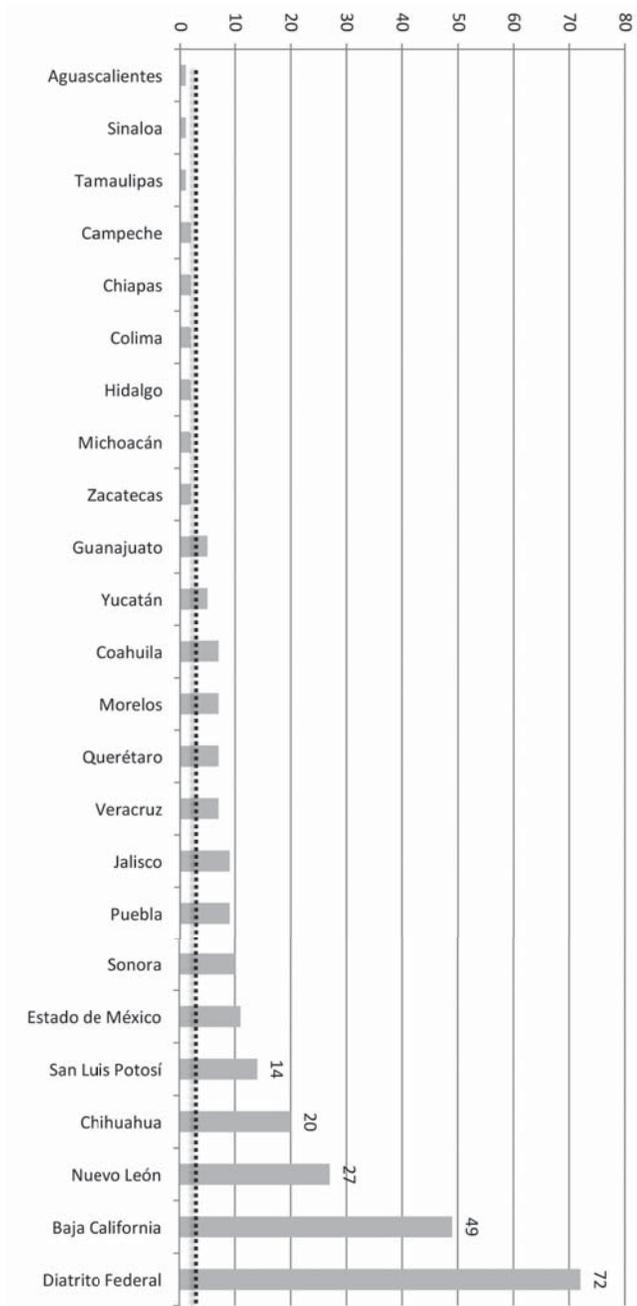
Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

GRÁFICA 9
Nanotecnología: capital humano por área de conocimiento



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

GRÁFICA 10
Nanotecnología: investigadores por entidad federativa



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

Infraestructura y espacios de interacción en nanotecnología

El cuadro 4 ofrece una lista de siete instituciones –algunas son parques de CTI, y otras son centros de I+D– dedicadas a la IDT de nanotecnología en México. No existe una notoria diferencia entre el número de instituciones localizadas en el norte (4) y el centro (3) del país; lo que llama la atención es su ausencia en el sur. Asimismo, existen dos redes temáticas de investigación focalizadas en la IDT de la nanotecnología: la Red Mexicana de Materia Condensada Blanda y la Red de Nanociencias y Nanotecnología. Como todas las redes temáticas, éstas realizan diversas actividades de investigación científica básica y aplicada, y sus integrantes están adscritos a distintas instituciones académicas de todo el país.

CUADRO 4
Nanotecnología: parques de CTI y centros de I+D

<i>Estado</i>	<i>Parque de CTI</i>	<i>Centro de I+D</i>
Baja California	Parques Científico-Tecnológico Silicon Border	Centro de Investigación y Desarrollo tecnológico en Electroquímica
Nuevo León	Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT)	
Chihuahua	Parque de Innovación y Transferencia de Tecnología (PIT2)	
Guanajuato	Unidad de Innovación, Aprendizaje y Competitividad de la Ibero	
Querétaro	Parque Tecnológico Innovación Querétaro	
Morelos	Parque Tecnológico Innovación Morelos	

Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

En contraste con las redes temáticas de investigación, la coordinación de Laboratorios Nacionales se localiza en estados del norte, específicamente en Baja California y Chihuahua, con el Laboratorio Nacional de Nanofabricación y el Laboratorio Nacional de Nanotecnología, respectivamente (véase cuadro 5).

CUADRO 5
Nanotecnología: laboratorios nacionales

<i>Estado</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Institución de adscripción</i>
Baja California	Laboratorio Nacional de Nanofabricación	Centro de Nanociencias y Nanotecnología (UNAM)
Chihuahua	Laboratorio Nacional de Nanotecnología	Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados

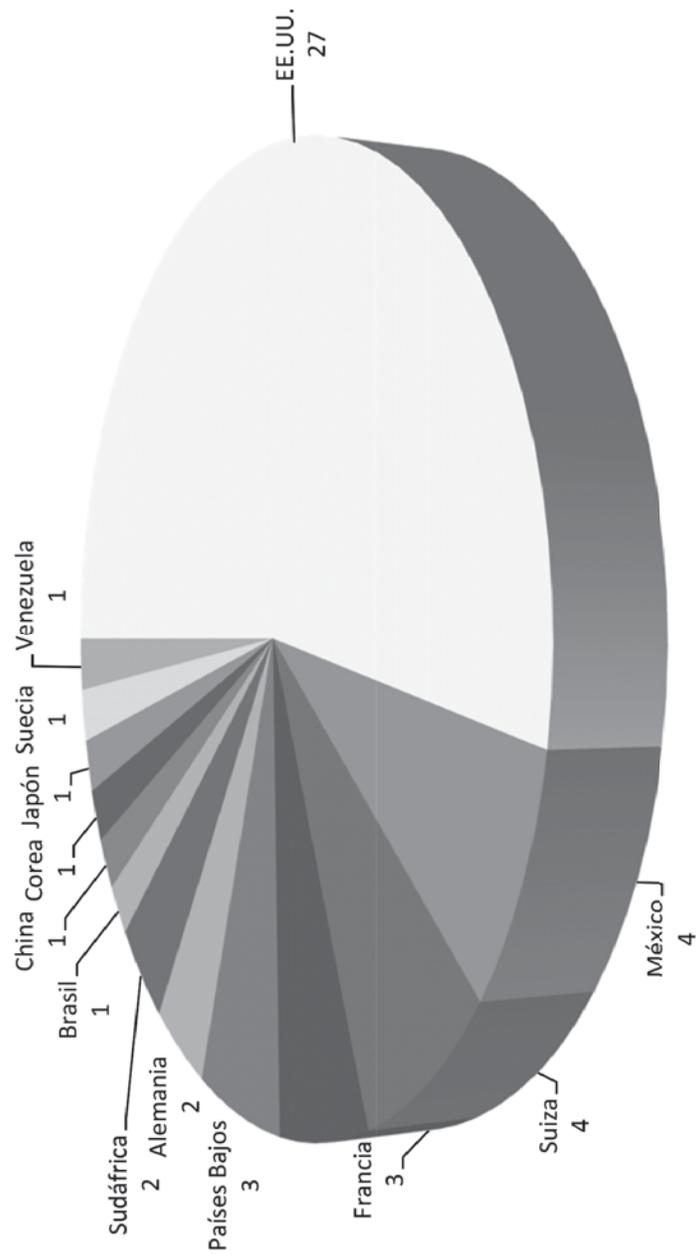
Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

Patentes

Nuestra búsqueda arrojó 51 patentes de nanotecnología entre 2001 y 2014. De acuerdo con datos del IMPI, la gráfica 11 presenta la distribución de patentamiento de esta tecnología por país. El primer lugar lo ocupa EUA con 27 patentes, seguido por Suiza y México (cuatro cada uno), y Francia y Países Bajos (tres cada uno). En ese sentido, México registra 7.8 % de participación en relación con el total de patentes. Asimismo, en el IMPI se registraron 47 patentes de no residentes y tan solo cuatro de residentes.

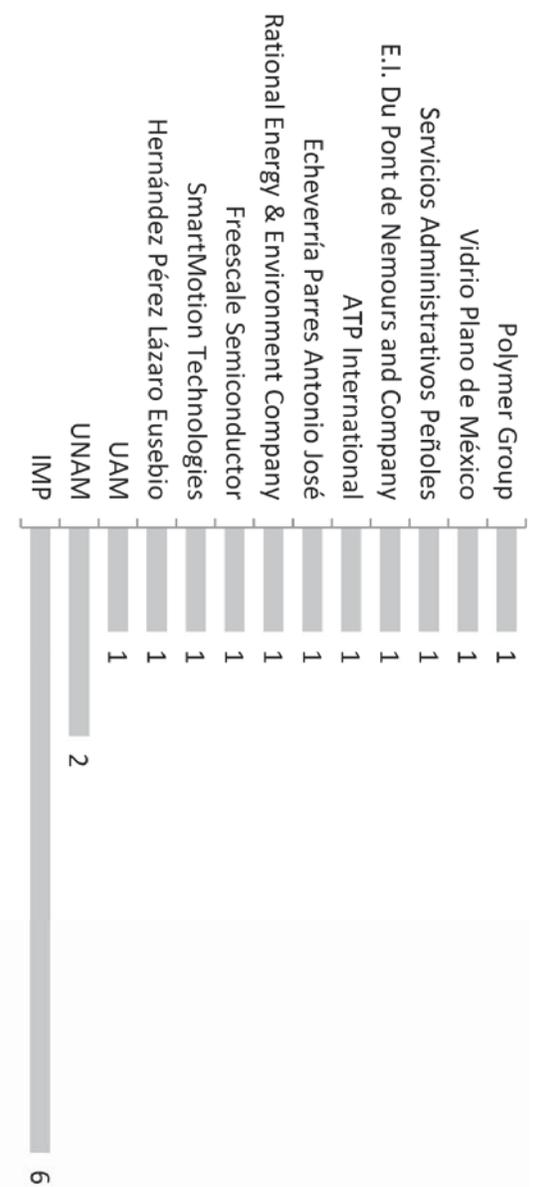
De las cuatro patentes, tres provienen de IES y la otra es de un investigador independiente. Con respecto a las patentes de nanotecnología otorgadas por la USPTO a titulares mexicanos, identificamos un total de 35. La gráfica 12 indica las principales instituciones titulares de patentes; el IMP sobresale entre otras instituciones públicas y privadas.

GRÁFICA 11
Nanotecnología: distribución de patentes por país, 2001-2014



Fuente: elaboración propia a partir de información del IMPI.

GRÁFICA 12
Nanotecnología: principales instituciones titulares de patentes



Fuente: elaboración propia a partir de información de USPTO.

Las tecnologías ambientales

Las tecnologías ambientales son entendidas por la OCDE como eco-innovaciones o innovaciones ecológicas, y ofrecen un beneficio medioambiental a diferencia de otras relevantes alternativas al mismo proceso/producto. La eco-innovación puede ser entendida como

la producción, asimilación o explotación de un producto, proceso de producción, servicio o administración, o método de negocio que es novedoso de la organización (en desarrollo o adopción de la misma) y que se traduce, a lo largo de su ciclo de vida en una reducción de los riesgos ambientales, la contaminación y otros impactos negativos del uso de los recursos (incluyendo uso de energía) en comparación con alternativas relevantes (Kemp y Pearson, 2008: 7).

El concepto de tecnologías ambientales pretende ser un reflejo del consenso público sobre la utilidad de ciertos enfoques tecnológicos en la reducción de los impactos ambientales. La OCDE establece siete grandes áreas relacionadas con tecnologías que protegen o aminoran los daños al medio ambiente, y señala que la noción y los distintos tipos de tecnologías ambientales podrían evolucionar con el paso del tiempo (véase cuadro 6).

En México, el desarrollo de tecnologías ambientales es un tema novedoso y a la fecha no se cuenta con indicadores estadísticos que permitan esbozar el estado de estas tecnologías. Sin embargo, existen esfuerzos por parte del sector público para promover su uso y generación. A continuación presentamos los distintos datos disponibles que dan cuenta del estado del arte en México.

CUADRO 6
Clasificación de tecnologías ambientales

	Reducción de la contaminación en el aire.
<i>Gestión ambiental</i>	Gestión de residuos: -Recolección de residuos sólidos. -Reciclaje de materiales.
	Abono a partir de residuos. -Incineración y recuperación de energía. -Rellenos Sanitarios.
	Tratamiento de suelos. Monitoreo Ambiental.
	Generación de energía de fuentes renovables y no fósiles.
<i>Generación de fuentes renovables y no fósiles</i>	Generación de energía. renovable: -Energía eólica. -Energía solar térmica. -Energía marina.
	Generación de energía a partir de combustibles de origen no fósil: -Biocombustibles. -Combustibles a partir de residuos.
	Tecnologías para la mejora de eficiencia (combustión combinada).
<i>Tecnologías de combustión con potencial de mitigación</i>	Utilización de calor en la combustión o incineración de residuos.
	Calor y energía combinados.
	Tecnologías para la mejora de la eficiencia en el uso de calor.

<i>Tecnologías específicas de mitigación del cambio climático</i>	Captura, almacenamiento, secuestro o eliminación de gases de efecto invernadero. Captura y almacenamiento de CO ₂ Captura o eliminación de gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono (N ₂ O, CH ₄ , PFC, HFC, SF ₆)
<i>Tecnologías con potencial directo o indirecto para mitigación de emisiones</i>	Almacenamiento de energía. Producción de hidrogeno (a partir de fuentes no carbónicas), distribución y almacenamiento. Pila de combustible
<i>Reducción de emisiones y eficiencia de combustible en transporte</i>	Tecnologías para la propulsión utilizando el motor de combustión interna: -Control integrado de las emisiones (Nox, CO, HC, PM). Tecnologías para la propulsión mediante motor eléctrico (vehículos eléctricos, vehículos híbridos). Tecnologías para la propulsión híbrida.
<i>Eficiencia energética en edificios y alumbrado</i>	Eficiencia de combustible mejorando el diseño del vehículo. Aislamiento (térmico, doble acristalamiento). Calefacción. Iluminación.

Fuente: elaboración propia a partir de información de la OCDE.

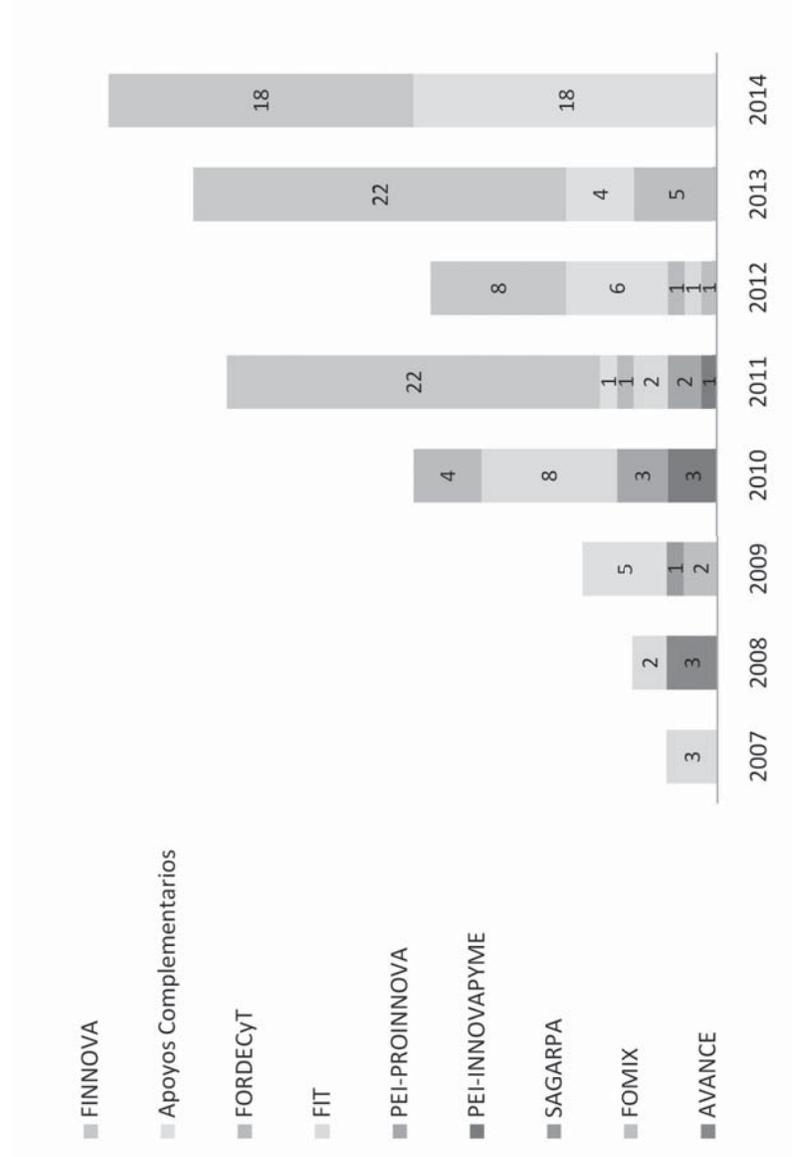
Proyectos apoyados por programas de política pública

Al igual que en los casos de la biotecnología y nanotecnología, en México no existe un plan o programa estratégico relacionado de manera específica con las tecnologías ambientales. Sin embargo, los programas de apoyo a la IDT e innovación han logrado beneficiar algunos proyectos. Dichos programas son:

- Finnova;
- Apoyos Complementarios;
- FIT;
- Fomix;
- FORDECyT;
- PEI en sus tres modalidades: PEI-Proinnova, PEI-Innovapyme y PEI-Innovatec;
- Avance, y
- Sagarpa.

Como se muestra en la gráfica 13, el total de proyectos relacionados con el desarrollo de tecnologías ambientales (TA) y apoyados por estos programas en el periodo 2007-2014, fue de 147. Finnova, Apoyos Complementarios y FIT concentraron aproximadamente 82 % de los proyectos beneficiados, registrando el primero 70 proyectos, el segundo 34 y el tercero 16. De igual modo es menester señalar que el FIT ha tenido como objetivo fomentar iniciativas de MiPyME de base tecnológica, *start-ups* y personas físicas con actividad empresarial que realicen proyectos de innovación tecnológica significativos y con alto potencial de comercialización. Además el FIT impulsa propuestas que consideren la incorporación de recursos humanos y equipo científico de forma general, sin acentuar especificidad en algún sector productivo.

GRÁFICA 13
Tecnologías ambientales: proyectos beneficiados por programa y por año



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

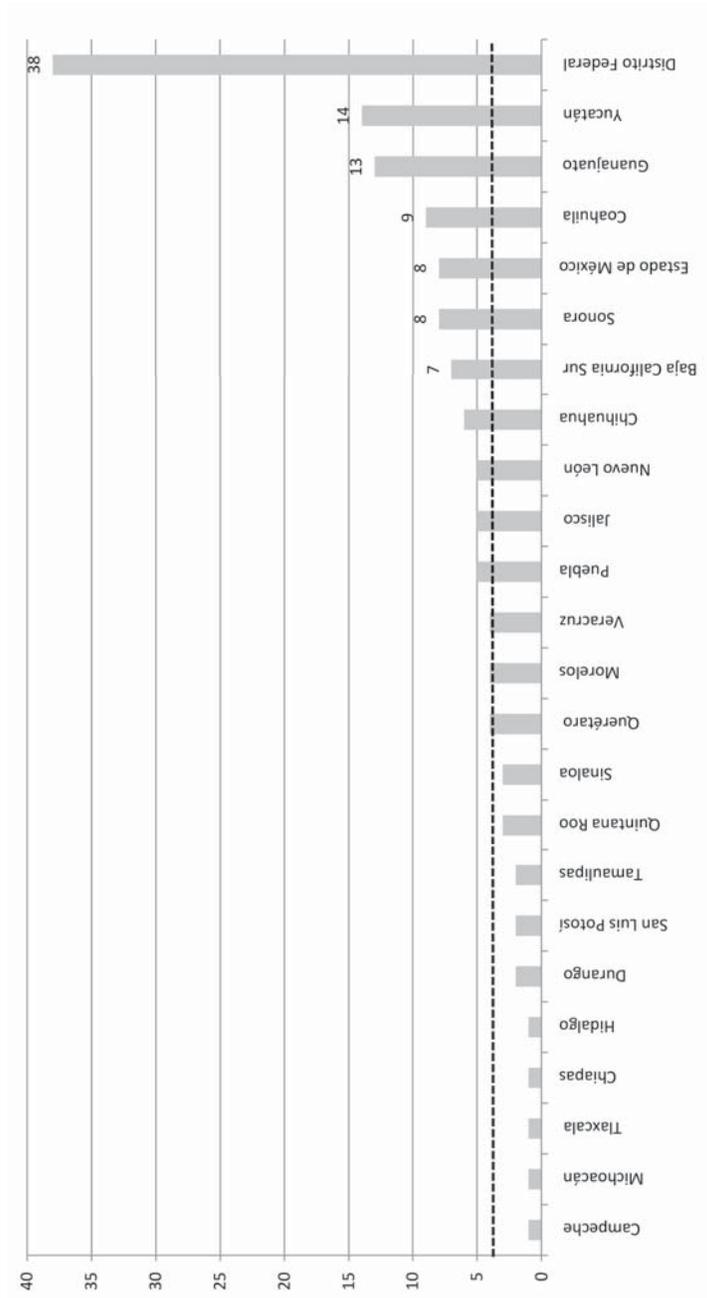
Adicionalmente, dentro del periodo analizado observamos que a partir de 2011 el número de proyectos beneficiados tuvo un ligero crecimiento, pasando de 29 en 2011 a 36 en 2014. Esto significa que ha ido creciendo el interés del sector empresarial por mejorar su desempeño ambiental y la eficiencia energética, así como por reducir los residuos tóxicos. Sin embargo, por la importancia de la actividad industrial en el país y considerando los índices de contaminación por diferentes fuentes y la disponibilidad actual de tecnologías favorables al medio ambiente, estas cifras revelan tanto las insuficiencias por parte del sector productivo como la falta de una política pública con incentivos orientados a la protección del medio ambiente (Constantino y Muñoz, 2014; OCDE, 2013).

De los 147 proyectos relacionados con el desarrollo de tecnologías ambientales que recibieron apoyo en el periodo 2007-2014, 66 % se concentraron en algunos estados del norte, centro y sur del país. Como se muestra en la gráfica 14, los estados que se encontraron por encima del promedio de proyectos fueron: Baja California Sur (7), Sonora y Estado de México (8 cada uno), Coahuila (9), Guanajuato (13), Yucatán (14) y Ciudad de México (38).

Capacidades de investigación científica

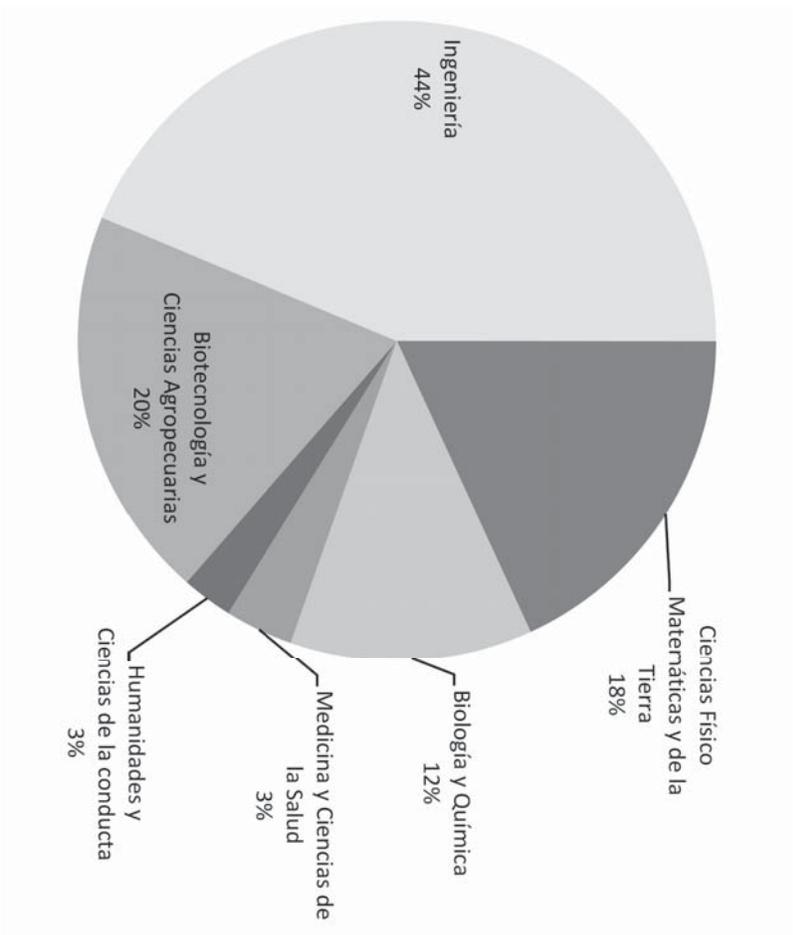
Es difícil identificar la masa crítica de recursos humanos orientados a la investigación científica básica y aplicada en el área de tecnologías ambientales en el país, debido a que los censos y estadísticas oficiales están organizadas bajo grandes áreas temáticas y disciplinas científicas. De un total de 21 359 miembros que integraron el directorio del SNI del Conacyt en 2014, hemos identificado un grupo de 579 investigadores dedicados al desarrollo de tecnologías ambientales. En la gráfica 15 se observa que la mayor parte de ellos estuvo concentrada en un área de conocimiento: ingeniería (43.7 %), seguida de biotecnología y ciencias agropecuarias (19.86 %), ciencias físico-matemáticas y de la Tierra (18.13 %), biología y química (12.26 %), medicina y ciencias de la salud (3.45 %), y ciencias sociales (2.59 %).

GRÁFICA 14
Tecnologías ambientales: proyectos beneficiados por estado



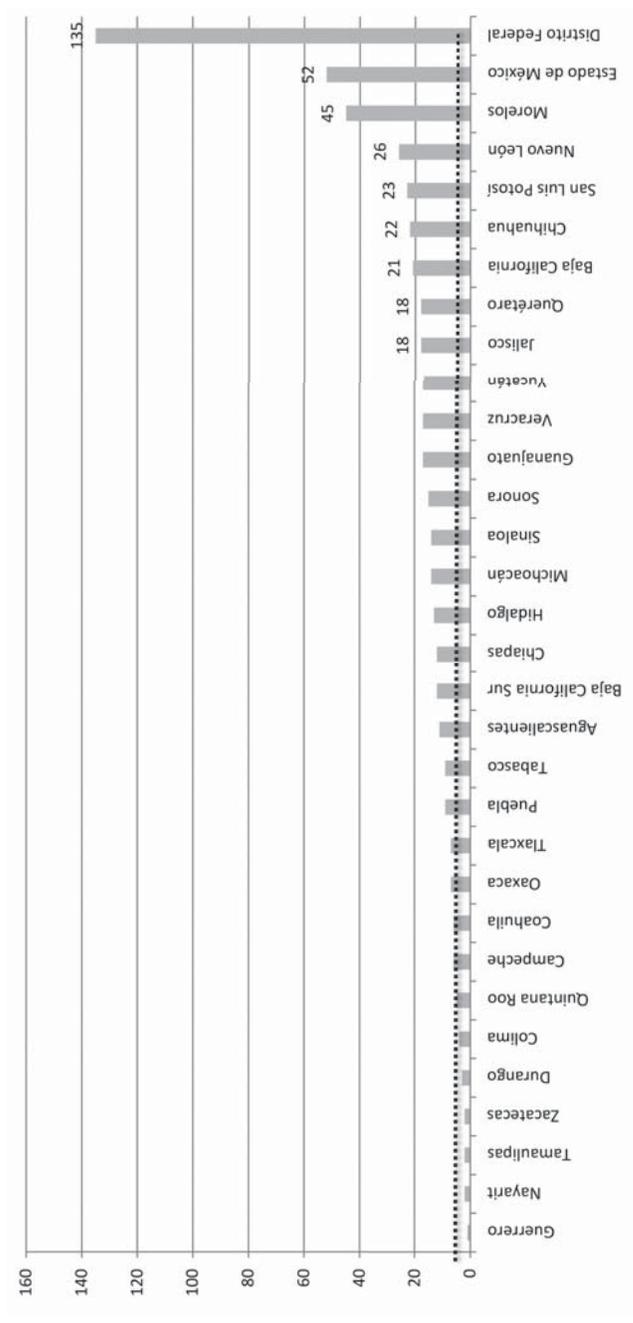
Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

GRÁFICA 15
Tecnologías ambientales: capital humano por área de conocimiento



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

GRÁFICA 16
Tecnologías ambientales: investigadores por estado



Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

En relación con la distribución de los investigadores en las diferentes entidades federativas, la gráfica 16 refleja que la mayoría de los miembros del SNI en el área de tecnologías ambientales se encontraba trabajando en instituciones ubicadas en Jalisco y Querétaro (18 cada uno), Baja California (21), Chihuahua (22), San Luis Potosí (23), Nuevo León (26), Morelos (45), Estado de México (52) y Ciudad de México (135), estados que se ubicaron por encima del promedio. También aquí existe un modesto número de investigadores de nacionalidad mexicana con residencia en el extranjero; son miembros del SNI adscritos a universidades extranjeras (10).

En el país existen 198 programas de posgrado del PNPC relacionados con tecnologías ambientales: 115 maestrías, 78 doctorados y cinco especialidades. Se trata de programas orientados a la investigación, ya que sólo 28 presentan orientación profesional, lo que implica –como en el caso de la biotecnología y nanotecnología– una escasa vinculación con el sector privado. Son en su mayoría programas consolidados (71), seguidos de los que se encuentran en desarrollo (67), de reciente creación (48) y de competencia internacional (12).

A nivel nacional existen 73 instituciones –entre las que figuran centros de I+D, IT y universidades– que ofrecen programas de posgrado relacionados con tecnologías ambientales. La mayor parte de estas instituciones son de carácter público, mientras que sólo cuatro son privadas: ITESM, UPAEP, Universidad Autónoma de Guadalajara y Universidad del Noreste. Este tipo de instituciones se concentra –al igual que las relacionadas con la biotecnología y la nanotecnología– en el centro del país; sin embargo, existe una presencia importante en el norte y, en menor medida, en el sur.

Infraestructura y espacios de interacción en tecnologías ambientales

El cuadro 8 ofrece una lista de 12 instituciones –entre las que figuran parques de CTI y centros de I+D– dedicadas a la IDT de tecnologías ambientales en México. Los estados del centro albergan una mayor cantidad de estas instituciones (6), seguidos con igual número (3) por los del norte y sur.

CUADRO 8
Tecnologías ambientales: parques de CTI y centros de I+D

<i>Estado</i>	<i>Parque de CTI</i>	<i>Centro de I+D</i>
Baja California		Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
Chiapas		Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE)
Coahuila		Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)
Colima	Tecnoparque CLQ	
Guanajuato	Guanajuato Tecno Parque Unidad de Innovación, Aprendizaje y Competitividad de la Ibero	Centro Mexicano de Energías Renovables (Cemer)
Jalisco		Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Morelos	Parque Científico y Tecnológico Morelos	
Nuevo León	Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT)	
Oaxaca		Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional
Yucatán	Parque Científico y Tecnológico (PCTYuc)	

Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

Adicionalmente existen, auspiciadas por el Conacyt, dos redes temáticas cuyos seminarios, investigación y diversas actividades académicas se relacionan con el medio ambiente. Una se denomina Red Temática Medio Ambiente y Sustentabilidad, y la otra Fuentes de Energía. Ambas agrupan investigadores de seminarios en instituciones de todo el país. Por otro lado, existen varios Laboratorios Nacionales cuya infraestructura disponible permite realizar investigación científica básica y aplicada en materia de TA. El cuadro 9 muestra la lista de los Laboratorios Nacionales que reciben apoyo del Conacyt.

CUADRO 9
Tecnologías ambientales: Laboratorios Nacionales

<i>Estado</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Institución de adscripción</i>
Jalisco	Grupo Regional para el Conocimiento y Uso de la Flora del Centro y Occidente de México	Universidad de Guadalajara
Morelos	Laboratorio Nacional de Biodiversidad	Instituto de Biología (UNAM)
Sinaloa	Silvicultura Comunitaria	Universidad Autónoma Indígena de México
Sonora	Geología, Ambiente y Salud	Universidad de Sonora
Yucatán	Energías Renovables y Sustentabilidad Energética en la Región Sur-Sureste de México	Universidad del Mayab
Zacatecas	Sistemas embebidos, diseño electrónico avanzado y microsistemas	Universidad Autónoma de Zacatecas

Fuente: elaboración propia a partir de información del Conacyt.

Patentes

La búsqueda de tecnologías ambientales arrojó 883 patentes en un periodo de 33 años (1981-2014). De acuerdo con datos del IMPI, la gráfica 17 presenta la distribución de patentes de esta tecnología por país. Al igual que en la biotecnología y la nanotecnología, EUA ocupa el primer lugar con 377 patentes, seguido de Alemania, México, Francia y Reino Unido con 134, 60, 40 y 29 patentes, respectivamente. Por su parte, México registra 6.8 % de participación en relación con el total de patentes. De igual modo, en el IMPI se registraron 823 patentes de no residentes y 60 de residentes.

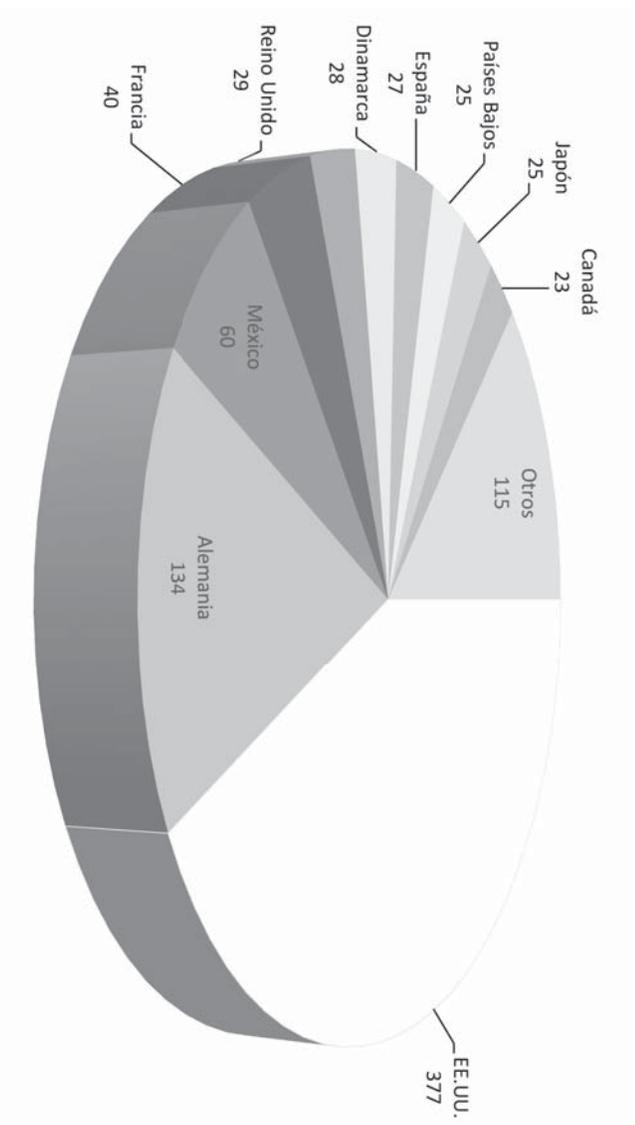
La mayoría de titulares de las 60 patentes provienen de IES con 26 patentes; luego aparecen investigadores independientes y empresas con 22 y 12 patentes, respectivamente. La gráfica 18 señala las principales instituciones titulares de patentes. El IMP, el ITESM y la UNAM sobresalen entre otras de índole privada.

Reflexiones finales

Con base en la evidencia empírica recolectada, las siguientes líneas presentan las reflexiones finales más relevantes de este trabajo.

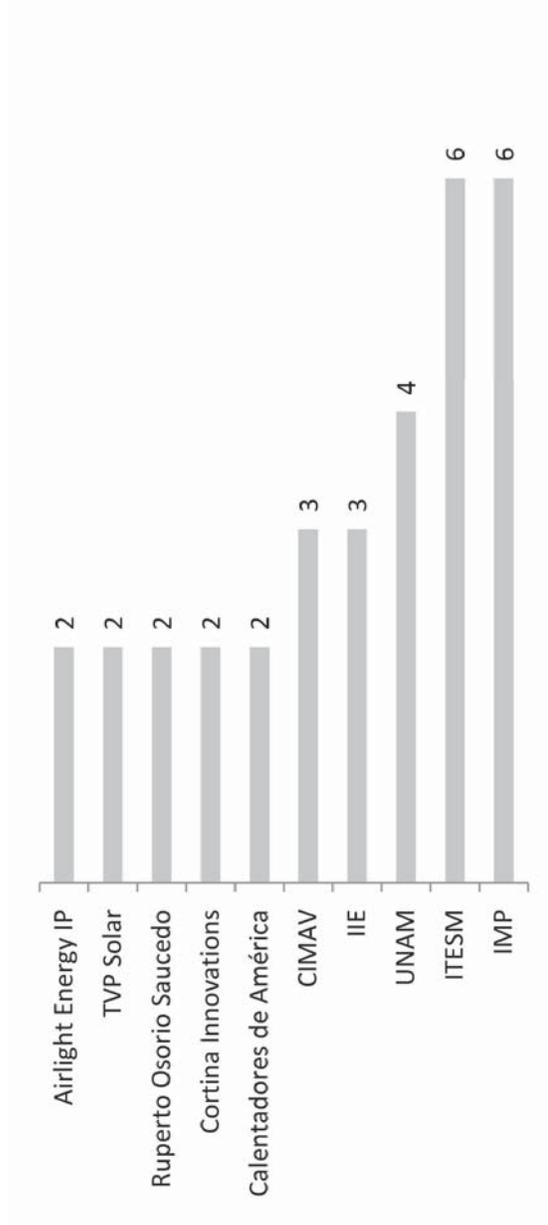
Si bien existen diversos programas públicos de fomento y financiamiento del desarrollo tecnológico y la innovación, la promoción de TPG, como la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías ambientales, no representa un aspecto significativo, a juzgar por los datos encontrados. Los programas emiten convocatorias por áreas temáticas, pero como se trata de tecnologías emergentes, los actores institucionales (IES, centros de investigación o empresas) son pocos en comparación con otras disciplinas y campos tecnológicos más desarrollados en el país. De acuerdo con las estadísticas y fuentes relativas a capacidad científica y tecnológica, infraestructura, recursos humanos, etcétera, la región centro y, en menor medida, la región norte del país, concentran el mayor dinamismo en las áreas tecnológicas que hemos analizado en este capítulo.

GRÁFICA 17
Tecnologías ambientales: distribución de patentes por país, 1981-2014



Fuente: elaboración propia a partir de información del IMPI.

GRÁFICA 18
Tecnologías ambientales: principales instituciones titulares de patentes



Fuente: elaboración propia a partir de información del IMPI.

El sector empresarial se comporta de manera modesta, tanto por los bajos niveles de inversión como por el registro de patentes. A pesar de tratarse de tecnologías que brindan oportunidades de desarrollo y competitividad (véase los capítulos 2 y 3 de este volumen) tenemos pocas empresas que elaboran productos utilizando estas tecnologías, y existe una escasa inversión en actividades de desarrollo tecnológico e innovación. Tomando en cuenta las fuentes y datos consultados, podemos decir que el desarrollo de tecnologías emergentes o de propósito general no se encuentra en las agendas de las IES y de los centros de investigación, y tampoco en las de las empresas en el país. Al respecto podemos enunciar dos hipótesis generales:

- la ausencia de proyectos, patentes, recursos humanos, etcétera, es reflejo de la inexistencia de planes estratégicos que ofrezcan incentivos específicos para el desarrollo de estos campos científico-tecnológicos; y
- la trayectoria industrial y tecnológica del país, así como la dinámica del mercado interno, no representan estímulos suficientes para incrementar la incorporación y el desarrollo de estas TPG.

Bibliografía

- Avnimelech, G., y M. Teubal (2008), “Evolutionary Targeting”, *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 18, pp. 151-166.
- Bresnahan, T., y M. Trajtenberg (1995), “General Purpose Technologies: Engines of Growth?”, *Working Papers*, National Bureau of Economic Research, disponible en <<http://bit.ly/1qHtmSf>>, consultado en diciembre de 2015.
- Comisión Europea (CE) (2011), “High-level Expert Group on Key Enabling Technologies: Final Report”, disponible en <<http://bit.ly/1wgW0Ni>>, consultado en diciembre de 2015.
- Constantino, R., y C. Muñoz (2004), “Mercados de tecnología ambiental y las capacidades institucionales para la gestión ambiental: el caso”, *Análisis Económico*, vol. 19, pp. 199-224.

- González, R., y R. Quintero (2008), “Biotecnología e innovación en México, ¿por qué ha pasado tan poco?”, en A. Martínez, P. López, A. García y S. Estrada (coords.), *Innovación y competitividad en la Sociedad del Conocimiento*, primera edición, Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior, México, pp. 63-76.
- Helpman E., y M. Trajtenberg (1998a), “A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based on General Purpose Technologies”, en E. Helpman (ed.), *General Purpose Technologies and Economic Growth*, Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Cambridge, pp. 55-83.
- (1998b), “Diffusion of General Purpose Technologies”, en E. Helpman (ed.), *General Purpose Technologies and Economic Growth*, MIT, Cambridge, pp. 85-119.
- Kemp, R., y P. Pearson (2008), “Measuring Eco-Innovation (MEI): Final Report of MEI Project for DG Research of the European Commission”, disponible en <<http://bit.ly/1d29eGF>>, consultado en diciembre de 2015.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2009), “Patent Statistics Manual”, disponible en <<http://bit.ly/1Mzhu1y>>, consultado en diciembre de 2015.
- (2013), “Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013”, disponible en <<http://bit.ly/1EAACRO>>, consultado en diciembre de 2015.
- RNN (2014), “Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México”, Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa (Funtec) / Centro de Investigación en Materiales Avanzados, disponible en <<http://bit.ly/1LNbtsI>>, consultado en diciembre de 2015.
- Trejo, S. (2010), “La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su factibilidad de desarrollo”, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada / Instituto Politécnico Nacional, disponible en <<http://bit.ly/1wrYZPZ>>, consultado en diciembre de 2015.

Villavicencio, D. (2012), “Incentivos a la innovación en México: entre políticas y dinámicas sectoriales”, en J. Carrillo, A. Hualde y D. Villavicencio (eds.), *Dilemas de la innovación en México*, México, pp. 27-72.

Záyago, E., y G. Foladori (2010), “La nanotecnología en México: un desarrollo incierto”, *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 10, pp. 143-178.

Fuentes electrónicas

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior disponible en <<http://bit.ly/1yjhOdZ>>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología disponible en <<http://bit.ly/1A-fEwOx>>; <<http://bit.ly/1PZyA4q>>; <<http://bit.ly/1F4rdmg>>; <<http://bit.ly/1AhmkpK>>; <<http://bit.ly/1ebuydH>>; <<http://bit.ly/1dFW56z>>; <<http://bit.ly/1KoSHHU>>.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico Biotecnología disponible en <<http://bit.ly/1RIx1YS>>.

Nanotecnología disponible en <<http://bit.ly/1SkzqJV>>; <<http://bit.ly/1RI-zAdn>>; <<http://bit.ly/1zBRIDn>>; <<http://bit.ly/1QcsDTM>>; <<http://bit.ly/1BnpO9O>>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía disponible en <<http://bit.ly/1Fd0LXH>>.

Instituto Mexicano de Propiedad Industrial disponible en <<http://bit.ly/1ZIOI0I>>.

United States Patent and Trademark Office disponible en <<http://1.usa.gov/1YLxWhm>>

14. Encuesta sobre capacidades en transferencia tecnológica de empresas y oficinas de transferencia en México

Antonio Chiapa Zenón y Daniel H. Villavicencio Carbajal

Introducción

El objetivo de este capítulo es doble: mostrar los resultados de una encuesta realizada a empresas y oficinas de transferencia de tecnología (OTT) sobre sus capacidades en transferencia de tecnología (TT), y contrastar dichos resultados con los hallazgos de los estudios de caso realizados en el marco del proyecto. La complementariedad de los análisis cuantitativo y cualitativo es un aspecto importante que debe tomarse en cuenta cuando los procesos que se pretende analizar son complejos. Por cuanto la investigación general no sólo aborda el asunto de las barreras e incentivos a la investigación aplicada, sino que además comprende en gran medida procesos de cooperación y transferencia de conocimiento entre agentes, es importante delimitar los alcances de la encuesta en lo relativo a los aspectos cualitativos de los estudios de caso que presentamos con anterioridad.

El capítulo se estructura de la siguiente manera. En el apartado que sigue a esta introducción se presenta la problematización de la encuesta dirigida a empresas y oficinas de transferencia que realizaron proyectos en biotecnología y nanotecnología en tres sectores: alimentos, salud y medio ambiente. Se muestran los problemas técnicos de una encuesta de esta índole y el alcance de la significancia estadística del ejercicio.

En el tercer apartado se presenta el tema de las capacidades en transferencia de tecnología. El objetivo es mostrar los diferentes patrones de comporta-

miento encontrados en la población a que se aplicó el cuestionario y mostrar los hechos estilizados que definen las capacidades en transferencia de los casos presentados en este libro. En el cuarto apartado se muestran los obstáculos e incentivos para la TT. Uno de los objetivos fue identificar los problemas y los aspectos facilitadores para generar procesos de TT exitosos en los agentes encuestados, y comparar dichos problemas e incentivos con los estudios de caso; otro objetivo fue realizar un mapa perceptual —a partir de una serie de atributos definidos *a priori*— de las capacidades de transferencia tecnológica. En este sentido se establece una comparación entre los hallazgos de la encuesta y los elementos observados en la investigación cualitativa, a través de las monografías presentadas en los capítulos precedentes. Finalmente se presentan las conclusiones en relación con el patrón diferenciado de comportamiento en TT y con la percepción de las empresas sobre los obstáculos y habilitadores para llevar a cabo algún aspecto relacionado con la transferencia de tecnología.

*Problematización de la encuesta sobre TT
en biotecnología y nanotecnología*

El tema de transferencia de tecnología ha sido de creciente interés para la economía a partir de las últimas décadas del siglo pasado (Mansfield, 1975). De manera general, el concepto está asociado a la transferencia comercial entre y, en menor medida, dentro de las fronteras de un país (Lall, 1992). Las tendencias de esta literatura han sido las siguientes:

- el análisis cuantitativo a través de indicadores entre países; por ejemplo, el número de patentes extranjeras utilizadas (Cantwell, 1995), o los costos de transferencia de maquinaria de empresas multinacionales (Teece, 1977);
- el análisis de la globalización de la tecnología, el cual pone el énfasis en los procesos macro y en los beneficios para los países emergentes o en vías de desarrollo que adquieren tecnología proveniente de otros países (Lissoni y Metcalfe, 1995), y

- el análisis del papel que cumplen las grandes empresas multinacionales (Teece, 1997; Chesnai, 1988; Helleiner, 1975; Dunning, 1981) en el proceso de creación y transferencia de tecnología.

El análisis micro de los procesos de transferencia de conocimiento y tecnología ha sido tomado lo mismo por la sociología que por la literatura de la gestión de proyectos, por la gestión del conocimiento, etcétera. Pero independientemente de los enfoques, para nuestro estudio el problema radica en las múltiples formas de definir los procesos de transferencia, ya que la definición dependerá de la naturaleza del conocimiento y de la tecnología en el seno de una empresa (Villavicencio y Arvanitis, 1994); de la complejidad de los procesos productivos, y de las capacidades de absorción de la empresa (Cohen y Levinthal, 1990). Asimismo, la heterogeneidad de la industria y del área tecnológica en los procesos de transferencia, y la falta de un marco o identificación de la población universo para el caso de la biotecnología (BT) y la nanotecnología (NT), constituyen elementos que deben tomarse en cuenta a la hora de definir el conjunto de variables indagadas por una encuesta.

Con respecto al universo de empresas por encuestar, existen problemas de metodología en la conformación de un sector tecnológico-industrial como tal, debido a que la información disponible en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) y en otras fuentes se encuentra en función de la industria determinada (química o automotriz, o electrónica, etcétera) a que pertenecen las empresas y no del área tecnológica en cuanto tal. Para el caso particular de sectores tecnológicos emergentes, como la biotecnología y la nanotecnología, los problemas se incrementan por la dificultad de identificar el universo de empresas que se dedican a estas actividades. La aplicación transversal de dichas tecnologías a un amplio espectro de sectores industriales, la falta de una definición clara y operativa que permita identificar a las empresas como desarrolladoras y/o usuarios, y la inexistencia de un directorio de empresas con estas actividades, son algunos de los factores que dificultan la identificación del universo.

Adicionalmente, la mayoría de las empresas que se dedican a estas actividades son MiPyMES y la tasa de mortandad hace que el seguimiento y monitoreo de las mismas, a través de directorios industriales previos, sea aún más difícil.

Así, el problema de la aplicación de una encuesta en TT para los sectores de BT y NT radica en que el universo no está rigurosamente definido, así como en la dificultad de extrapolar las conclusiones.

El valor de este trabajo está en que describe estadísticamente las capacidades y la percepción de los encuestados en lo relativo a los obstáculos y los habilitadores para la transferencia de tecnología. La hipótesis sobre la que se construye este ejercicio es que existen dos agentes fundamentales para el análisis de la TT en estas áreas: en términos de la construcción de capacidades, los patrones de comportamiento deben ser distintos; pero en términos de los habilitadores y obstáculos para la transferencia, deben ser similares, debido a que comparten un mismo contexto institucional. La utilidad de este análisis es doble: permite caracterizar las capacidades en transferencia, y posibilita la realización de una síntesis de los hitos en TT en las áreas de biotecnología y nanotecnología para futuros estudios y para la toma de decisiones en política pública.

Son dos los agentes que hemos encuestado: por un lado, las empresas identificadas con proyectos de biotecnología y nanotecnología apoyadas con fondos de financiamiento público, de acuerdo con información proporcionada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt); y por el otro, las OTT.

Un aspecto adicional de nuestro análisis radica en la identificación de los hechos estilizados encontrados en los nueve estudios de caso que servirán para robustecer la interpretación de las capacidades e hitos en TT a partir de la encuesta.

Una vez identificado el marco muestral de agentes relacionados con los sectores que aquí nos ocupan, conformamos una base de datos con 174 empresas y 42 OTT relacionadas con las tecnologías que interesan a nuestra investigación. Posteriormente contactamos a cada uno vía telefónica o por correo electrónico y enviamos un cuestionario electrónico. La tasa de respuesta fue de 27%. Nuestro marco referencial es de 38 empresas y 19 OTT. El primer hallazgo importante es que una cuarta parte de las oficinas no ha realizado ninguna actividad de transferencia. Por otro lado, una tercera parte de las empresas tampoco lo ha hecho. El marco final se presenta en la siguiente tabla:

CUADRO 1
Marco muestral final

<i>Tipo de organización</i>	<i>Número de encuestas</i>
Empresas	24
OTT	14

Fuente: elaboración propia.

Capacidades de transferencia tecnológica

El concepto de capacidades está definido en gran medida por los recursos de las organizaciones para la transformación de insumos productivos vía el uso de conocimiento específico embebido en rutinas y habilidades de los individuos (Penrose, 1959; Nelson y Winter, 1982). Diversos autores han señalado la importancia de este concepto para analizar el desarrollo tecnológico como consecuencia de inversiones realizadas por las empresas en respuesta a estímulos y en interacción con otros agentes económicos tanto privados como públicos, locales y extranjeros (Lall, 1992).

La literatura de las capacidades pone el énfasis en dos elementos:

- los recursos disponibles para el desarrollo tecnológico, los cuales pueden ser materiales (financieros, equipo, instalaciones), humanos e intangibles (modelos organizacionales); y
- el número y tipo de proyectos realizados con que las organizaciones pueden capitalizar el aprendizaje tecnológico generado.

Esto último hace referencia a la forma en que las empresas logran utilizar el conocimiento y las experiencias adquiridas en un proceso creador de mejores o nuevos productos y procesos productivos. El aprendizaje es un proceso acumulativo que da origen a las capacidades tecnológicas y organizacionales de las empresas: cuanto mayor sea el aprendizaje, más serán las capacidades (Villavicencio y Arvanitis, 1994).

En ese sentido, aprender a cooperar con otros agentes, o a asimilar el conocimiento proveniente de un centro tecnológico o de una universidad, son capacidades que se adquieren sobre la marcha, en la ejecución misma de un proyecto. Los errores y aciertos en un caso sirven para mejorar la interacción en un segundo caso, del cual se obtienen nuevas experiencias que harán un tercer caso más eficiente, y así sucesivamente. La hipótesis empírica que subyace tras la idea anterior es que una empresa que haya tenido una primera experiencia de transferencia tecnológica con una universidad o centro de investigación cuenta con mayor capacidad lo mismo para llevar a cabo proyectos tecnológicos que para volver a cooperar con otro agente de la academia.

Este trabajo construye el concepto de capacidades en TT en una vía similar a la de las capacidades en desarrollo tecnológico; es decir: las capacidades son los recursos disponibles en las empresas para llevar a cabo proyectos en cooperación con otros agentes. Sin embargo, debido a las dificultades en el revelamiento de los datos se reúnen sólo siete variables para las dimensiones de recursos y desempeño.

En el cuadro 2 se hace una comparación de las medias de las dos poblaciones. En la primera columna tenemos las variables con las que se miden los recursos y el desempeño. De acuerdo con las preguntas de la encuesta, los recursos se evalúan considerando el número y el grado académico del personal dedicado a actividades en TT, así como tomando en cuenta la capacidad de contar con un modelo de transferencia de tecnología formal.

De manera descriptiva se aprecian diferencias importantes en cada una de las variables de recursos. La más notoria es la relacionada con el número de personal. Mientras que las OTT cuentan con 18 trabajadores promedio, las empresas sólo tienen siete, es decir, menos del doble. Sin embargo, al realizar una prueba de significancia estadística se puede afirmar que para el 90 % no existen diferencias entre los recursos utilizados por estos dos tipos de organizaciones en términos del número de empleados y el tipo de especialización requerida. Por otro lado, sí se observa una diferencia altamente significativa entre empresas y OTT por lo que se refiere al uso de un modelo formal para transferir tecnología; ello resulta lógico porque las OTT tienen la función específica de ser intermediarias en la TT entre academia e industria.

CUADRO 2
Diferencia estadística promedio de las capacidades en TT

<i>Dimensión</i>	<i>Variable</i>	<i>Empresas</i>	<i>OTT</i>	<i>P value</i>
		<i>n=24</i>	<i>n=14</i>	
<i>Recursos</i>	1. Personal dedicado TT	7	18.14	0.3229
	2. Prom. Licenciados	2.75	7.21	0.9753
	3. Prom. Maestros	1.958	6.642	0.1035
	4. Prom. Doctores	0.875	3.07	0.4731
	5. Modelo en TT	0.1666	0.857	4.071e-05 ***
<i>Desempeño</i>	6. Núm. Proyectos TT	2.33	17.214	0.075 *
	7. Ingresos obtenidos de TT	\$ 1 455 458	\$ 27 114 286	0.068 *

Fuente: elaboración propia.

*** Altamente significativo al 90 %

* Es significativo al 90 %

Con respecto al desempeño, hay una diferencia estadística apenas significativa entre ambas organizaciones, a pesar del contraste que existe entre el número de proyectos de TT correspondiente a cada una de ellas. En cuanto a los ingresos obtenidos, se aprecia un valor de la prueba apenas significativo. Se puede afirmar que sí existe una diferencia entre los ingresos obtenidos por actividades de TT. Así, aunque el comportamiento de las empresas es similar en número de proyectos, la retribución en capital de los mismos es menor que el que presentan las OTT.

Actividades de transferencia

En un primer análisis sobre tareas relacionadas con procesos de TT, la encuesta pregunta sobre las actividades que desarrollan de manera operativa de acuerdo con cuatro rubros:

- fases de desarrollo tecnológico de proyectos;
- articulación con otros agentes productivos;
- recursos financieros, y
- recursos humanos.

De manera descriptiva, en el cuadro 3 se observa que la mayoría de las actividades se concentra en prestaciones de servicios de investigación (22); le siguen la gestión en investigación y desarrollo (I+D) en colaboración con otros agentes económicos (20), y la gestión de protección de conocimiento (19). Las categorías menos frecuentes son: gestión de capital semilla (siete) y gestión de un parque científico y tecnológico (cinco). Se corrió una prueba exacta de Fisher para establecer si existía una diferencia estadística entre las actividades. Una vez más no se confirma la diferencia entre capacidades en TT. Sin embargo, en el rubro de capital semilla es posible afirmar que el comportamiento de las OTT es diferente del de las empresas.

CUADRO 3
Tipo de actividades en TT

	Empresa	OTT
Servicio de investigación	13	9
Gestión I+D en colaboración	10	10
Propiedad Intelectual	7	11
Licencias	4	8
Contratos de I+D cons.	8	9
Prestación de servicio técnico	7	8
Creación empresas	3	10
Gestión parque científico y tecnológico	2	3
Capital Semilla	1	6
Recursos humanos por contrato	6	7

Fuente: elaboración propia.

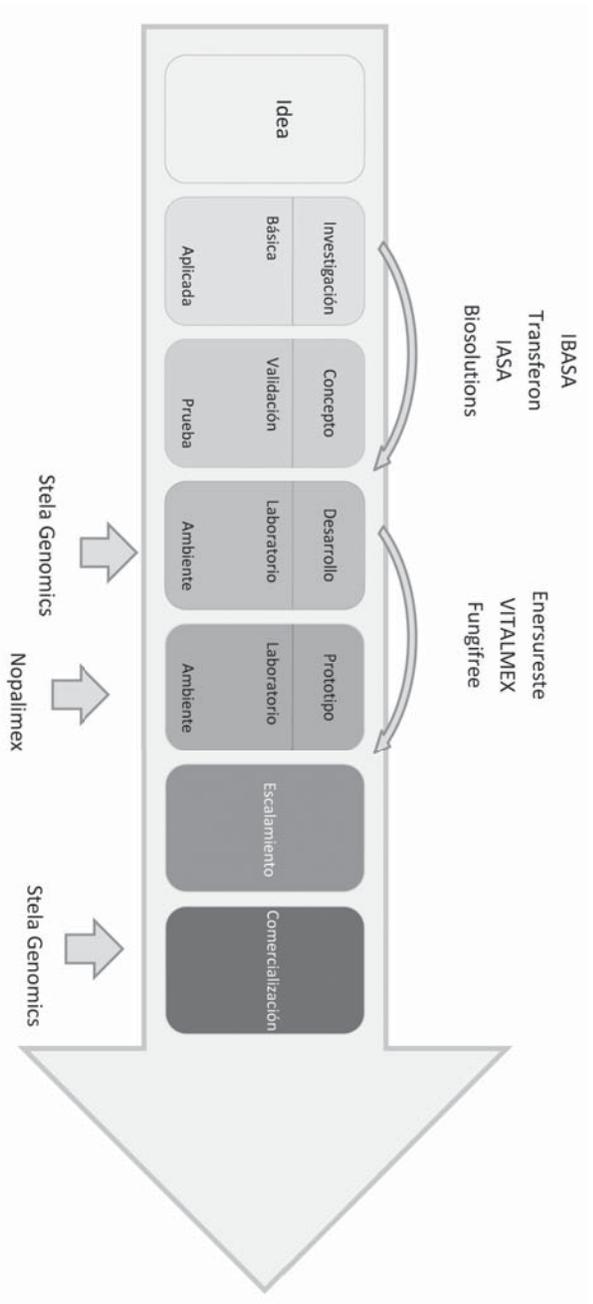
Cuando se les preguntó de manera más específica por actividades en TT en áreas de biotecnología y nanotecnología, la participación de las empresas fue casi nula. De tal manera, y para profundizar en la caracterización de las actividades relacionadas con la fase de desarrollo de los proyectos (gris en el cuadro 3), se utiliza la información de las monografías presentadas.

En la gráfica 1 se aprecia el ciclo de desarrollo tecnológico de acuerdo con la metodología Nivel de Preparación Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés). El esquema nos sirve para ubicar las empresas en una determinada fase o estadio, de acuerdo con el estudio monográfico que realizamos.

De conformidad con los capítulos monográficos anteriores, podemos considerar que Ingeniería Biotecnológica Ambiental Sustentable y Acuícola (IBA-SA), Investigación Aplicada S. A. (IASA) y BioSolutions realizan procesos de TT en los primeros niveles del TRL. Éstos van desde la investigación (algunas veces básica) hasta las pruebas de validación en un ambiente de laboratorio. Tenemos un segundo grupo que ha realizado ejercicios de transferencia de tecnología al vincularse con centros de investigación para el desarrollo tecnológico y de prototipos, ya sea a nivel laboratorio o en ambientes cercanos a circunstancias reales. En este grupo tenemos a las empresas Enersureste, Innovamedica y Fungifree. En la parte baja de la gráfica se presenta a StellaGenomics y a Nopalimex. En ambos casos los procesos de transferencia están ubicados tanto en el desarrollo como en la elaboración de prototipos de sus proyectos relacionados con la biotecnología.

A partir de esta caracterización se plantea que el origen y la trayectoria de las empresas podrían dar cuenta de la diferencia entre los patrones de comportamiento en transferencia mostrados anteriormente, o bien apuntalar algunos hechos estilizados que no se reportan en el ejercicio cuantitativo. En la gráfica 2 se muestra en el eje horizontal la línea de tiempo en que las empresas se iniciaron. Se aprecian claramente dos tipos de empresas: las que tienen varias décadas de existencia y las que tienen menos de una década de existencia. Las primeras incorporaron actividades de biotecnología a partir de rutinas organizacionales maduras.

GRÁFICA 1
Áreas de transferencia de tecnología de los nuevos casos de estudio



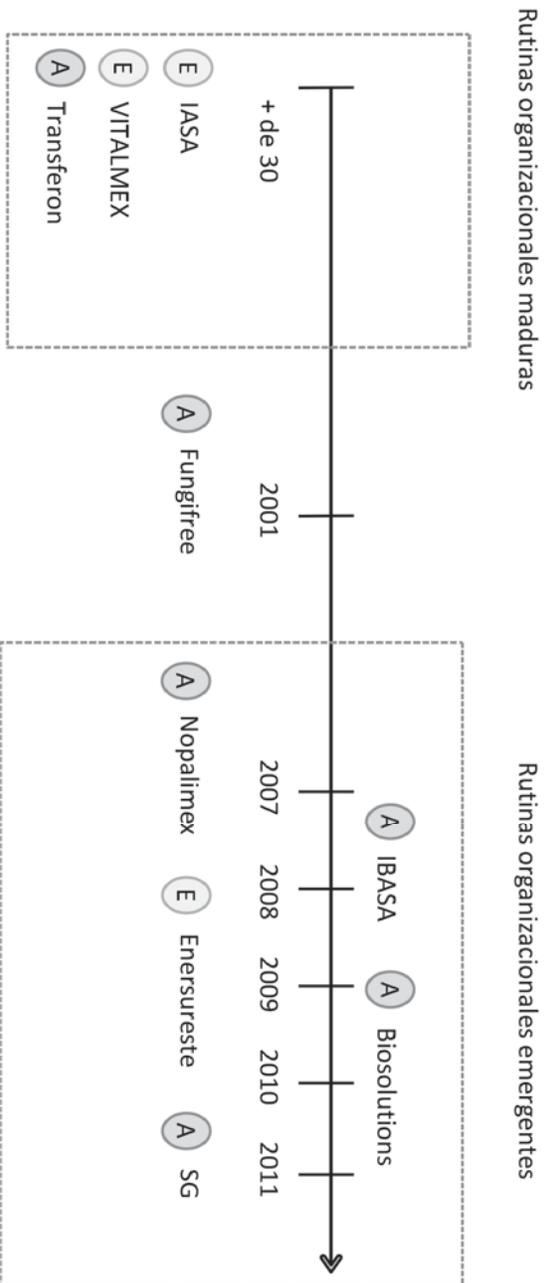
Fuente: elaboración propia.

También caracterizamos a las empresas de acuerdo con su origen: las que derivaron de una acción de emprendimiento industrial (E), y las que tuvieron su origen en la academia (A). Esta variable nos ayuda a encontrar diferencias cualitativas en el desempeño y capitalización de los procesos de transferencia de tecnología. Por ejemplo, IASA y Vitalmex han escalado sus capacidades financieras, de desarrollo tecnológico y administrativas. Por un lado, IASA cuenta con un modelo formal de gestión tecnológica e innovación que le permite hacer ejercicios de vigilancia, planeación, estrategias de protección e identificación de agentes habilitadores de tecnología sin comprometer la comercialización en el corto, medio y largo plazos de su portafolio de tecnologías. Vitalmex ha escalado paulatinamente sus capacidades financieras, de comercialización, de escala y administrativas, las cuales le han servido para incorporar el plan tecnológico dentro de la organización. Ambas son de origen empresarial y se distinguen claramente de la empresa Transferon, que tuvo su origen en la academia. La historia de esta empresa –surgida de la inquietud académica por ofrecer una solución alternativa al tratamiento de enfermedades inmunomediadas– presenta una serie de hitos caracterizados por capacidades de desarrollo y comercialización limitadas, y por problemas severos para establecer la idea de una necesidad clara de mercado.

Del otro lado del espectro, tenemos a empresas con rutinas organizacionales emergentes. En este grupo figuran IBASA, BioSolutions, Nopalimex, Enersureste y StellaGenomics. Este conjunto es más heterogéneo y, por lo mismo, su análisis resulta más complejo. Las empresas de origen académico de este grupo son micro o pequeñas, y realizan procesos de transferencia en las etapas de investigación y prototipado. No se involucran en ejercicios de transferencia en las etapas de comercialización, por ejemplo a través de licenciamientos.

De manera general se infiere que estas empresas tienen capacidades bajas en transferencia de tecnología, de comercialización, financiamiento y desarrollo tecnológico. No obstante, en el caso de StellaGenomics esta falta de competencias organizacionales es sustituida por fuertes capacidades relacionales y por la amplia trayectoria de sus fundadores en materia de comercialización y fuentes de financiamiento.

GRÁFICA 2
Traectoria y origen de las empresas



Fuente: elaboración propia.

Para el caso de Nopalimex, el origen es mixto. Uno de sus fundadores era un empresario que ya contaba con una empresa. Enersureste surgió con el objetivo de ofrecer soluciones de energía renovable. Ambas empresas tienen actividades de TT en las fases de desarrollo tecnológico y prototipado. No realizan transferencia en las etapas de investigación, escalamiento y comercialización. Si bien estas empresas cuentan con ciertas capacidades en comercialización, desarrollo tecnológico y financiamiento, todavía no cuentan con procesos sistematizados que den soporte a sus actividades de comercialización. Carecen de rutinas de vigilancia, de modelos de gestión y de procesos formales de planeación en propiedad intelectual.

Incentivos y obstáculos a la TT

A partir de los conceptos usados en la gráfica 2, se identifican los obstáculos y los habilitadores en transferencia de tecnología que conforman los hitos de los estudios de caso realizados. En el cuadro 4 se presenta una tabla de contingencia que muestra el tipo de obstáculos encontrados. En los renglones se encuentra el tipo de rutinas organizacionales (variable trayectoria); en las columnas, el tipo del emprendimiento (la variable origen).

Para las empresas con varias décadas de existencia se puede hacer una distinción con base en su origen. Las empresas de origen académico han enfrentado obstáculos de mercado y escalamiento, en la gestión de I+D, y la ausencia o insuficiencia de un marco normativo universitario que les permita apropiarse de los beneficios del desarrollo tecnológico; mientras que las organizaciones con antecedentes empresariales enfrentaron problemas de coordinación con el agente vinculado, así como los relacionados con las certificaciones de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) y con la información para la toma de decisiones sobre la estrategia de propiedad intelectual. Así, en tanto las primeras están relacionadas con la obtención de conocimiento y capacidades para llegar al mercado y acotar sus procesos productivos, las segundas se encuentran abocadas a generar insumos y mecanismos que les permitan definir sus estrategias y acortar los tiempos de comercialización.

CUADRO 4
Obstáculos de acuerdo con el origen y la trayectoria

	<i>Empresa</i>	<i>Academia</i>
<i>Rutinas maduras</i>	Certificaciones (2)	Escala, gestión de procesos I+D
	Coordinación con el agente vinculado	Capacidades de investigación e infraestructura
	Información PI	Demanda
	Capacidades. empresariales del <i>spin off</i>	Marco legal y normativo de las universidades
	Financiamiento	
<i>Rutinas emergentes</i>	Financiamiento	Conocer el mercado
	Coordinación con el agente vinculado	Capacidades empresariales
	Marco de política pública	Negociación de PI
		Marco legal y normativo de las universidades
		Comercialización
		Escalamiento y tamaño de empresa

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los emprendimientos recientes, para los casos de origen académico tenemos que los obstáculos de mercado, comercialización, marco legal, escalamiento y normativo siguen presentes. Para los emprendimientos de origen empresarial, los problemas que se mencionan son: financiamiento, coordinación con el agente vinculado y marco de política pública. La tensión entre mercado y comercialización no es tan marcada como la expuesta anteriormente.

Con respecto a los habilitadores, se incluyen también incentivos que marcaron hitos importantes en el desarrollo de las organizaciones. En el cuadro 5 se presentan estos hallazgos. En las columnas se presenta el origen de las empresas, y en los renglones, el tipo de trayectoria.

CUADRO 5
Habilitadores de acuerdo con el origen y la trayectoria

	<i>Empresa</i>	<i>Academia</i>
<i>Rutinas maduras</i>	Proveedor usuario	Vinculación TT
	Alianzas estratégicas	Capacidades empresariales
	Vinculación TT (2)	
	Capacidades empresariales (2)	
	Modelo de T&I.	
<i>Rutinas emergentes</i>	Vinculación TT (2)	Red de agentes (3)
	Iniciativa empresarial	Iniciativa empresarial
	-diversificación	-diversificación
	Experiencia en el sector	Vinculación TT
	Proveedor-usuario	Financiamiento (2)
	Financiamiento	Propiedad intelectual

Fuente: elaboración propia.

En comparación con el cuadro 4 de obstáculos, no se aprecian dicotomías tan marcadas de acuerdo con el origen. De manera general se observa que la transferencia de tecnología de algún centro de investigación o universidad es un hito muy importante. Si confrontamos las columnas, el tema de la importancia de la relación proveedor-usuario es un diferenciador que no tiene la academia.

Si cotejamos entre renglones, las capacidades empresariales son un habilitador que ha permitido a los emprendimientos “maduros” tener éxito en sus procesos de transferencia. Por otro lado, el acceso a financiamiento es algo que ha permitido a las empresas “jóvenes” llevar a buen puerto sus ideas y desarrollos.

A continuación se presentan los resultados de la encuesta sobre obstáculos y habilitadores, y se hace un ejercicio comparativo con los hallazgos de los estudios de caso. Con respecto a los obstáculos se les preguntó cuál de los siguientes *ítems* es, de acuerdo con su experiencia, un problema para la transferencia de tecnología.

- Falta de conocimiento sobre la dinámica de la demanda del mercado.
- Estructura del mercado (*e.g.* fuertes barreras a la entrada).
- Falta de recursos humanos especializados.
- Falta de una red de proveedores nacionales especializados.
- Problemas con la cadena de suministros.
- Marco regulatorio (Cofepris).
- Régimen de propiedad intelectual.
- Ley orgánica de las universidades.
- Inexistencia de oficina/área de vinculación en las universidades y centros de investigación.

En el cuadro 6 se presentan los obstáculos identificados por nivel: si se encuentran relacionados con el entorno inmediato de la empresa, se denominan “micro”; si pertenecen al ámbito de otros agentes institucionales, se les asigna la etiqueta “meso”; y si están implicados aspectos sistémicos, se les llama “macro”. En la última columna se presenta la clave con la que aparecen en el mapa perceptual.

A continuación se presenta el mapa perceptual para la parte de obstáculos. En la gráfica 3 se muestra un mapa en dos dimensiones para una matriz rectangular de preferencias. En el plano bidimensional yacen los ítems que se evaluaron (claves) y las empresas y OTT (número asignado). Las empresas tienen la numeración del 1 al 18, y del 33 al 38; las OTT, del 19 al 32.

CUADRO 6
Tipo de obstáculos

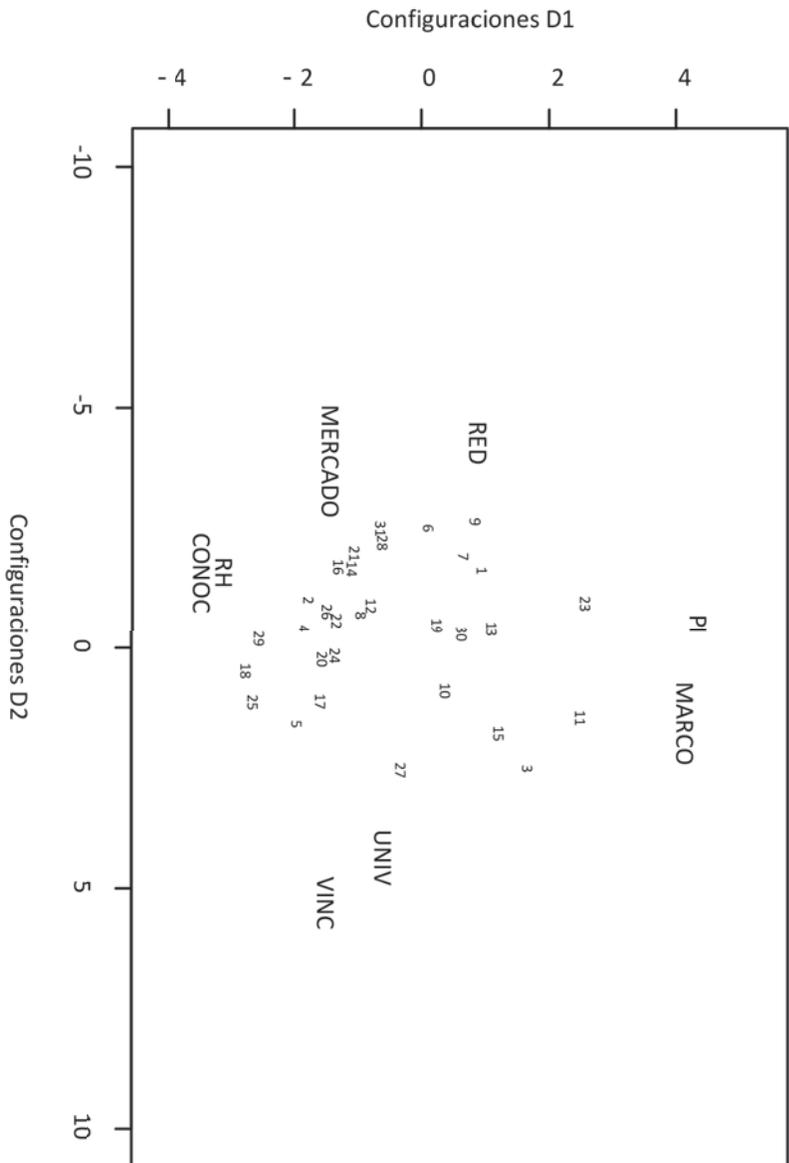
<i>Nivel</i>	<i>Obstáculo</i>	<i>Clave</i>
<i>Micro</i>	Falta de conocimiento sobre la demanda del mercado	Conoc
	Falta de una red de proveedores especializados	Red
<i>Meso</i>	Inexistencia de área de vinculación en universidades y CI	Vinc
	Ley orgánica de universidades	Univ
	Falta de recursos humanos especializados	RH
<i>Macro</i>	Régimen de propiedad intelectual	PI
	Marco regulatorio (Cofepris)	Marco
	Estructura del mercado	Mercado

Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 3 no se aprecia una formación clara de grupos. Si se analizan los obstáculos encontramos que la percepción está asociada a cuatro posibles grupos.

- Grupo 1: la falta de conocimiento sobre la dinámica de la demanda del mercado y la falta de recursos humanos especializados, son aspectos que se perciben cercanos el uno al otro, aunque se clasificaron en diferentes niveles: micro y meso, respectivamente; las organizaciones los asocian en un mismo nivel.
- Grupo 2: la estructura del mercado y la falta de una red de proveedores especializados tienen una relación cercana, a pesar de que teóricamente se asignaron a los niveles macro y meso.
- Grupo 3: aquí se encuentran la ley orgánica de las universidades y la falta de un área de vinculación en universidades y centros de investigación; éstos se perciben como obstáculos similares y ambos se encuentran en el nivel meso.
- Grupo 4: finalmente, en la parte superior del plano se encuentran los ítems de Régimen de propiedad intelectual y problemas con la cadena de suministros y Marco regulatorio (Cofepris). Estos conforman el nivel macro.

GRÁFICA 3
Mapa perceptual de obstáculos



Fuente: elaboración propia.

De manera general se observa que la asignación de los obstáculos a los niveles micro, meso y macro puede no ser apropiada con base en la percepción de los encuestados. Según parece, una taxonomía más adecuada sería la que divida los conceptos en cuestiones de organización industrial (estructura de mercado y cadenas de proveeduría), aspectos institucionales (legislaciones), vinculaciones con universidades y centros de investigación, y recursos humanos (como instrumento para conocer la dinámica del mercado y la preferencia de sus consumidores).

Si se analiza por tipo de organización (empresa/ OTT), se aprecia que las empresas se encuentran distribuidas a lo largo del Grupo 1 y del Grupo 2, principalmente, y en menor medida en el Grupo 3 y el Grupo 4. Esto coincide con la evaluación cualitativa, ya que la transferencia de tecnología en actividades de vinculación es considerada un habilitador y no un obstáculo.

A continuación se presenta la lista de *ítems* que se presentaron en la encuesta como incentivos.

- Programas públicos de apoyo al desarrollo de tecnologías y a investigación y desarrollo (I+D) con fomento de la vinculación (Programa de Estímulos a la Innovación [PEI], Fondo de Innovación Tecnológica [FIT]).
- Programas públicos de apoyo para formar consorcios universidad-empresa de investigación aplicada.
- Programas de incubadoras de empresas.
- Fomento de parques científico-tecnológicos.
- Programas para contratar egresados de doctorado/maestría.
- Posgrados en atención a las demandas de la industria.
- Capacitación en co-propiedad intelectual.
- Existencia de oficina/área de vinculación en las universidades y centros de investigación.
- *Start ups-spin offs*.

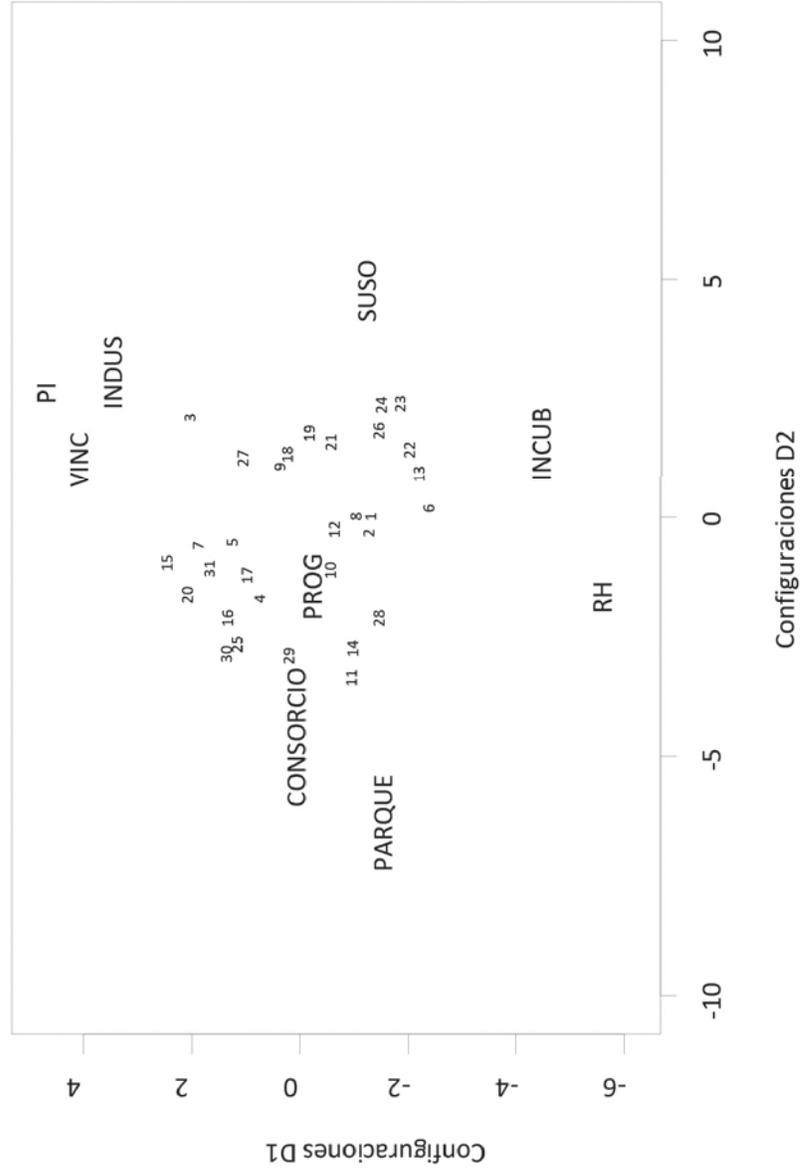
En cuanto a los habilitadores, el cuadro 7 muestra la clasificación de acuerdo con el nivel del incentivo. Los aspectos micro se han definido como todos aquellos que se encuentran en el ámbito de la empresa; el nivel meso corresponde a las acciones de agentes intermedios (como universidades, otras empresas, etcétera); y en el ámbito macro se han colocado los programas gubernamentales que promueven actividades de ciencia y tecnología (CyT) e I+D. Además, en la última columna se muestra la clave con que aparecen en el mapa perceptual.

CUADRO 7
Tipo de incentivos

<i>Nivel</i>	<i>Incentivo</i>	<i>Clave</i>
<i>Micro</i>	<i>Start ups - spin offs</i>	SuSo
	Capacitación en co-propiedad intelectual	PI
<i>Meso</i>	Posgrados en atención a las demandas de la industria	Indus
	Fomento a parques de CyT	Parque
	Programas para contratar egresados de doctorado y maestría	RH
	Existencia de oficina/área de vinculación en las universidades y/o CI	Vinc
<i>Macro</i>	Programas públicos al desarrollo de tecnologías e I+D con fomento a la vinculación (PEI, FIT)	Prog
	Programas públicos de apoyo para formar consorcios universidad-empresa de investigación aplicada	Consortio
	Programas e incubadoras de empresas	Incub

Fuente: elaboración propia.

GRÁFICA 4
Mapa perceptual de incentivos



Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la gráfica 4, los incentivos se agrupan esencialmente en dos conjuntos. En la parte superior se encuentra el primer grupo, formado por las categorías de capacitación en co-propiedad Intelectual, posgrados en atención a las demandas de la industria, y existencia de oficina/área de vinculación en las universidades y centros de investigación. Dos de los *ítems* se encuentran dentro de la dimensión meso, y uno de ellos (Capacitación en co-propiedad intelectual) pertenece al nivel micro.

Un segundo grupo está constituido por las siguientes categorías: programas públicos de apoyo al desarrollo de tecnologías y a investigación y desarrollo (I+D) con fomento de la vinculación (PEI, FIT), y programas públicos de apoyo para formar consorcios universidad-empresa de investigación aplicada y fomento de parques de CyT. Los primeros dos se encuentran en el nivel macro, pero el segundo en el nivel meso.

Finalmente, existen tres categorías alejadas del resto de los *ítems*:

- programas de incubadoras de empresas;
- programas para contratar egresados de doctorado/maestría, y
- el apoyo a *start-up/spin off*.

Cada una de ellas pertenece a un nivel propuesto distinto. Al igual que en el ejercicio de obstáculos, se muestra una divergencia entre la percepción de los conceptos y la categorización propuesta.

Conclusiones

Como se pudo constatar, las capacidades en TT de empresas y OTT no difieren estadísticamente entre sí. Aunque de manera descriptiva se observa una clara diferencia entre los recursos utilizados y el desempeño de sus capacidades; estadísticamente sólo hay una diferencia significativa en términos de la prevalencia de un modelo formal para la TT por parte de las OTT.

Para las actividades de transferencia de tecnología, se concluye que aquellas en las que se involucran las empresas de los estudios de caso pertenecen a las

etapas medias del ciclo de desarrollo tecnológico de sus proyectos. Es evidente la falta de participación de las OTT en etapas de comercialización y estudios previos de mercado. Además, es clara la nula participación de otros agentes o consultorías especializadas lo mismo en la generación de las ideas de negocio que en la clara, sistemática y formal conexión con necesidades factibles para la industria.

Se encontraron algunos hechos estilizados en los patrones de comportamiento de TT a partir de la trayectoria y el origen de las empresas. Mientras que los emprendimientos de origen empresarial y con rutinas organizacionales maduras se encuentran abocados a generar insumos y mecanismos que les permitan definir sus estrategias y acortar los tiempos de comercialización, los de origen académico se orientan a la obtención de conocimiento y de capacidades para llegar al mercado y acotar sus procesos productivos.

Con respecto a los incentivos, el elemento diferenciador es la relación proveedor-usuario: mientras que para las organizaciones de origen empresarial es un habilitador, para las empresas de origen académico, no. Si cotejamos con respecto a la trayectoria, las capacidades empresariales son un habilitador que ha permitido a las empresas “maduras” tener éxito en sus procesos de transferencia. Por otro lado, el acceso a financiamiento es algo que ha permitido a las empresas “jóvenes” llevar a buen puerto sus ideas y desarrollos.

El ejercicio de mapas perceptuales a partir de la encuesta nos permite concluir que la percepción de los ítems mostrados a los encuestados difiere de la clasificación *a priori*. Para el caso de los obstáculos, una taxonomía más adecuada sería la que divida los conceptos en cuestiones de organización industrial (estructura de mercado y cadenas de proveeduría), aspectos institucionales (legislaciones), vinculaciones con universidades y centros de investigación, y recursos humanos (como instrumento para conocer la dinámica del mercado y la preferencia de sus consumidores). Para los incentivos, es posible definir dos categorías: la que engloba las vinculaciones universidad-empresa (incluida la definición de posgrados) y los aspectos de propiedad intelectual, y la que engloba el apoyo de los gobiernos estatal y federal a parques tecnológicos, los fondos de I+D y la creación de redes o apoyo al ecosistema regional.

En general se confirma la importancia de los centros de investigación y de las universidades en los procesos de transferencia de tecnología del área de BT y NT como habilitadores para el desarrollo tecnológico de las regiones, la formalización de actividades de patentamiento, ejercicios de vigilancia, prospección y en la generación de nuevas oportunidades de negocio en industrias nuevas y maduras. Asimismo, se corrobora la repercusión positiva de los fondos de financiamiento estatales, regionales y, en algunos casos, internacionales, para el éxito de los proyectos en BT y NT y para el escalamiento de capacidades en TT. No obstante, son igualmente necesarios los siguientes factores: una comprensión más amplia de los procesos de toma de decisiones a nivel de la empresa; el grado de madurez; la sistematización de las actividades de TT que definen sus capacidades a través de muestras más grandes, y un mayor número de estudios de caso.

Bibliografía

- Cantwell, J. (2001), "The Globalization of Technology: What Remains of the Product Cycle Model?", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, Oxford, pp. 91-110.
- Chesnais, F. (2001), "Multinational Enterprises and the International Diffusion of Technology", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, pp. 111-142.
- Dunning, J. (2001), "The Consequences of International Transfer of Technology by MNEs: Some Home Country Implications", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, pp. 172-205.
- Helleiner, G. K. (2001), "The Role of Multinational Corporations in the Less Developed Countries", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, pp. 143-171.
- Lall, S. (1992), "Technological Capabilities and Industrialization", *World Development*, vol. 20, núm. 2, febrero, pp. 165-186.
- Lisone, F., y J. S. Metcalfe (2001), "Difussion of Innovation Ancient and Modern: A Review of the Main Themes", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, pp. 8-43.

- Mansfield, E. (2001), "International Technology Transfer: Forms, Resource Requirements and Policies", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, pp. 3-7.
- Nelson, R., y S. Winter (1982), "An evolutionary Theory of Economic Change", en *The Belknap*, Universidad de Harvard, Estados Unidos, p. 437.
- Penrose, E. (1959), "The Theory of the Growth of the Firm", Universidad de Oxford, Nueva York.
- Teece, D. (2001), "Technology Transfer by Multinational Firms: The Resource Cost of Transferring Technological Know-how", en S. Lall (ed.), *The Economics of Technology Transfer*, Edward Elgar, pp. 71-91.

Sobre los autores

Marcela Amaro. Doctora en ciencias sociales por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Xochimilco con especialidad en economía y gestión de la innovación. Investigadora del Instituto de Investigaciones Sociales (IIS) y profesora del Posgrado de Economía de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Nivel Candidata en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Sus líneas de investigación son: incentivos y barreras a la innovación, análisis de sectores emergentes, transferencia tecnológica y aprendizaje en el sector agrícola y alimentario, innovación inclusiva y políticas públicas e indicadores de ciencia, tecnología e innovación.

Saila Luisa Avendaño Toledo. Maestra en relaciones internacionales y licenciada en administración por la UAM-Xochimilco. Sus líneas de investigación son: bienestar social, medio ambiente y análisis de políticas públicas. Investigadora en la UAM-Lerma en el Departamento de Procesos Sociales, desde 2013 imparte capacitación en diplomados, cursos y talleres por parte de la Coordinación de Educación Continua.

Itzel Ávila. Ingeniera biomédica y maestra en política y gestión del cambio tecnológico, por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Experiencia en dispositivos médicos, gestión tecnológica y vinculación. Actualmente es la Jefa del Departamento de Vinculación del Centro de Incubación de Empresas de Base Tecnológica del IPN.

José Juan Bracamontes Zapién. Licenciado en economía por la UAM-Xochimilco. Obtuvo el grado de maestro en economía política y desarrollo por la

Universidad London School of Economics and Political Science. Sus líneas de investigación son ciencia económica aplicada, política de ciencia, tecnología e innovación así como en competencia económica. Consultor, BSTI Consulting Group. Actualmente, se desempeña como asesor en economía dentro del Instituto Federal de Telecomunicaciones.

Eréndira Cabrera. Licenciada en sociología por la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Su línea de investigación es sociología de la ciencia.

Graciela Carrillo. Jefa del área de investigación Análisis y gestión socioeconómica de las organizaciones y directora de la *Revista Administración y Organizaciones* del Departamento de producción económica de la UAM-Xochimilco. Doctora en economía por la Universidad de Barcelona y maestra en economía y política internacional por el Centro de Investigación y Docencia Económicas, miembro del SNI, nivel I. Línea de investigación innovación y medio ambiente con temas como ecología industrial, economía circular, bioeconomía y economía verde.

Antonio Chiapa. Maestro en economía de la innovación. Evaluador del Premio Nacional de Tecnología. Actualmente se desempeña como secretario académico de la Facultad de Economía en la UNAM.

Rebeca de Gortari Rabiela. Socióloga por la UNAM y doctora en historia por la Escuela de Altos Estudios en Ciencias Sociales de París, Francia. Investigadora Titular del IIS de la UNAM y miembro del SNI, nivel II. Sus líneas de investigación son innovación, desarrollo tecnológico y redes de conocimiento.

Francisco Javier Manzano. Estudiante de doctorado del Posgrado en Economía (UNAM), maestro en economía y gestión de la innovación (UAM-Xochimilco), y licenciado en economía (Universidad de Guayaquil). Sus líneas de investi-

gación son economía de la innovación, dinámica económica, capacidades tecnológicas y políticas de ciencia, tecnología e innovación.

Nelly Medina. Académica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Recientemente obtuvo su doctorado en desarrollo científico y tecnológico para la sociedad por el Cinvestav, con el tema transferencia de biotecnología para la salud. Actualmente investiga los avances en biomateriales y su impacto en México.

Mario Alberto Morales Sánchez. Profesor e investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Economía de la UNAM, obtuvo la maestría en economía y gestión de la innovación por la UAM y es doctor en economía por la UNAM. Actualmente es Jefe de la División de Estudios Profesionales de la Facultad de Economía de la UNAM y director de la *Revista Economía Informa*. Es miembro del SNI, nivel I. Sus líneas de investigación son cambio tecnológico, economía de la innovación, economía institucional y desarrollo económico.

Pilar Pérez. Maestra en economía y gestión del cambio tecnológico por la UAM. Doctora en economía y gestión de la innovación y política tecnológica por la Universidad Autónoma de Madrid. Actualmente es directora del Centro de Incubación de Empresas de Base Tecnológica del IPN. Profesora de la maestría en política y gestión del cambio tecnológico del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales (Ciecas) y del doctorado en gestión de políticas de innovación de la Red de Desarrollo Económico. Presidenta de la Red de Investigación y Docencia sobre Innovación Tecnológica. Sus principales líneas de investigación son las organizaciones intermedias de apoyo a la innovación, la comercialización de tecnología y los indicadores de ciencia, tecnología e innovación.

Carlo Daniel Pineda. Estudió la licenciatura de relaciones internacionales en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Actualmente es Asistente de Investigación, IIS-UNAM.

Diana Patricia Rivera Delgado. Economista por parte de la UNAM en la Facultad de Economía, y maestra en economía y gestión de la innovación por parte de la UAM-Xochimilco. Actualmente estudia el doctorado en ciencias sociales en la misma casa de estudios. Sus principales líneas de investigación son sustentabilidad y las políticas de innovación, así como la eco-innovación y las transiciones sustentables energéticas.

Eduardo Robles Belmont. Es investigador de tiempo completo en el Laboratorio de Redes del Departamento de Modelación Matemática de Sistemas Sociales del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas-UNAM. Obtuvo su doctorado en sociología industrial en la Universidad de Grenoble, Francia, y es miembro del SNI, nivel I. Sus líneas de investigación se centran sobre la producción de nuevos indicadores de la ciencia y la tecnología; la emergencia y el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías y sus relaciones con la sociedad; así como la teoría y metodología del análisis de redes sociales y visualización de datos.

Leonardo Souza. Consultor-investigador en temas de gestión de la tecnología y la innovación, destacando el interés por la gobernanza de tecnologías emergentes, y la transición institucional hacia entornos propicios para la innovación en países en desarrollo. Evaluador desde hace 6 años del Premio Nacional de Tecnología e Innovación. Director y socio fundador de Nodus, Oficina de Transferencia del Conocimiento certificada por la Secretaría de Economía y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Federico Stezano. Doctor en sociología por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-México. Profesor-investigador del Ciecás-IPN en la maestría

SOBRE LOS AUTORES

de política y gestión del cambio tecnológico. Desde 2011 es miembro del SNI, del nivel I. Sus líneas de investigación son procesos de innovación, influencias institucionales y tecnológicas, políticas de ciencia y tecnología, procesos y organizaciones de intermediación, transferencia de conocimientos y sector biotecnológico.

Daniel H. Villavicencio Carbajal. Obtuvo el grado de maestría y doctorado en sociología industrial por la Universidad de Lyon, Francia. Es profesor-investigador de la UAM, adscrito al Área de Gestión y Análisis Socioeconómico de las Organizaciones, docencia en el Posgrado de Economía, Gestión y Políticas de Innovación. Miembro del SNI, nivel III. Sus temas de investigación son aprendizaje tecnológico y capacidades de innovación, políticas de ciencia, tecnología e innovación; sociología económica. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.

Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México, de Daniel Hugo Villavicencio Carbajal (coordinador), de la DCSH de la UAM-Xochimilco, se terminó de imprimir en noviembre de 2017. Se tiraron 1 000 ejemplares. La edición estuvo al cuidado de David Moreno Soto. Formación de originales Maribel Rodríguez Olivares.

Novedades editoriales

Dinero y capital. Hacia una reconstrucción de la teoría de Marx sobre el dinero

Roberto Escorcía Romo y Mario L. Robles Báez
(comps.)

UAM-Xochimilco, Itaca, 2017

Feminismo, cultura y política. Prácticas irreverentes

Mónica I. Cejas (coord.)

UAM-Xochimilco, Itaca, 2016

Los gobiernos progresistas latinoamericanos.

Contradicciones, avances y retrocesos

Juan José Carrillo Nieto, Fabiola Escárzaga
y María Griselda Günther (coords.)

UAM-Xochimilco, Itaca, 2017

Sujetos rurales. Retos y nuevas perspectivas de análisis

Beatriz Canabal Cristiani

y Martha Angélica Olivares Díaz (coords.)

UAM-Xochimilco, Itaca, 2017

Próximas publicaciones

Tractatus politicus minimum. Ensayos sobre la política de la crueldad de Nietzsche

César Arturo Velázquez Becerril

UAM-Xochimilco, Itaca

Sistema mundial, intercambio desigual

y renta de la tierra

Jaime Osorio Urbina

UAM-Xochimilco, Itaca

Megaminería en México: explotación laboral

y acumulación de ganancia

Aleida Azamar Alonso

UAM-Xochimilco, Itaca

Migración desde la ex URSS. La diáspora veinticinco años después

Cristina Pizzonia (coord.)

UAM-Xochimilco, Itaca

La biotecnología y la nanotecnología son consideradas como tecnologías emergentes y transversales que ofrecen oportunidades para el desarrollo en la medida en que sus aplicaciones pueden mejorar los productos y los servicios en áreas como la salud, la alimentación y el cuidado del medio ambiente. Por ello muchos países han implementado planes estratégicos para incrementar sus capacidades científicas y tecnológicas en esos campos.

Nuestra investigación tuvo como principal objetivo identificar los incentivos y las barreras que ofrece el marco institucional en México para la creación del conocimiento, para la transferencia tecnológica y la innovación en biotecnología y nanotecnología. Presentamos varios estudios monográficos de aplicaciones en biotecnología y nanotecnología en los sectores de salud, alimentos y cuidado del medio ambiente con la finalidad de mostrar la forma en que las empresas y la academia aprovechan los programas de apoyo a la innovación derivados de la política pública. También nos ha interesado mostrar cómo los actores logran franquear obstáculos y construir procesos de transferencia y desarrollo de tecnología de manera colaborativa. El principal postulado que orientó nuestra reflexión es que ante los costos y riesgos que conllevan los procesos de innovación, es necesario cooperar y combinar esfuerzos de la academia y la industria para aprovechar todo el potencial de las tecnologías emergentes.

ISSN: 978-607-28-1197-3



9 786072 811973