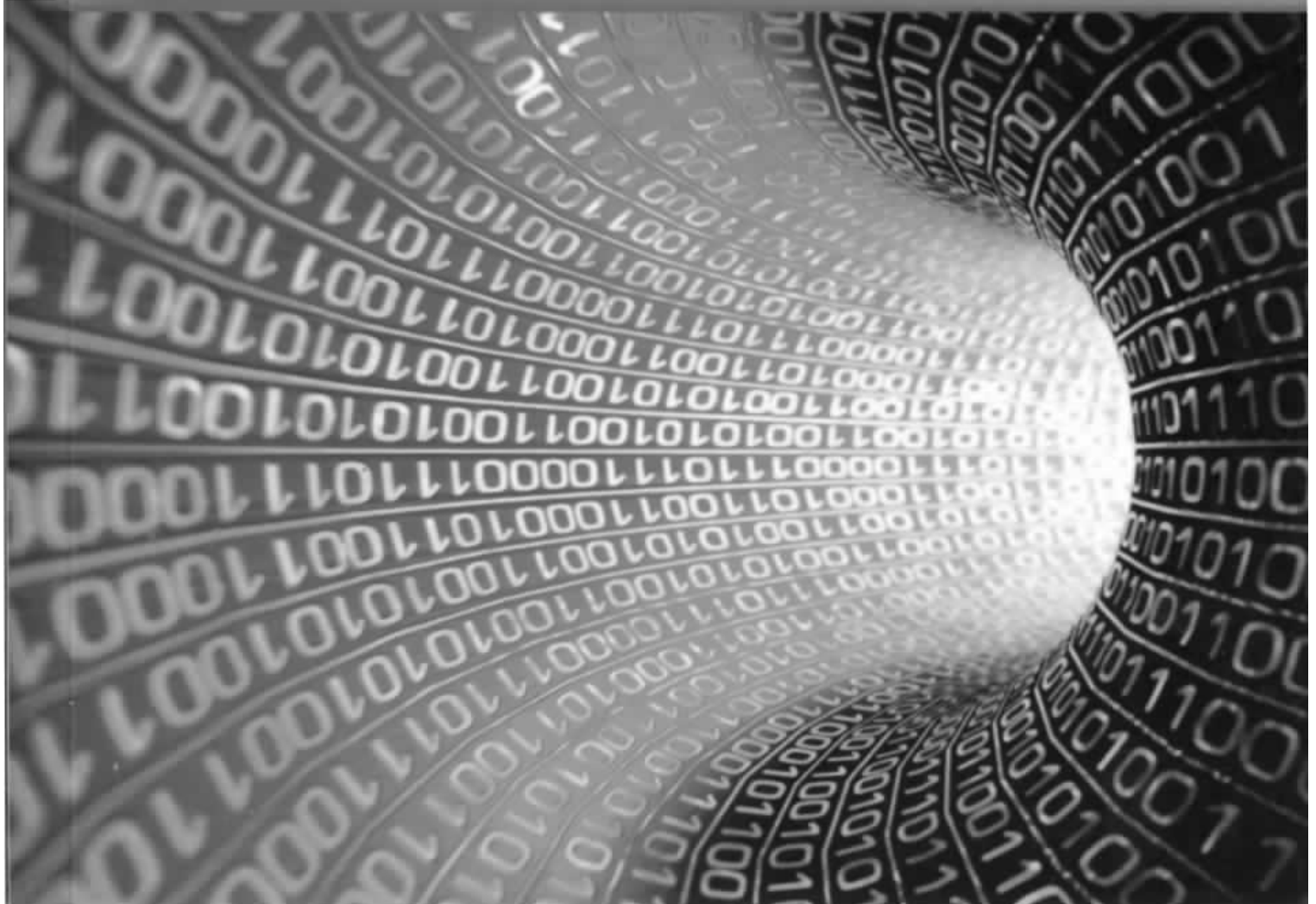


Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México

Daniel H. Villavicencio Carbajal (coordinador)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO División de Ciencias Sociales y Humanidades

IDRC  CRDI



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*

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

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.

Biotechnología 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

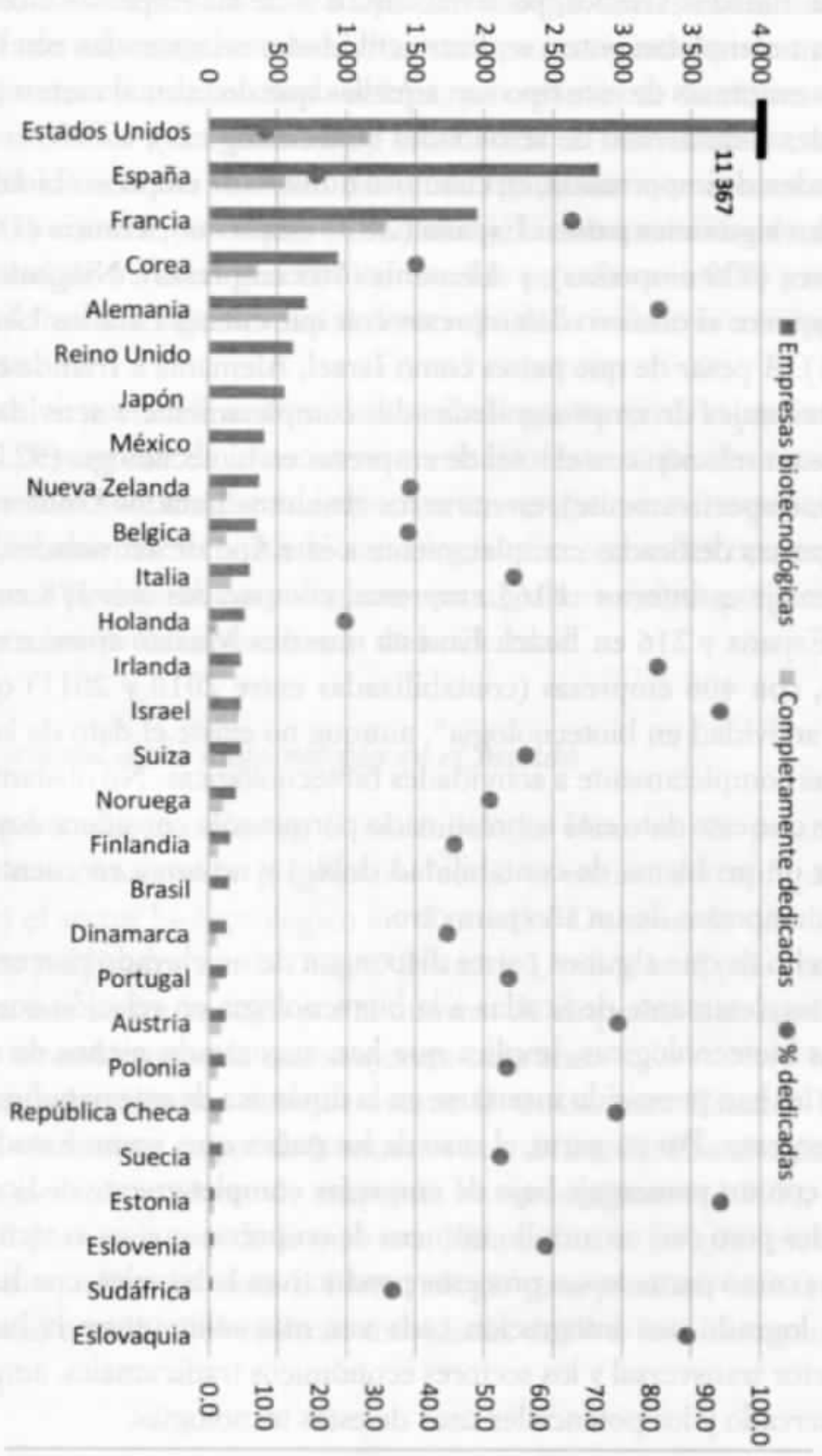
⁹ Disponibles en <<http://www.oecd.org>>.

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.

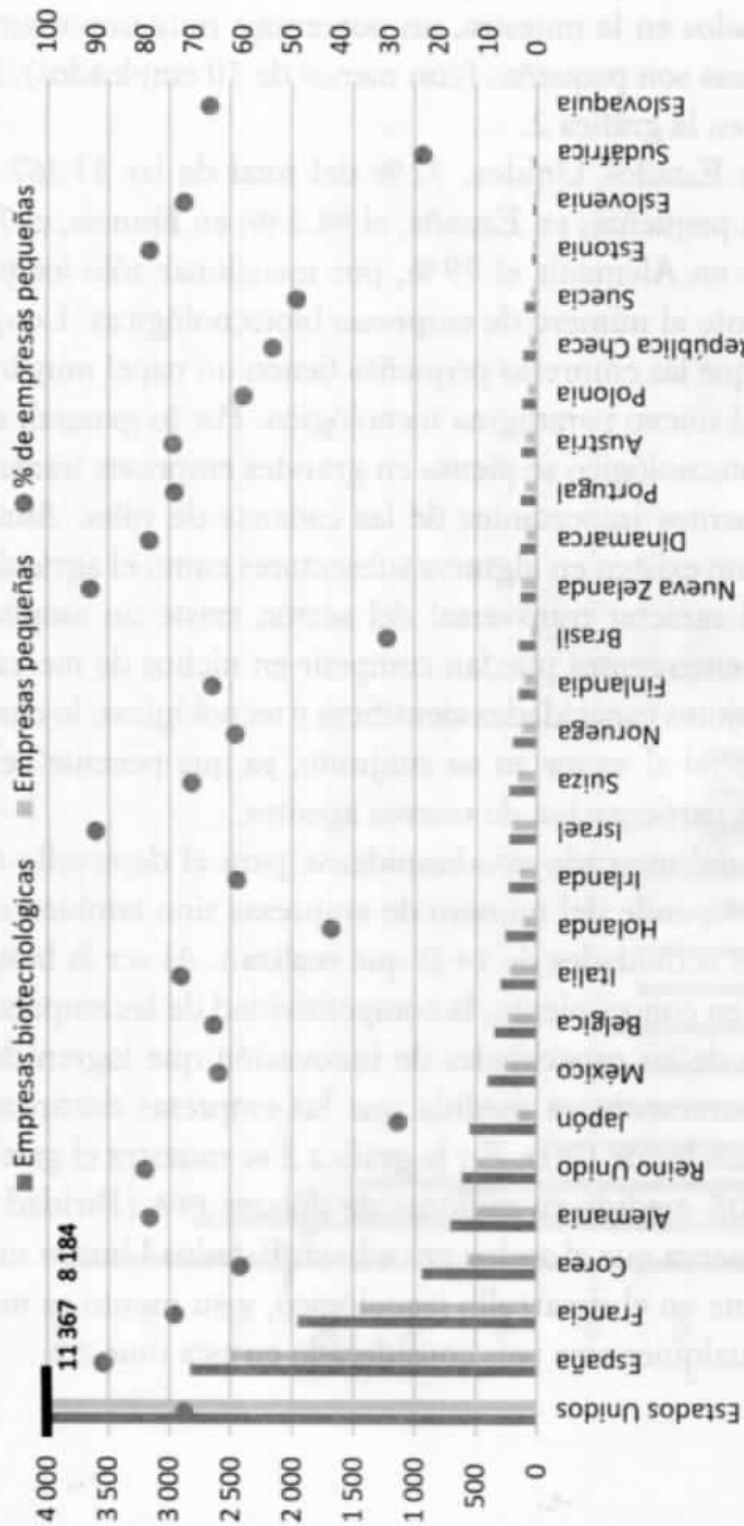
El hecho de que algunos países dispongan de un elevado porcentaje de empresas completamente dedicadas a la biotecnología en relación con el total de empresas biotecnológicas, implica que han encontrado nichos de especialización que les han permitido insertarse en la dinámica de este paradigma tecnológico 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.

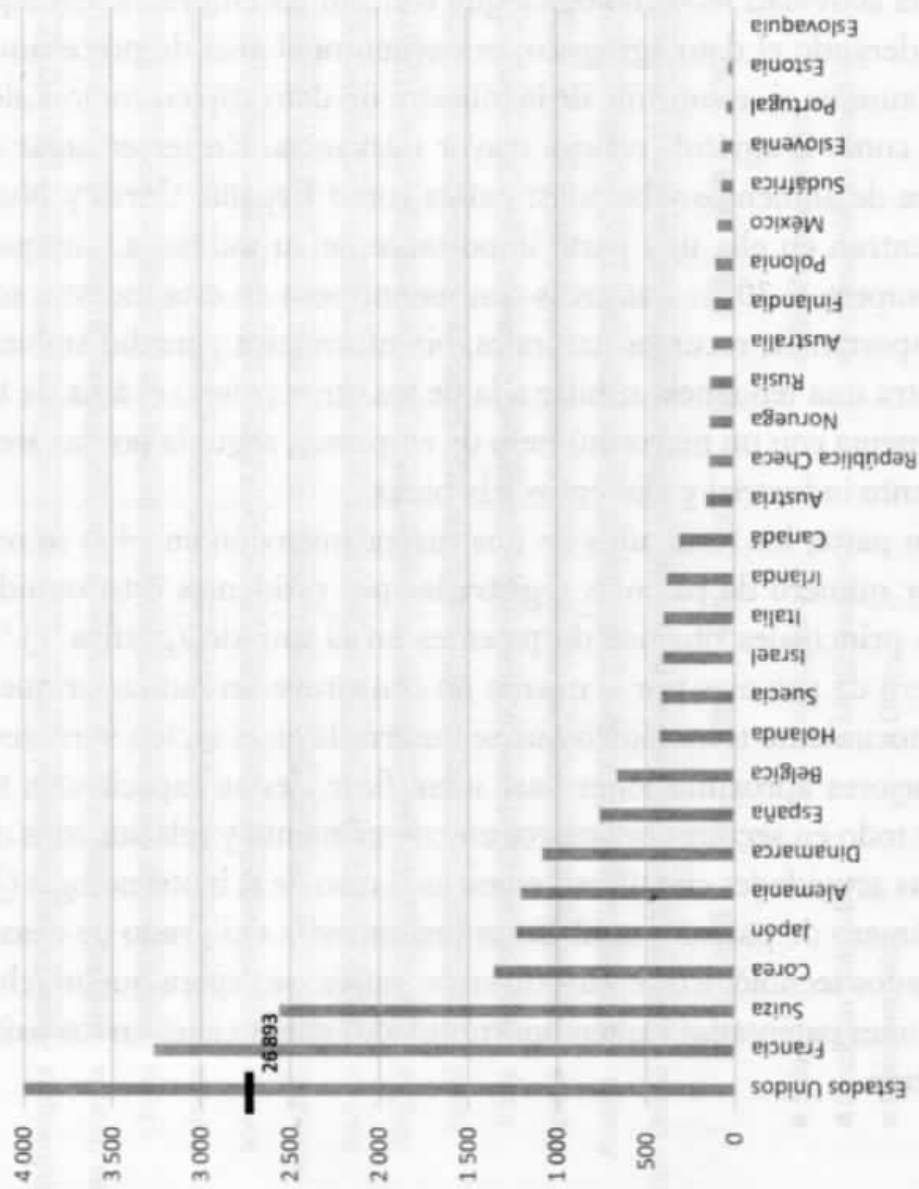
Por ejemplo, en Estados Unidos, 72 % del total de las 11 367 empresas biotecnológicas son pequeñas; en España, el 88.5 %; en Francia, el 73.9 %; en Corea, el 60.5 %, y en Alemania el 79 %, por mencionar sólo los países más importantes en cuanto al número de empresas biotecnológicas. Lo que muestran estos 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.

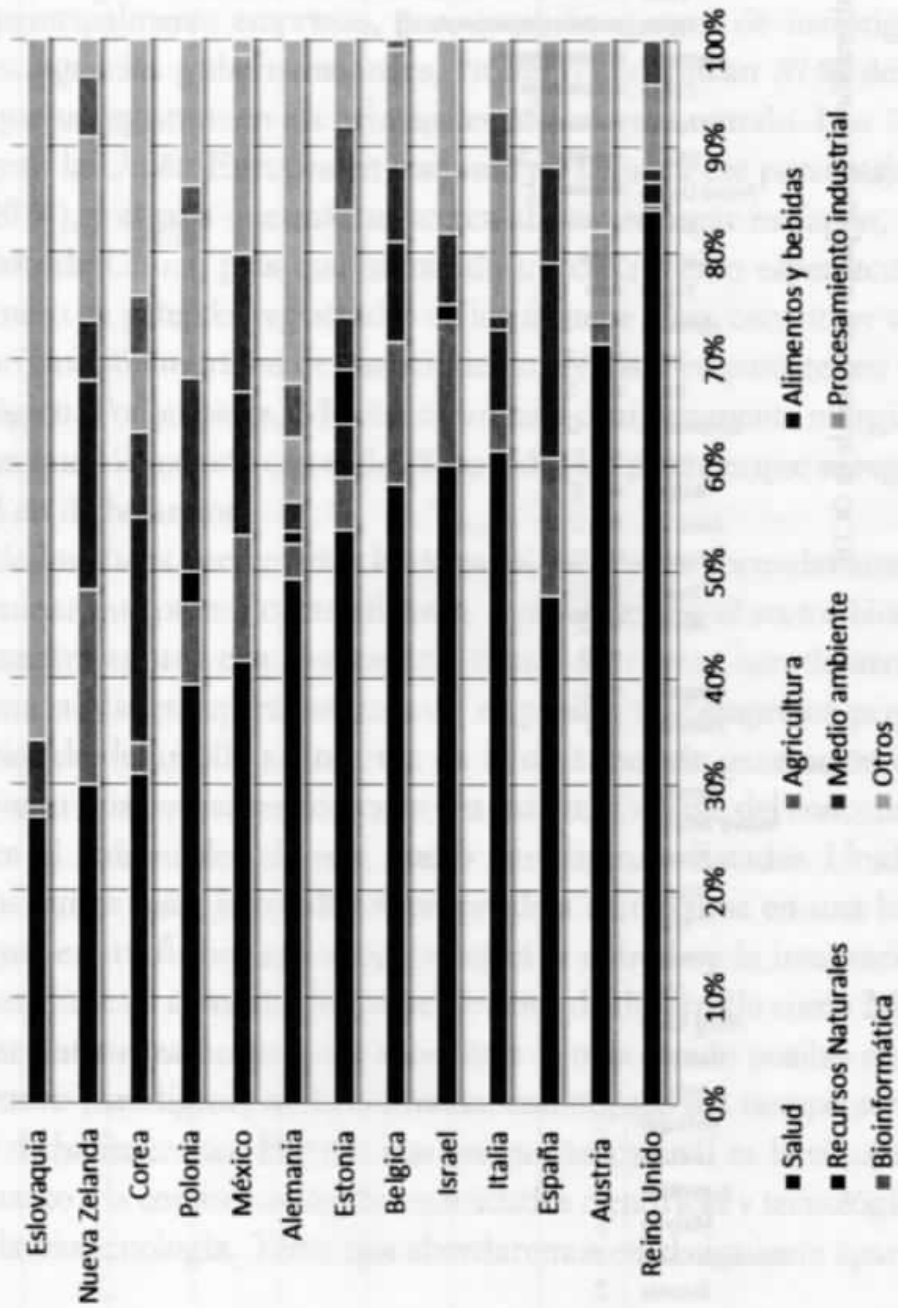
Por otra parte, al considerar las áreas donde existen más empresas biotecnológicas en aquellos países en los que hay información disponible, se observa que el área de la salud es la de mayor desarrollo hasta el momento en términos agregados (gráfica 4). En países como Reino Unido representa el 84 % de 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 capten 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)
Ciencias Exactas y Naturales	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C (CICESE)
	Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C (CICY)
	Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT)
	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 (CIOA)

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.

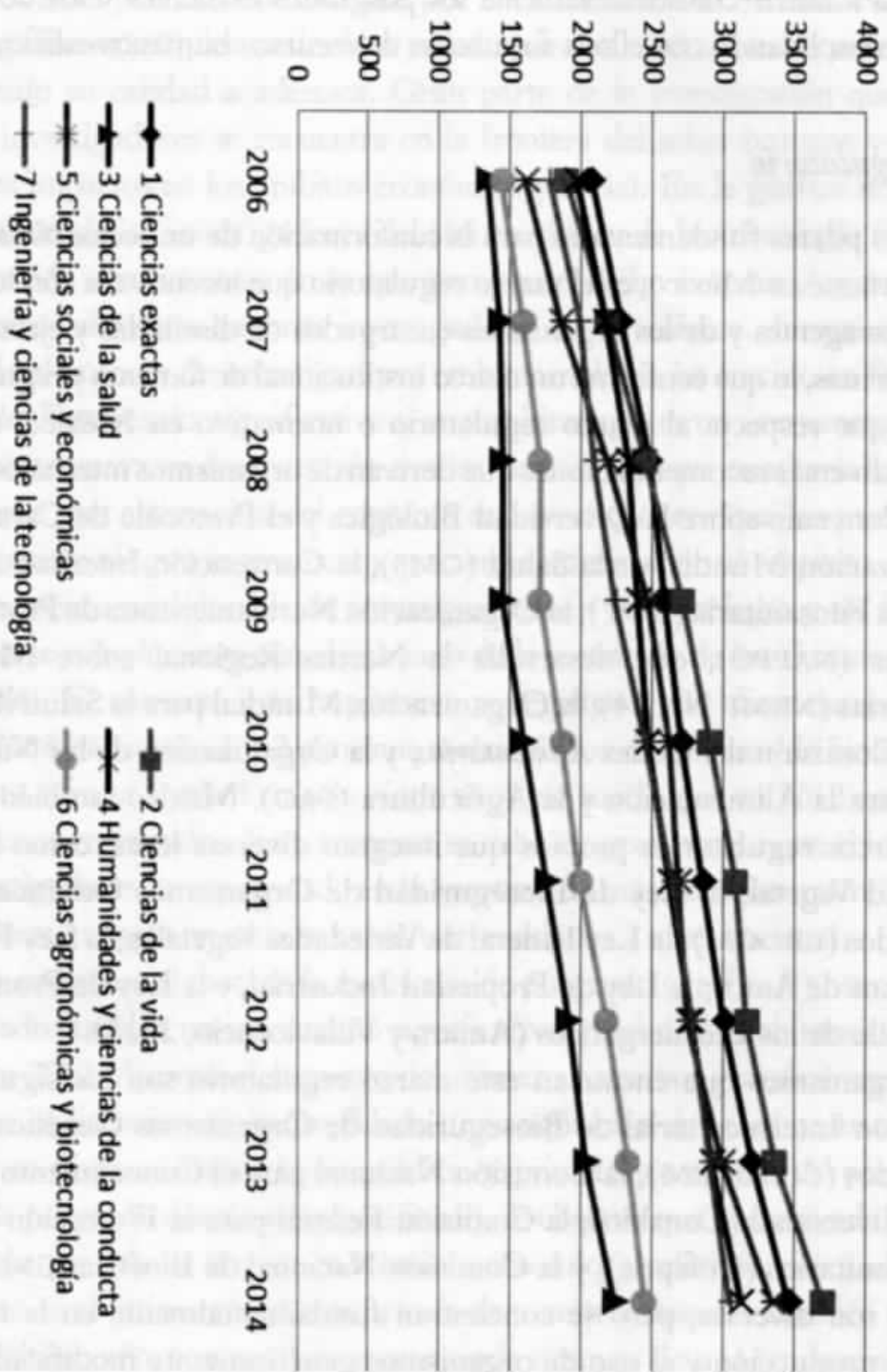
Marco regulatorio

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.

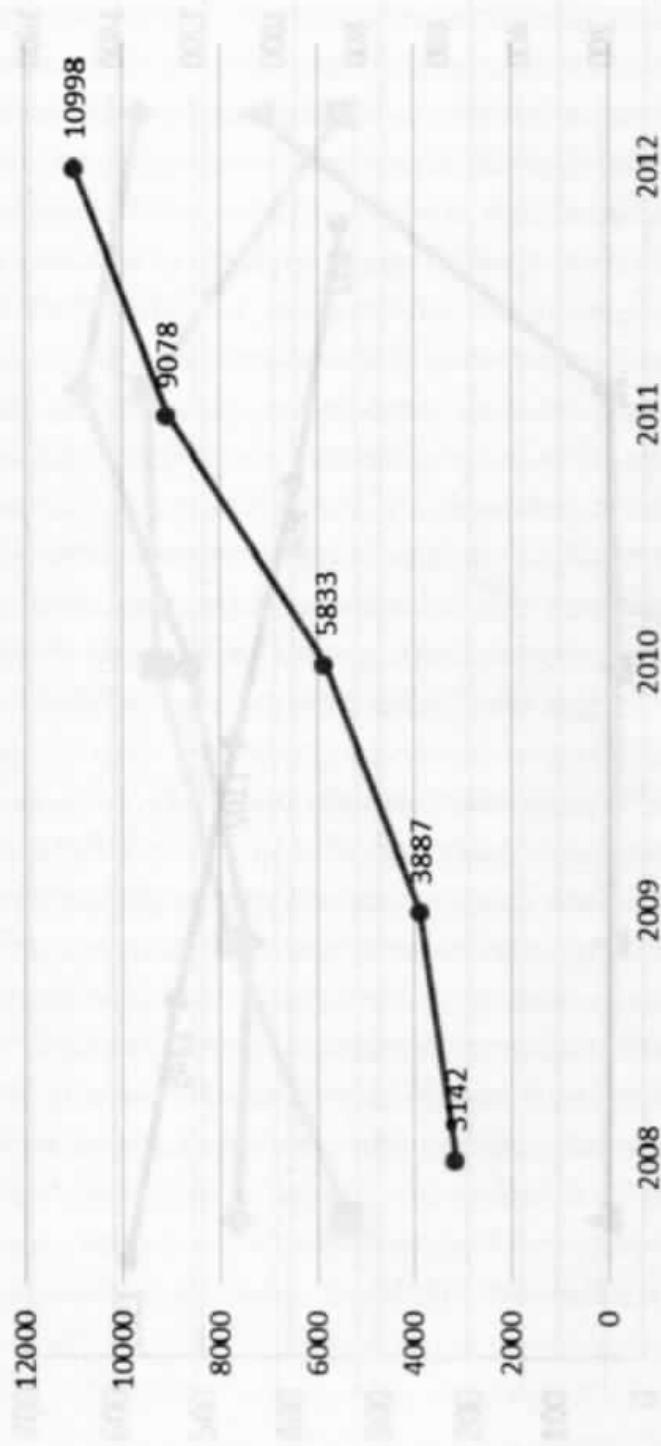
GRÁFICA 6
Total de SNI por área (2006-2014)



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Conacyt.

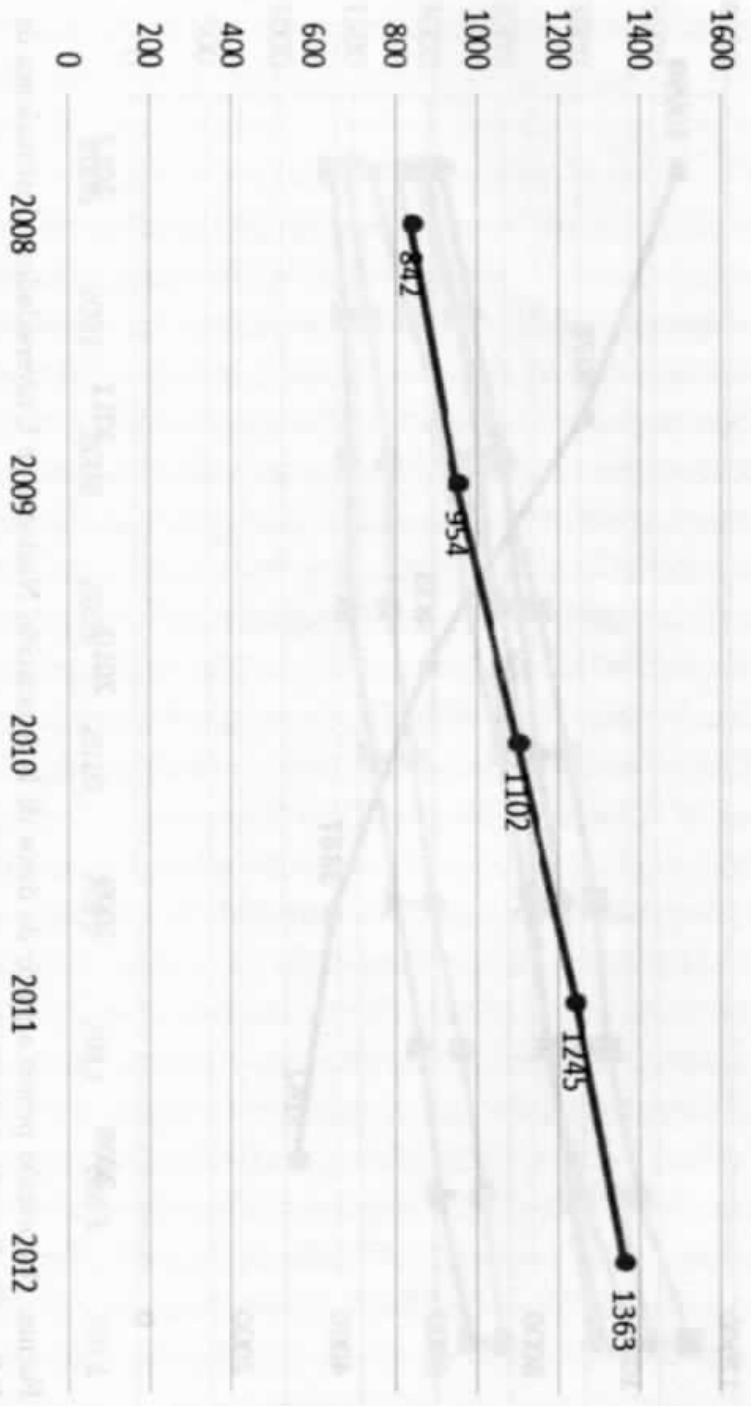
GRÁFICA 7

Matrícula en carreras de biotecnología (2008-2012)



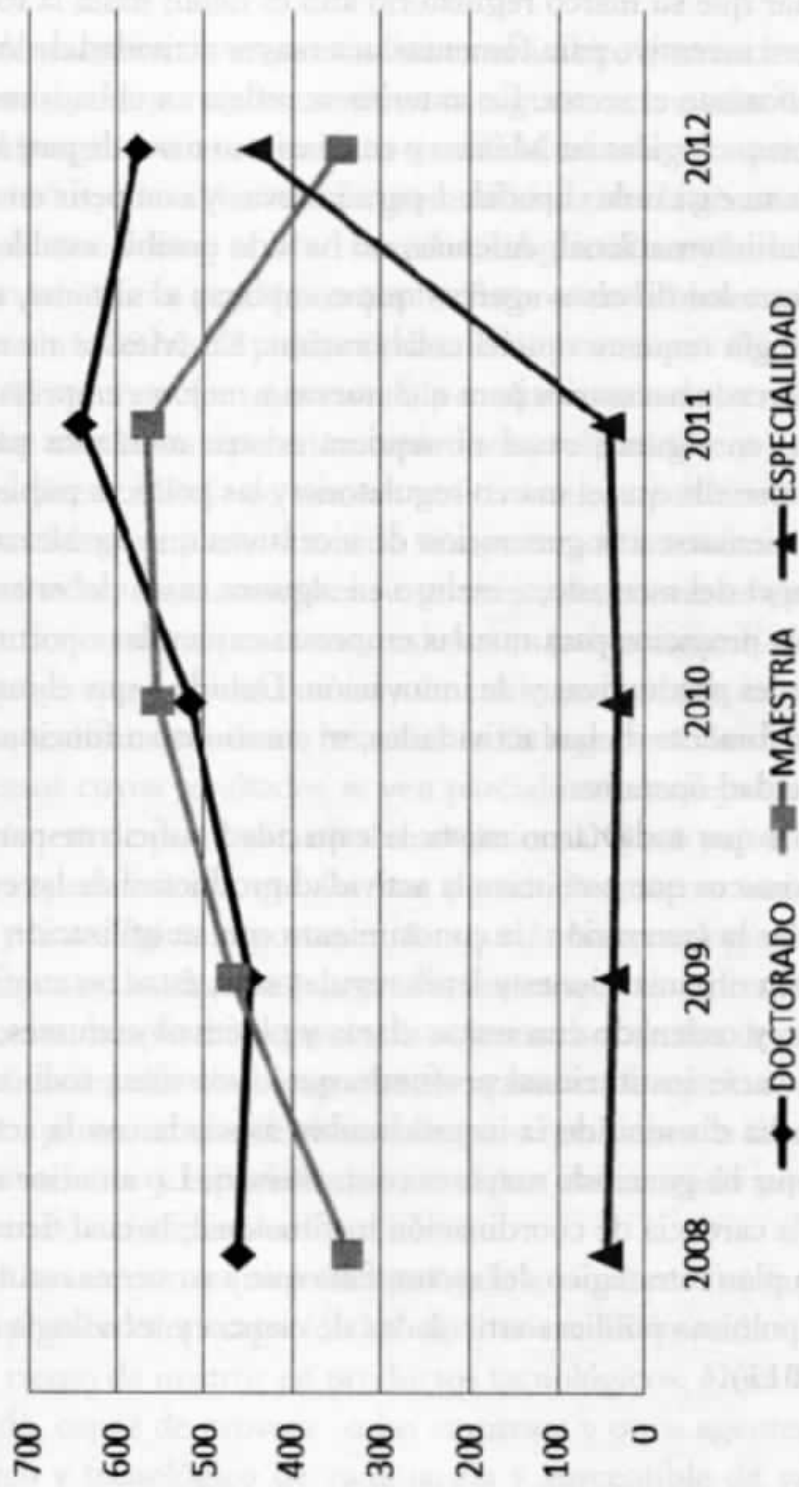
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES).

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



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

GRÁFICA 9
 Matriculación 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.

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.

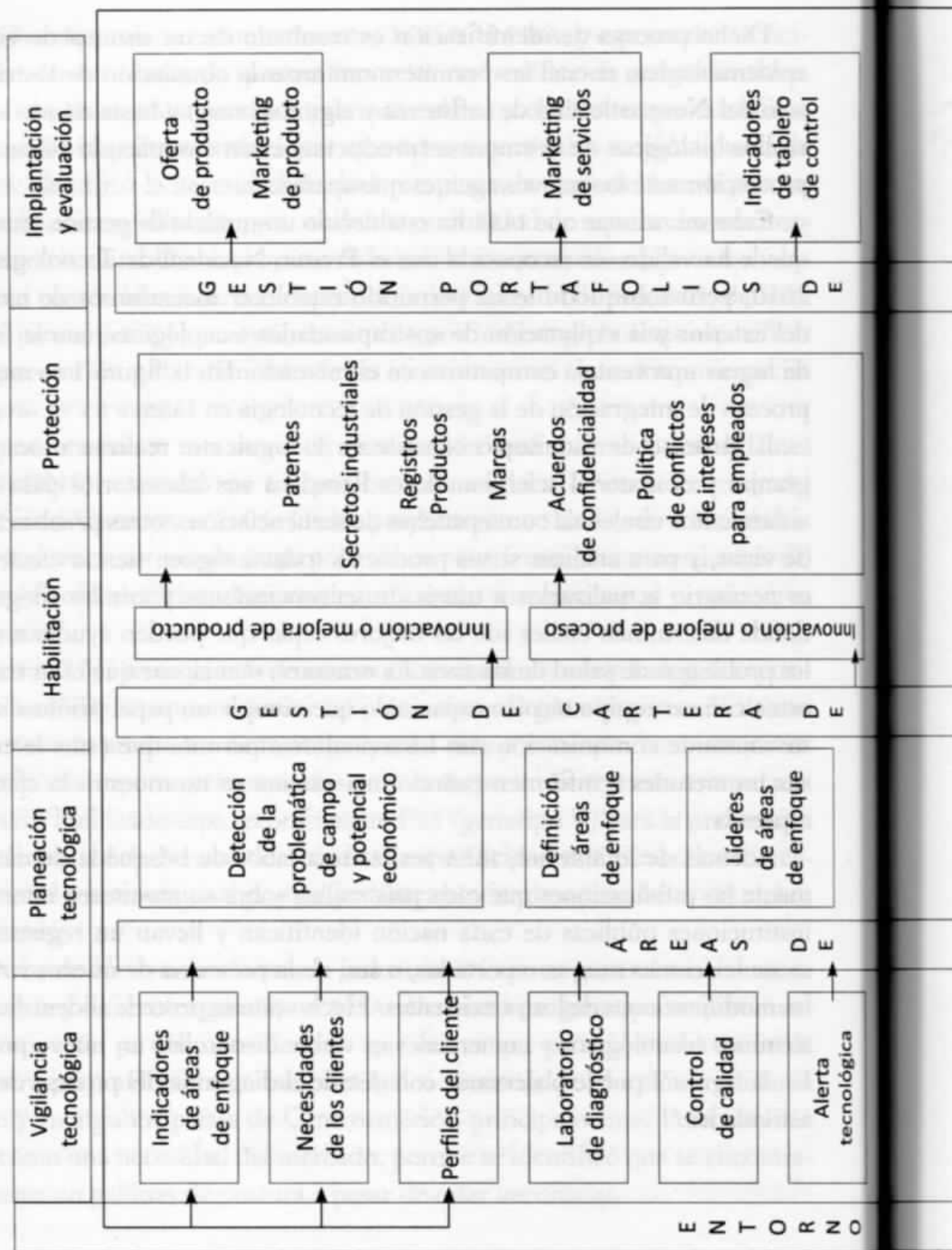
Dicho proceso de identificación es resultado de un sistema de vigilancia epidemiológica, el cual les permite monitorear la circulación de los virus (no sólo del Newcastle sino de influenza y algunos otros) y hasta dónde los desarrollos biológicos de la empresa (productos) están cumpliendo su función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

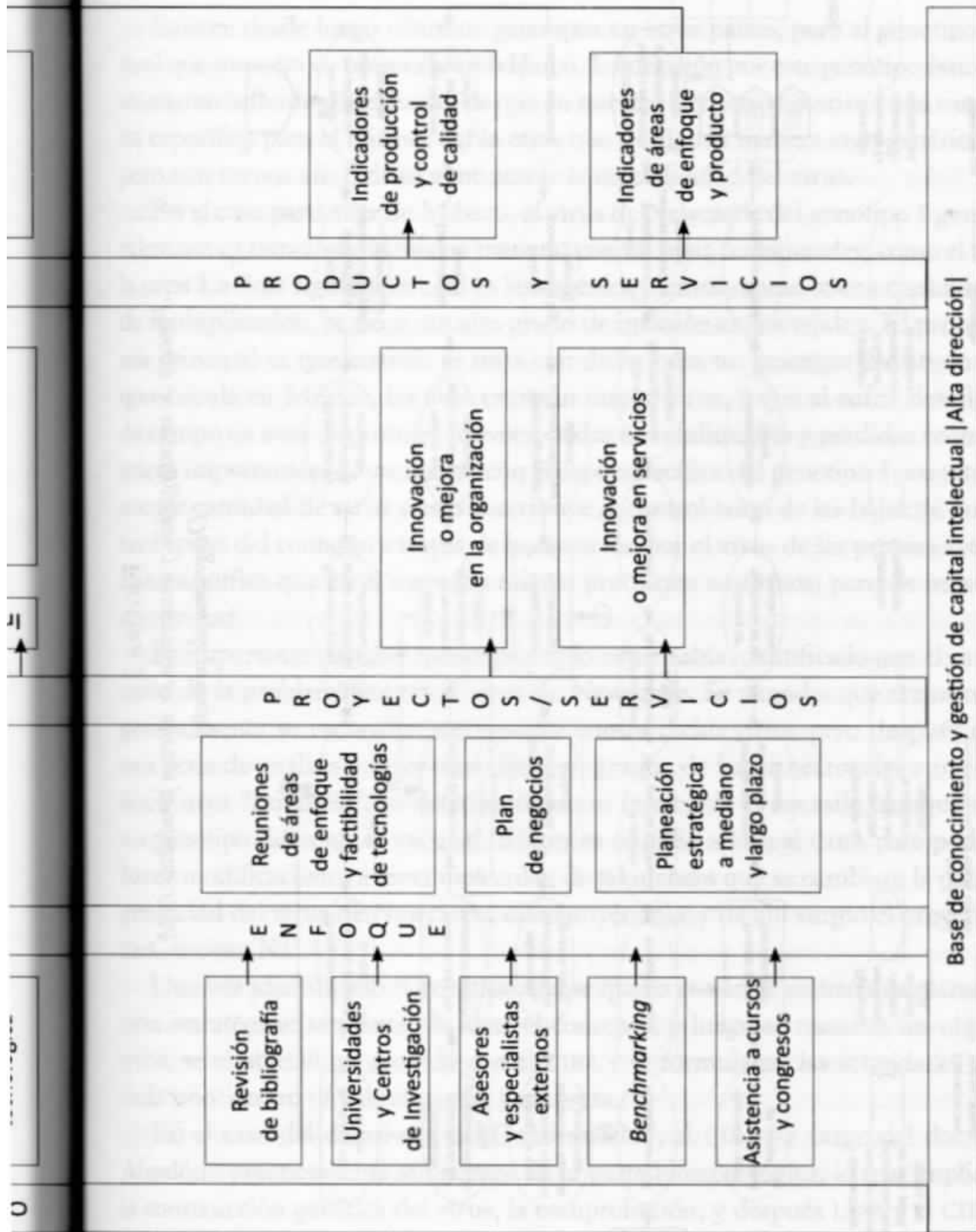
Cabe mencionar que IASA ha establecido un modelo de gestión tecnológica que le ha valido ser reconocida con el Premio Nacional de Tecnología (PNT) 2010; pero sobre todo le ha permitido establecer mecanismos de monitoreo del exterior y la explotación de sus capacidades tecnológicas, con la finalidad de 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





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, pegas, 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.