DETERMINANTES DE LAS CAPACIDADES DE INNOVACIÓN EN EL SECTOR BIOTECNOLÓGICO EN MÉXICO[1]

Mario Alberto Morales Sánchez
Facultad de Economía de la UNAM (México)
Autor para correspondencia: albertoms@economia.unam.mx
Héctor Eduardo Díaz Rodríguez
Facultad de Economía de la UNAM (México)

Recibido el 11 de junio de 2018. Aceptado el 19 de septiembre de 2018.

RESUMEN

La innovación tecnológica es un proceso ligado a la generación de conocimiento y la manera en la que las empresas aprenden y desarrollan innovaciones depende del contexto particular en el que se desenvuelven. Dado el potencial de diseminación que la biotecnología tiene y, por tanto, su capacidad para apuntalar una oleada de crecimiento en otros sectores, el presente estudio se centra en conocer y medir las capacidades de innovación, así como sus factores determinantes en empresas biotecnológicas mexicanas. Los resultados muestran que la existencia de redes (financieras, de conocimiento, de colaboración, entre otras) que permitan generar un flujo adecuado de conocimiento, así como de capacidades de las empresas para aprovecharlo, son factores determinantes del dinamismo innovador.
Palabras clave: biotecnología, innovación, redes de conocimiento.
Clasificación JEL: L69, O31, O32.

[1] Los autores agradecen el apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) mediante el proyecto IN307116 "Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano", inscrito en el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPITT) de la UNAM.

http://dx.doi.org/10.22201/fe.01851667p.2019.307.68447

© 2019 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

DETERMINANTS OF INNOVATION ABILITIES IN MEXICO'S BIOTECHNOLOGY SECTOR

ABSTRACT

Technological innovation is a process linked to the generation of knowledge and the way in which companies learn and develop innovations. It depends on the particular context in which firms operate. As the potential of biotechnology has to support a wave of growth in other sectors, this study focuses on identifying and measuring innovation capabilities, as well as the determinants of such capabilities in the Mexican biotechnology companies. The results show that the existence of networks (financial, knowledge, collaboration, among others) that allow generating both an adequate flow of knowledge and the capacities of companies to take advantage of such knowledge, are determining factors of the innovative dynamism.

Key words: Biotechnology, innovation, knowledge networks.

JEL Classification: L69, O31, O32.

1. INTRODUCCIÓN

La innovación tecnológica es un proceso complejo y multifactorial cuyo resultado evidente es la obtención de nuevos procesos y productos que se valorizan en el mercado. El agente central que lleva a cabo el proceso es la empresa individual, la cual obtiene ventajas competitivas en el largo plazo derivadas del mismo (Freeman, 1994). En última instancia el concepto de *innovación* puede entenderse como un proceso de aprendizaje en el que el cambio tecnológico es el resultado de la acumulación de conocimiento[2] por parte de individuos y organi-

[2] Actualmente una de las características más importantes del desarrollo de procesos exitosos de innovación tecnológica es el papel central que juega el conocimiento. De acuerdo con Mokyr (2002) el conocimiento social puede dividirse en dos partes esenciales: el conocimiento proposicional o la explicación del qué de las cosas, generalmente asociado con el conocimiento científico, y el conocimiento prescriptivo o del cómo hacer las cosas (conocimiento tecnológico). Este último se relaciona directamente con el conjunto de técnicas que desarrolla la sociedad para modificar su entorno. Por lo tanto, el problema crucial para el desarrollo de capacidades tecnológicas consiste en transformar el conocimiento proposicional en conocimiento prescriptivo, es decir, en transitar del saber a la acción para la solución de problemas concretos. No existe una relación directa entre

zaciones (Marques, 2008). La tecnología es en sí misma un cúmulo de conocimiento relacionado con ciertas actividades (Rosenberg, 1972). Por lo tanto, la innovación tecnológica es conocimiento sobre determinadas técnicas y métodos utilizados en circunstancias particulares, cuyo desarrollo tiene consecuencias sobre el desempeño de la empresa, sus estrategias competitivas, el diseño mismo de la organización y el grado de adaptación en ambientes competitivos.

Debido a que la empresa es el entorno organizacional en el que se lleva a cabo la mayor parte de las innovaciones productivas, las diversas teorías del cambio tecnológico proponen que la innovación tecnológica ocurre mediante un proceso de acumulación y combinación de conocimiento al interior de las propias empresas, el cual se expresa en la obtención sistemática de ciertas capacidades (Dosi, 2008). Dicho conocimiento se produce a partir de la mejora continua de las prácticas productivas internas (Nelson y Winter, 1982) y la absorción de nuevo conocimiento generado por la interacción que llevan a cabo con otras organizaciones (Cohen y Levinthal, 1994), sean estas empresas, centros de innovación y desarrollo (I+D) o universidades. Todo este proceso de creación y absorción de conocimiento depende de lo que se ha llamado aprendizaje organizacional, es decir, las actividades mediante las cuales los sujetos dentro de una organización adquieren y transforman la información interna y externa para generar patrones comunes de comportamiento y acción que se difunden y generalizan en toda la organización (Dosi, Faillo y Marengo, 2003).

Como han argumentado diversos autores, el conocimiento no se encuentra distribuido de manera uniforme entre las empresas, antes bien existen diferencias sustanciales en los grados de generación y asimilación de conocimiento que explican en gran medida el desempeño de cada empresa en el mercado, persistiendo asimetrías importantes incluso entre aquellas que pertenecen a un mismo sector (Nelson y Winter 1982; Dosi, 1988). La obtención de conocimiento y su transformación en nuevas tecnologías requiere el desarrollo de un conjunto de habilidades que se adquieren mediante un esfuerzo consciente y orientado a la realización de

---

estos dos tipos de conocimiento, ya que no todo conocimiento científico se transforma en conocimiento tecnológico. A pesar de ello, entre mayor sea el cúmulo de conocimiento científico, mayores serán las posibilidades de desarrollar conocimiento tecnológico.

metas específicas. Las habilidades necesarias "para hacer uso efectivo del conocimiento tecnológico, mediante esfuerzos de asimilación, uso, adaptación y cambio de las tecnologías existentes" es lo que se conoce como *capacidades tecnológicas* (Kim, 1997, p. 4).

De acuerdo con Kim (1997), las capacidades tecnológicas a nivel de la empresa individual pueden subdividirse en cuatro elementos esenciales que denotan subconjuntos específicos de generación de habilidades necesarias para llevar a cabo procesos de cambio tecnológico. El primero de ellos se denomina *capacidades de producción*, que se refiere a todas aquellas capacidades necesarias para lograr una operación eficiente de la planta dentro de los parámetros tecnológicos habituales y para mantener y reparar el capital físico existente, así como las capacidades necesarias para adaptar y mejorar las tecnologías en uso en respuesta a las condiciones cambiantes del mercado. Implica también la realización de esfuerzos internos para absorber o imitar tecnologías de otras empresas.

Un segundo subconjunto son las *capacidades de inversión*, esto es, las habilidades necesarias para expandir la capacidad productiva y facilitar la generación de nuevos productos. Implica no sólo la identificación, preparación y obtención de tecnología, sino también el diseño, la construcción y operación del equipo adquirido, así como la habilidad para realizar análisis internos de rentabilidad y viabilidad de nuevos proyectos y la capacidad ingenieril para ejecutarlos, coordinarlos y supervisarlos.

Otro subconjunto es el que se denomina *capacidades de vinculación*, que alude a las habilidades necesarias para recibir y transmitir conocimiento por parte de otras empresas e instituciones, tales como empresas proveedoras, de servicios especializados, subcontratistas, consultores, institutos tecnológicos, entre otras.

Finalmente, las *capacidades de innovación* se integran por el conjunto de habilidades necesarias para desarrollar nuevas tecnologías y ejecutarlas en la práctica. Como parte de este subconjunto se incluyen las capacidades de invención, de innovación y de mejorar la tecnología existente más allá de los parámetros establecidos. El término *innovación* puede describir aquí cambios tecnológicos de frontera, esto es, la obtención de procesos o productos que no se conocen en el mercado. Pero puede denotar también aquellas mejoras que, a pesar de no estar en la frontera internacional, contribuyen con un aumento sustancial de la productividad al nivel de una empresa en particular.

Debido a que la biotecnología es un sector intensivo en conocimiento (véase más adelante), este artículo se centra principalmente en las capacidades de innovación y su objetivo es conocer y medir los factores determinantes de dichas capacidades en empresas biotecnológicas mexicanas. El documento se estructura de la siguiente manera: en la parte que sigue se establecen algunos elementos importantes sobre la discusión teórica respecto a la relación de innovación y capacidades en el sector biotecnológico; en la tercera parte se describen brevemente las características de la encuesta utilizada; en la cuarta se explican las características generales de las empresas encuestadas, mientras que en la quinta se establece la metodología y en la sexta se presentan los resultados que se desprenden del análisis estadístico. Finalmente, en la última parte se dan las conclusiones a partir del análisis de los resultados.

2. BIOTECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

Cada vez existe mayor coincidencia en círculos académicos y gubernamentales respecto a la idea de que el conocimiento se encuentra fuertemente relacionado con la generación de innovaciones tecnológicas. En el ámbito académico no son pocos los autores que han planteado que el conocimiento generado dentro de la empresa, y fuera de ella (a través de otras organizaciones como universidades, centros de investigación y otras), constituye el antecedente inmediato de la innovación tecnológica a nivel empresa (Nelson y Rosenberg, 1993). En su aspecto más radical, la innovación tecnológica se relaciona directamente con descubrimientos científicos de vanguardia, especialmente en las primeras fases de su desarrollo (Dosi, 1988). En el ámbito de la política pública, organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) recomiendan la creación de conocimiento colectivo como una estrategia primordial para la generación de crecimiento económico y prosperidad en el mediano y largo plazo, tema que se ha situado en las agendas públicas de diversos gobiernos nacionales (OECD, 2010 y 2001).

Desde esta perspectiva, Foray (2004) plantea que existen sectores intensivos en conocimiento que contribuyen en una proporción creciente con el incremento del producto nacional y, en consecuencia, con el nivel de empleo e inversión en una economía, además de que son un motor

importante para elevar la productividad y la reconversión industrial de otros sectores económicos. Pavitt (1984), Coriat, Orsi y Weinstein (2003), entre otros, establecen que los sectores intensivos en conocimiento son aquellos cuyas trayectorias de innovación se encuentran fuertemente ligadas al desarrollo de conocimiento científico. Tal es el caso de la biotecnología, por tratarse de una disciplina transversal basada directamente en la actividad científica, con una fuerte dependencia de la investigación que se realiza en universidades y otros centros que operan esencialmente con financiamiento público (Niosi, 2011). Una de las particularidades esenciales de la biotecnología consiste en que los desarrollos científicos realizados por empresas y otras organizaciones académicas pueden ser directamente valorizados en el mercado, por lo que existe una estrecha relación entre generación de conocimiento y creación de valor (Pisano, 2006 y 2010).

En consonancia con lo anterior, un sector intensivo en conocimiento puede definirse en función de cuatro factores distintivos: 1) si para la realización de las principales actividades industriales y productivas se emplea un cúmulo importante de conocimiento; 2) si las principales técnicas industriales están basadas en el uso intensivo de conocimiento; 3) si el conocimiento científico es el principal soporte de la producción y de las técnicas empleadas en la industria, y 4) en función de cuál es el sustento institucional de la industria, es decir, si los vínculos de las empresas ocurren con mayor frecuencia con instituciones dedicadas la investigación y generación de conocimiento (Smith, 2000). Con base en lo anterior, en un nivel microanalítico, las empresas intensivas en conocimiento pueden definirse como aquellas que logran un alto valor agregado incorporando conocimiento científico tanto en sus procesos productivos como en sus productos finales (Bell, Crick y Young, 2004).

Los cuatro factores antes expuestos describen muy bien a las actividades tecnológicas que se desprenden de la biotecnología.[3] Por ejemplo,

---

[3] Una definición muy general del término biotecnología comúnmente utilizada es la que propone la OECD (2010), al plantear que es 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. Dentro de esta definición se encuentra una gama muy amplia de procesos y productos industriales, desde la biotecnología de primera generación (fermentación, hibridación, entre otras) hasta las modernas tecnologías basadas en la ingeniería genética. Lo que se

la emergencia reciente de la biología sintética ha transformado el campo general de aplicación de la biología en su conjunto, al pasar de ser una disciplina primordialmente observacional a converger cada vez más con otro tipo de *ciencias físicas*, lo que ha dado como resultado el desarrollo de nuevas disciplinas como la genómica, proteómica, metabolómica, genómica cognitiva, entre otras (Lundstrom y Philip, 2013). Para citar otro ejemplo, de acuerdo con Urban, Grodzinski y Arnold (2013) en el campo de la biotecnología farmacéutica la práctica médica se mueve rápidamente de los modelos pasivos tradicionales (coincidencia eventual y esporádica de distintas disciplinas para la solución de determinados problemas de salud) a modelos activos de convergencia científica y tecnológica, en los que se analizan y atienden los problemas de salud con base en proyectos en los que explícitamente se vinculan diversos campos científicos y tecnológicos. Una parte fundamental de esta transición es la colaboración entre diversas disciplinas como la psicología, la generación de perfiles moleculares y las tecnologías de la información, que permiten innovaciones médicas como el seguimiento personalizado y en tiempo real de enfermedades crónicas. El proceso de desarrollo de la biotecnología es guiado principalmente por los avances generados a partir del Proyecto del Genoma Humano (PGH),[4] que han abierto un campo novedoso para el desarrollo de múltiples elementos tecnológicos.

---

conoce actualmente como biotecnología moderna es una actividad multidisciplinaria en la que converge conocimiento científico de frontera proveniente de diversas disciplinas como la biología molecular, la ingeniería bioquímica, microbiología, genómica e inmunología. Este conocimiento científico se combina con nuevas técnicas derivadas de la ingeniería genética, como la fusión celular, mapeo genético, hibridación de ácidos nucleicos, amplificación de genes, bioinformática. El desarrollo actual de estas disciplinas científicas y técnicas especializadas ha facilitado el análisis integral de los sistemas biológicos en su conjunto, desde organismos unicelulares hasta organismos complejos, como plantas y animales de todo tipo, incluyendo al propio ser humano (Morales y Villavicencio, 2015; Morales y Amaro, 2016).

[4] Este proyecto fue un esfuerzo internacional dirigido por el gobierno de Estados Unidos en el que participaron diversas instituciones públicas y privadas. El logro más destacado del PGH fue la secuenciación de los más de tres millones de pares de ADN que conforman el genoma humano y la identificación de cada uno de los 23 mil genes con que cuenta nuestra especie, lo cual fue posible gracias al reciente avance tecnológico de la informática y la computación, así como al trabajo conjunto de expertos en biología, física, química, ciencias de la computación, matemáticas e ingeniería.

La idea fundamental que se desprende de lo anterior es que en un sector intensivo en conocimiento como el de la biotecnología, la única manera de competir y sobrevivir en el mercado es desarrollando capacidades de innovación. Es decir, generando y asimilando el mayor cúmulo de conocimiento posible y, al mismo tiempo, teniendo las habilidades necesarias para utilizarlo en el diseño de productos tecnológicos para la solución de problemas concretos. Aquellas empresas que logran desarrollar conocimiento propio, así como asimilar conocimiento generado en otras organizaciones, y transformarlo en nuevos productos, procesos y servicios, tendrá mayores probabilidades de adaptarse a un entorno económico altamente competitivo.

Si bien, a diferencia de otros países, la biotecnología en México no es aún un sector relevante, por su creciente contribución al producto interno bruto (PIB), dado que representa importantes ventanas de oportunidad para la conformación de múltiples industrias relacionadas en países en vías de desarrollo (OECD, 2010; CEPAL, 2009), es necesario conocer las posibilidades reales que tiene el país de desarrollar una industria que marca las pautas en el desarrollo tecnológico global. Existe la posibilidad de que las llamadas ciencias de la vida sean el elemento científico-tecnológico que dinamice el próximo ciclo de expansión económica a nivel mundial,[5] por lo que países en vías de desarrollo como México deben establecer estrategias articuladas de política industrial para incentivar el fortalecimiento de sectores estratégicos intensivos en conocimiento con un alto potencial de generar valor agregado en el mediano plazo. En este contexto, resulta de gran importancia conocer las capacidades de innovación que han desarrollado las empresas mexicanas que han logrado competir y mantenerse exitosamente en el mercado, con la finalidad de determinar los factores que han posibilitado su éxito y aquellos que aún no han sido suficientemente explotados.

---

[5] En un documento intitulado *The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda* (2009), la OCDE considera que existe una alta probabilidad de que la biotecnología desempeñe un papel muy importante en diversos aspectos económicos y sociales en las siguientes décadas, relacionados principalmente con el abastecimiento de alimentos, agua, energía, salud y otros recursos y servicios.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA ENCUESTA

El análisis estadístico del sector biotecnológico presenta dificultades relacionadas con su transversalidad, lo cual implica que el desarrollo tecnológico en el sector impacta de forma directa o indirecta en un conjunto importante de otros sectores económicos. Esto es así debido a que la industria biotecnológica no se estructura de manera vertical a partir de una relación cliente-proveedor; antes bien, constituye un conjunto de conocimientos y técnicas que tienen múltiples impactos en numerosas industrias. Por tal motivo, algunas de las actividades que caracterizan a la biotecnología se contabilizan en otros sectores económicos más agregados, como la agroindustria o la farmacéutica. Otro tipo de complicación estadística radica en la aún precaria clasificación de dichas actividades en México; por mencionar sólo un ejemplo, dentro de las estadísticas del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) la agregación a nivel de subsector, dentro del cual se podrían ubicar las actividades biotecnológicas, es Servicios Profesionales, Científicos y Técnicos; el siguiente nivel (rama 541) agrupa a las mismas actividades concentradas en Servicios Profesionales, Científicos y Técnicos, y la subrama (54171) agrupa a los servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería. Ninguna de las agrupaciones permite analizar el desempeño del sector biotecnológico de manera concreta.

Dada la dificultad de dimensionar al sector dentro de la estructura estadística nacional, se han desarrollado encuestas y estudios por parte de organismos gubernamentales como, por ejemplo, ProMéxico (2014), con apoyo de la Secretaría de Economía, que intentan acotar y medir las características particulares de este sector. Si bien el esfuerzo es importante y permite generar información relevante, no es posible desagregar a los sectores productores de bienes y servicios tecnológicos de aquellos que son productores de biotecnología. De ahí la importancia de la generación de información que permita dimensionar por separado la producción biotecnológica.

Reconociendo esta necesidad se desarrolló la *Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología en México*, la cual tiene el objetivo de analizar una población de empresas mexicanas que desarrollan biotecnología mediante una encuesta presencial

levantada en el periodo de septiembre de 2015 a enero 2016, a partir de una base de datos construida en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia de conocimiento para el beneficio de la sociedad". La encuesta se enfocó únicamente a empresas que desarrollan productos biotecnológicos, excluyendo aquellas empresas cuya actividad primordial es la comercialización o que son usuarias de éstos; se excluyeron también las filiales trasnacionales que no desarrollan productos en México. La identificación primaria de las empresas que posteriormente serían encuestadas se hizo a partir de fuentes públicas de información como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) y la Secretaría de Economía (SE) y de algunos directorios publicados con anterioridad.[6] Con base en la información recabada se seleccionaron las empresas que cumplen con los criterios antes descritos y obtuvimos una base final de 40 empresas. La información generada se analiza en el presente estudio mediante las técnicas de análisis de conglomerados y de regresión logística binaria, con el objetivo de encontrar los factores determinantes de la innovación biotecnológica en esas empresas. Pero antes, en el siguiente apartado, se realiza un análisis estadístico descriptivo de las características de las empresas encuestadas.

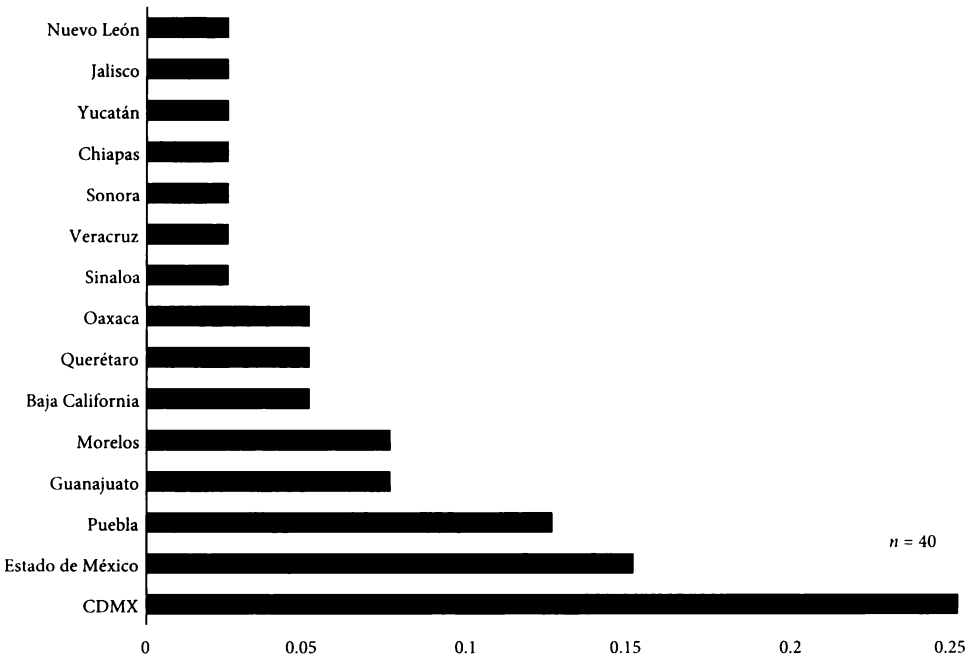
4. ANÁLISIS GENERAL DE LAS EMPRESAS PRODUCTORAS DE BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Dadas las características y capacidad potencial para establecer enclaves tecnológicos avanzados en distintas regiones del país, la dimensión espacial en términos de la distribución de empresas adquiere una relevancia de primer orden. Un resultado, aparentemente obvio, es que las empresas se establecen en las zonas de mayor desarrollo relativo; ello ocurre para poco más del 46% de las organizaciones dedicadas a esta actividad. Sin embargo, llama la atención que poco más de la mitad de las empresas encuestadas se ubiquen en zonas de menor rezago relativo,

---

[6] Principalmente de un diagnóstico realizado por el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (IPN) titulado *La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su factibilidad de desarrollo*, realizado por Sergio Trejo Estrada en 2010.

Gráfica 1. Distribución geográfica de las empresas productoras de biotecnología en México

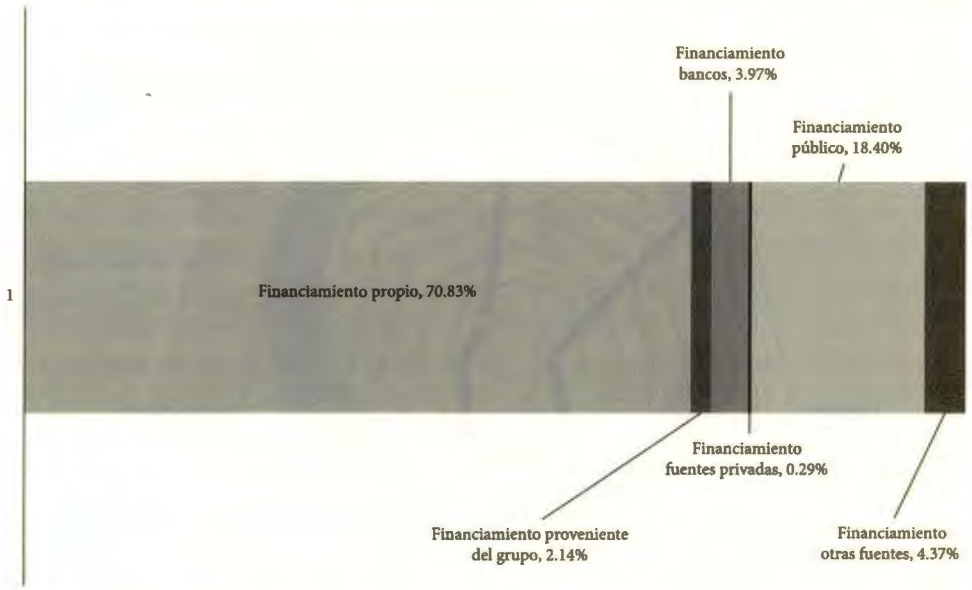


Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta de relevantamiento de actividades de biotecnología,* realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

como es el caso de los estados de Yucatán, Chiapas, Veracruz y Oaxaca. Más adelante se analizará si el desarrollo de la región en la cual se ubican las empresas es relevante para entender las capacidades de innovación.

Respecto al tema del financiamiento, como se puede apreciar en la gráfica 2, a diferencia de lo que ocurre con la investigación a nivel nacional, en donde la principal fuente de financiamiento son los recursos públicos, en el sector biotecnológico la principal fuente de financiamiento de los proyectos en México son los recursos propios de las empresas que participan en el sector. No obstante, la misma gráfica resalta la importancia que el financiamiento del sector público tiene para la realización de investigaciones de este tipo; cerca de 20% de los recursos utilizados para realizar investigación biotecnológica proviene de recursos del gobierno.

Gráfica 2. Financiamiento de la investigación biotecnológica en México

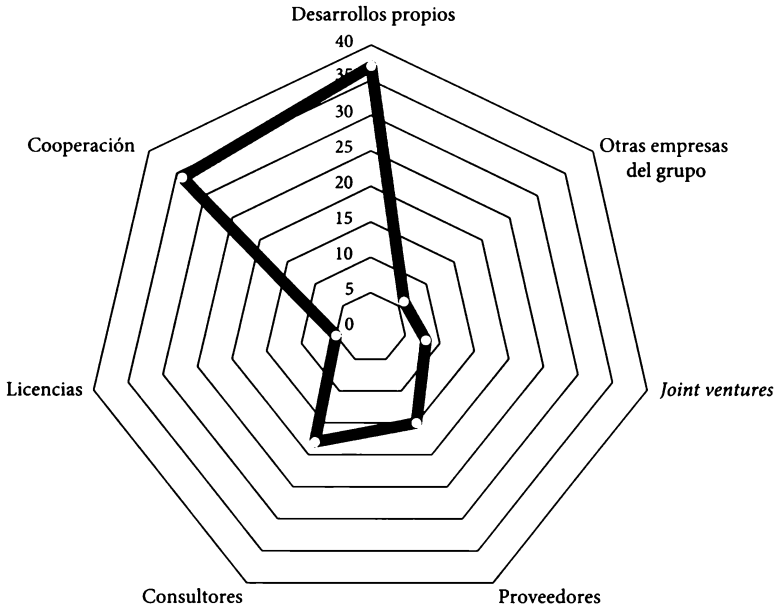


Fuente: elaboración propia con base en la *Encuesta de relevantamiento de actividades de biotecnología*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

A su vez, se destaca la muy pobre participación del sector bancario en la generación de inversiones productivas; tan sólo el 4% de la inversión del sector biotecnológico proviene de financiamiento bancario. Lo cual contrasta de forma importante con lo que ocurre a nivel internacional, donde gran parte del desarrollo de nuevas tecnologías en este sector se basa en la inversión de grandes capitales provenientes del sector financiero (Pisano, 2006).

Como se ha dicho antes, las capacidades de absorción, es decir, las fuentes de conocimiento a partir de las cuales las empresas reciben información del entorno, la asimilan y la transforman en innovaciones propias, constituye un factor de análisis fundamental en la determinación de la innovación. Para el caso de las empresas productoras de biotecnología, los datos de la encuesta muestran que la principal fuente de conocimiento es la investigación propia, esto es, proviene de desarrollos propios. La segunda fuente en términos de importancia es

Gráfica 3. Fuentes de absorción de conocimiento de las empresas biotecnológicas en México*



Nota: * número de menciones.

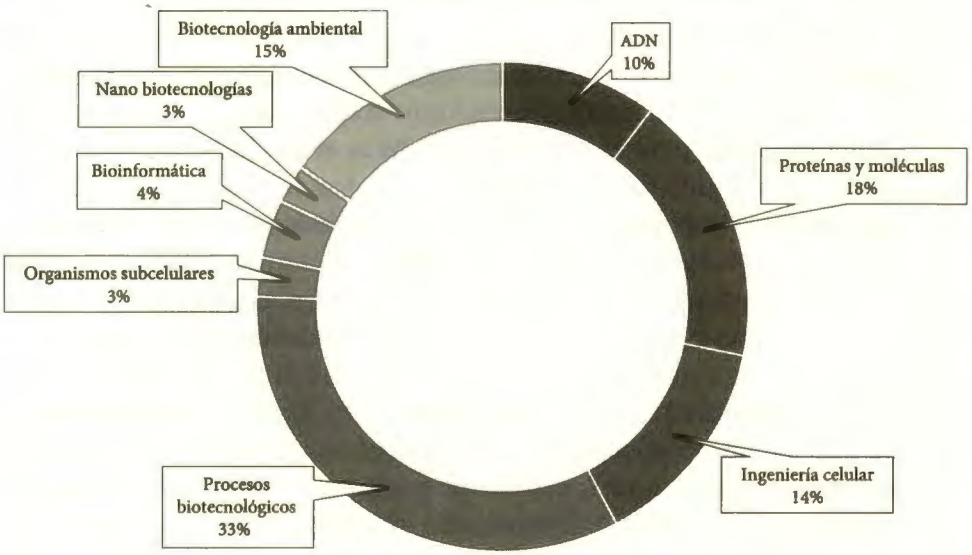
Fuente: elaboración propia con base en la *Encuesta de relevantamiento de actividades de biotecnología*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

la vinculación con universidades y centros de investigación privados o bien con organismos gubernamentales. Lo anterior es un indicador de la importancia de la vinculación en diferentes dimensiones (público-privadas, centros de desarrollo-universidades, interinstitucionales) para generar conocimiento e innovación en este sector.

Los resultados de la encuesta también muestran la falta de desarrollo de algunas fuentes de generación de conocimiento, importantes en otros contextos y latitudes, como los proyectos conjuntos (*joint ventures*) o el desarrollo de licencias. Los datos de la encuesta muestran que estas dos últimas fuentes apenas son utilizadas por las empresas biotecnológicas en México (véase la gráfica 3).

La encuesta también permite obtener información relacionada con el tipo de investigación biotecnológica que se realiza en México. En esa

Gráfica 4. ¿Qué tipo de biotecnología desarrollan las empresas en México?



Fuente: elaboración propia con base en la *Encuesta de relevantamiento de actividades de biotecnología*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

dirección, la más común es la que se vincula con procesos biotecnológicos (una tercera parte de las empresas realiza este tipo de investigación), seguida de proteínas y moléculas con el 18% y biotecnología ambiental con 15% (véase la gráfica 4).

5. METODOLOGÍA

A continuación se describen las técnicas estadísticas y econométricas que serán utilizadas para dar seguimiento a los objetivos planteados, a saber, el análisis de conglomerados y la regresión logística binaria.

5.1. Análisis de conglomerados

El análisis de clúster es una de las técnicas que se utilizan en este trabajo para agrupar unidades de observación que muestran comportamientos relativamente homogéneos. Enseguida se analizan cuáles son esas ca-

racterísticas comunes para entender la manera en la que inciden como factores determinantes de la innovación.

De manera formal, el análisis de conglomerados es una técnica estadística que agrupa unidades de estudio en función de sus similitudes (Mackay, 2003). Existe un conjunto amplio de tipos de análisis de conglomerados, pero el que utilizaremos es el de clúster de *K*-medias. Éste es un método de agrupamiento de datos cuyo objetivo es dividir un conjunto de *n* observaciones en *k* subconjuntos, en el que cada una de las observaciones se asocia con el subconjunto de valor medio más cercano. El análisis de conglomerados de *K*-medias cumple con ciertas características deseables para analizar información con pocas observaciones, como es el caso de la encuesta utilizada. Estas características son las siguientes: 1) tiene poder de predicción; 2) permite la compresión simplificada de grupos; 3) los datos que resaltan (aquellos que no son agrupados en alguno de los *clústeres*) es muy probable que merezcan alguna atención y estudio especial, y 4) los algoritmos de agrupamiento pueden servir como modelos de procesos de aprendizaje en los sistemas de redes neuronales.

Así, el algoritmo utilizado en el clúster de *K*-medias permite agrupar *N* observaciones (donde cada una es un vector real de *d* dimensiones pertenecientes a un espacio de *I* dimensiones) en *K*-conglomerados. Cada clúster es parametrizado por un vector **M(k)** que representa su media con la función:

$$d(x,y)=\frac{1}{2}\sum(X_i-Y_i)^2 \qquad [1]$$

La ecuación [1] muestra el algoritmo que permite la asignación de cada una de las observaciones a su media más próxima mediante, primero, un proceso conocido como de asignación, en el que cada dato *n* es asignado a su media más próxima de acuerdo con la ecuación [2]:

$$K^{(n)}=\arg mín\sum_{t=1}^{k}\sum_{x_j\in S_i}\left\|X_j-u_i\right\| \qquad [2]$$

El segundo es el proceso de actualización mediante el que se calculan nuevas medias a partir de la incorporación de cada una de las nuevas observaciones utilizando el algoritmo de la ecuación [3]:

$$m^{(k)} = \sum_k^{(n)} r \frac{X^{(n)}}{r^{(k)}} \qquad [3]$$

donde $r^{(k)}$ corresponde a la asignación o responsabilidad de la media k:

$$r^{(k)} = \sum_k^{(n)} r \qquad [4]$$

El proceso de iteración se repite hasta que todas las observaciones hayan sido asignadas a sus centros más próximos.

5.2. Análisis de regresión logística

El análisis de regresión logística binaria es de gran utilidad cuando se dispone de una respuesta de tipo binario (en nuestro caso, si tiene o no la capacidad específica de innovación) y su alcance permite medir la intensidad necesaria o grado de impulso de un conjunto de estímulos generados por el entorno requeridos para que produzcan cualquiera de las respuestas esperadas (Gujarati, 2004).

De manera formal, en este tipo de regresiones la probabilidad de ocurrencia de una variable que tiene la característica de ser cualitativa, con un tipo de respuesta (0,1), se correlaciona con un conjunto de variables que pueden asumir forma binaria o escalar. El resultado indica la probabilidad de ocurrencia o no ocurrencia del evento, asociado con cada uno de los valores de las variables explicativas X_n. Así, la probabilidad del suceso se aproxima con una función logística (Reyes Rocabado *et al.*, 2007; Gujarati, 2004):

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1 X_1 + \ldots + b_k X \qquad [5]$$

donde p es la probabilidad de que ocurra el evento de interés. Dado el valor de las variables independientes, podemos calcular de forma directa la estimación de la probabilidad de que ocurra el evento de interés de la forma:

$$(x) = \frac{e^{(\beta_0+\beta_1 X)}}{e^{(\beta_0+\beta_1 X)+1}} = \frac{1}{e^{-(\beta_0+\beta_1 X)+1}} \qquad [6]$$

En el caso de una regresión logit de probabilidad se supone la función:

$$g(x) = \ln \frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} = \beta_0 + \beta_1 X_1 \qquad [7]$$

6. RESULTADOS

Como primer paso en el análisis de los determinantes de la innovación en el sector productor biotecnológico en México realizamos un análisis de conglomerados con la intención de tener un acercamiento preliminar de los factores determinantes de la innovación. Para ello, se corrió un primer clúster para determinar si existe relación entre las fuentes de financiamiento y la generación de proyectos de innovación. La información obtenida como resultado se puede observar en el cuadro 1.

El análisis de la información del cuadro 1 permite extraer algunos aspectos preliminares de las características de los conglomerados. En primer lugar, se obtuvieron tres conglomerados, cuya suma es de 35 empresas (el procedimiento excluye a cinco por falta de valores en observaciones específicas). De esta forma, se puede establecer que existe un primer grupo de empresas medianas de acuerdo con su número promedio de empleados (172), cuyos ingresos superan los 85 millones de pesos y con una antigüedad promedio de 22 años al momento del levantamiento de la encuesta (clúster 1).

Cuadro 1. Características de las empresas por tipo de conglomerado

Número de casos en cada clúster			Promedio de empleados	Promedio de ingresos	Promedio antigüedad
Clúster	1	11	172	85 428	1993
	2	5	27	12 803	1999
	3	19	523	59 054	1987
Válidos		35			
Perdidos		5			

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta sobre capacidades de innovación*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

Un segundo conglomerado, compuesto por cinco empresas, es el más dinámico en términos de crecimiento y también, como se verá más adelante, el que recibe un mayor financiamiento público para realizar proyectos de innovación. Se encuentra integrado por empresas pequeñas (27 empleados en promedio), cuyos ingresos llegan a los 12 millones de pesos anuales y que, en promedio, resultan ser las más jóvenes en el mercado con una antigüedad de 16 años (clúster 2).

Por último, se encuentra un tercer conglomerado, el más amplio en términos del número de empresas que lo componen (19), cuyos ingresos promedio superan los 59 millones de pesos al año. Son las más grandes en términos de empleados (se trata de organizaciones de más de 500 empleados) y con la mayor antigüedad de las empresas del sector, con 28 años en promedio (clúster 3).

La gráfica 5 permite relacionar la existencia de financiamiento público con el desempeño (medido aquí como la tasa de crecimiento).[7] En ese sentido, podría interpretarse como el potencial de los recursos públicos para generar crecimiento dentro de las empresas productoras pertenecientes al sector. Como se puede apreciar, existe una fuerte correlación entre el crecimiento de los ingresos y el porcentaje del financiamiento a la inversión que proviene de recursos públicos.[8]

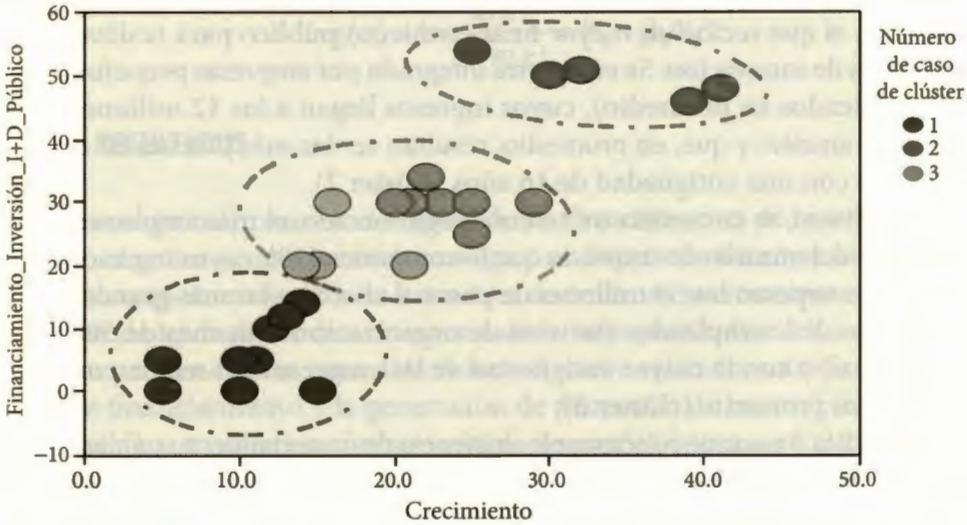
De manera adicional, la gráfica permite observar el dinamismo del sector: el crecimiento promedio de las empresas más dinámicas es mayor a 34%, mientras que incluso el crecimiento de los ingresos del conglomerado de menor dinamismo es de 9.5%, casi cuatro veces el crecimiento promedio de la economía en ese periodo.

---

[7] La intención del análisis de conglomerados es obtener una radiografía de las variables que se relacionan con el desempeño de las empresas del sector. En ese sentido, las variables utilizadas para realizar el análisis fueron el número de empleados, los ingresos, crecimiento de los ingresos, antigüedad y porcentaje de financiamiento recibido del sector público. En términos gráficos, dado que sólo es factible graficar pares de vectores o dimensiones, se seleccionaron para graficar los resultados del clúster, el porcentaje de financiamiento público y el crecimiento de los ingresos, con la intención de dar una primera aproximación a la importancia de la inversión pública dentro del sector biotecnológico en México.

[8] Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables de crecimiento de los ingresos durante 2013-2014 y el porcentaje de financiamiento a la inversión en innovación que tiene como origen los ingresos públicos; el resultado es un coeficiente de correlación superior a 0.81.

Gráfica 5. Financiamiento público y crecimiento por tipo de conglomerado



Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta sobre capacidades de innovación*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

Habiendo establecido algunas hipótesis preliminares derivadas del análisis de conglomerados, el siguiente paso es determinar los factores que inciden en la probabilidad de que una empresa productora dentro del sector biotecnológico sea innovadora. Para ello, se utiliza el análisis de regresión logística binaria para establecer la probabilidad de que una empresa productora de biotecnología realice o no innovaciones en función de las variables explicativas mostradas en la ecuación [8]:[9]

[9] En el caso del tipo de financiamiento, el indicador binario se construyó como sigue. Con la pregunta: Asumiendo que el total de lo invertido en innovación en los últimos cinco años en su empresa suma 100%, ¿qué porcentaje aproximado correspondería a cada una de estas fuentes de financiamiento?, con las posibles respuestas de 1. Recursos propios, 2. Recursos de otras empresas del grupo, 3. Bancos, 4. Otras fuentes privadas y 5. Recursos públicos. Si la suma de los porcentajes obtenidos en las respuestas 1 a 4 es mayor a 50% se supone que la principal fuente de inversión son recursos privados, por lo que se asigna un valor de 1 en recursos privados y de 0 en recursos públicos para esa observación; si a la respuesta 5 el entrevistado asignó un porcentaje mayor a 50%, entonces la principal fuente de inversión son los recursos públicos y se asigna un valor de 1 en el caso de esa empresa.

$$Innovación\ (0,1) = f\begin{pmatrix} Escolaridad, Antigüedad, Vinculación, \\ Fuentes\ de\ conocimiento, \\ Tipo\ de\ financiamiento, \\ Existencia\ de\ departamento\ de\ I+D, \\ Vinculación\ con\ el\ sector\ externo \end{pmatrix} \quad [8]$$

Se espera que la variable *Escolaridad* incida de manera positiva en la existencia de innovación, en virtud de que, como indica la teoría del crecimiento endógeno (Romer, 1991; Hounie, 1999; De la Rica e Iza, 1999; Briseño Mosquera, 2011), cuanto mayor es la escolaridad de una población, el crecimiento económico tiende a acelerarse, entre otros factores, por la existencia de mayores capacidades de innovación derivadas de la generación de conocimiento. De los datos obtenidos, la variable se aproxima mediante el porcentaje de empleados que tienen doctorado.

La antigüedad de la empresa juega como variable proxy de las capacidades de adaptación de las organizaciones, aprovechamiento de las oportunidades y fortalecimiento de sus oportunidades de supervivencia en el mercado. Desde el punto de vista de la teoría del cambio tecnológico (Dosi, 2008), la permanencia en el mercado o antigüedad de la empresa es uno de los factores explicativos del grado de éxito de las organizaciones y, en última instancia, determina la forma en la que las empresas compiten y se adaptan con mayor o menor éxito al entorno competitivo.

A su vez, como se aludió en la primera parte de este artículo, la manera en la que una organización accede al conocimiento constituye un factor determinante en la explicación del éxito tecnológico de las organizaciones. Por ello, se espera que un mayor número de fuentes de conocimiento aumente la probabilidad de que una empresa sea capaz de generar innovación. En este sentido, la variable utilizada en el modelo es el número de fuentes de conocimiento utilizadas.

En varios trabajos recientes se analiza el papel que tienen las fuentes de financiamiento sobre el desarrollo de la innovación en empresas pequeñas (Galindo y Micco, 2005), destacando la importancia que tiene el financiamiento del sector público para financiar proyectos de innovación; se observa que el financiamiento público es prioritario para generar innovación. Sin embargo, a nivel macroeconómico existen hipótesis contrarias que apuntan a que en los países donde más innovación se genera, la inversión privada en ese tipo de proyectos tiende a ser mayor.

Cuadro 2. Bondad de ajuste del modelo estimado

Resumen del modelo			
Paso 1	Logaritmo de la verosimilitud –2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
	19.373[a/]	0.499	0.722

Nota: *a/* La estimación ha terminado en el número de iteración 20 porque se ha alcanzado el máximo de iteraciones. La solución final no se puede encontrar.
Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta sobre capacidades de innovación*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

A partir de los argumentos anteriores es posible establecer la existencia de una relación entre las variables explicativas planteadas y la existencia de innovación, por lo que el paso siguiente es la estimación del modelo seleccionado. En ese sentido, la primera revisión se realiza mediante la estimación de los parámetros de verosimilitud y el coeficiente de bondad de ajuste de Nagelkerke (véase el cuadro 2).

Los resultados muestran que no hubo casos perdidos en el procedimiento, por lo que se incluyeron 40 observaciones. La significancia estadística de chi-cuadrado del modelo en la prueba ómnibus muestra un modelo estimado estadísticamente significativo en su conjunto. En términos del ajuste del modelo, se observa un relativo alto coeficiente Nagelkerke de bondad de ajuste (0.722); el valor recomendado del coeficiente Hosmer-Lemeshow significativo a un nivel de 5%.

La tabla de clasificación (cuadro 3) permite evaluar el ajuste del modelo estimado mediante la comparación de los valores estimados con los observados,[10] es decir, aquellas observaciones para las cuales la ecuación calcula una probabilidad < 0.5 se clasifican como NO INNOVA, mientras que si la probabilidad resultante es ≥ 0.5 se clasifican como INNOVA. En este proceso, el modelo ha clasificado de forma correcta al 90% de los casos; en aquellos en que no hubo innovación el modelo captura de forma adecuada al 82% de los mismos, mientras que para los casos

[10] De manera preestablecida, el software (SPSS 23) utiliza un punto de corte de la probabilidad de $Y = 0.5$ para realizar la clasificación de las observaciones.

Cuadro 3. Distribución de los porcentajes de estimación por tipo de respuesta

Tabla de clasificación[a/]					
Observado			Pronosticado		
			Innovó		Porcentaje correcto
			0	1	
Paso 1	Innovó	No	9	2	81.8
		Sí	2	27	93.1
	Porcentaje global				90.0

Nota: *a/* el valor de los cortes es de 0.500.

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta sobre capacidades de innovación y desarrollo tecnológico de la biotecnología y la nanotecnología en México*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

en los que las empresas innovan se captura de manera correcta al 93% de las observaciones.

Otra forma de evaluar la bondad de ajuste del modelo es mediante la tabla de contingencias para la prueba de Hosmer y Lemeshow, que parte de la hipótesis de que si el ajuste es aceptable entonces un valor alto de la probabilidad predicha (p) se asociará con el resultado 1 de la variable endógena, mientras que un valor de p cercano a cero corresponderá al resultado $Y = 0$.

Así, para las respuestas de las empresas se calcula la probabilidad de la variable dependiente que predice el modelo y se ordenan para que, a partir de las frecuencias esperadas, se realice una comparación con las observadas efectuando una prueba Chi-cuadrada. Si el modelo es adecuado, los valores observados y esperados de innovación y de no innovación tienden a ser convergentes en la medida en que se agrupan las observaciones, como se muestra en el cuadro 4. Como se puede apreciar, el modelo estima con un grado relativamente alto de precisión la existencia de capacidades de innovación en las organizaciones del sector biotecnológico.

Por último, el cuadro 5 muestra los resultados de la estimación binomial. A pesar de que el modelo es estadísticamente significativo, en su conjunto existen variables que, en lo individual, no tienen significancia estadística, por lo que se supone que no ejercen influencia importante

Cuadro 4. Tabla de contingencia (prueba de Hosmer y Lemeshow)

		Innovó = No		Innovó = Sí		Total
		Observado	Esperado	Observado	Esperado	
Paso 1	1	4	3.811	0	0.189	4
	2	3	3.117	1	0.883	4
	3	3	2.139	1	1.861	4
	4	1	1.387	3	2.613	4
	5	0	0.433	4	3.567	4
	6	0	0.112	4	3.888	4
	7	0	0.000	4	4.000	4
	8	0	0.000	4	4.000	4
	9	0	0.000	4	4.000	4
	10	0	0.000	4	4.000	4

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta sobre capacidades de innovación*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

Cuadro 5. Resultados del modelo de regresión logístico

Variables en la ecuación		B	Error estándar	Wald	gl	Significancia	Exp(B)
Paso 1	*POSGRADO*	50.43	28.81	3.06	1.00	0.08	7.94E+21
	ANTIGUEDAD	0.06	0.05	1.70	1.00	0.09	1.06
	TIENE_VINCULACION	19.24	7 320.07	0.00	1.00	0.10	2.27E+08
	FUENTES_ CONOCIMIENTO	1.23	0.64	3.63	1.00	0.06	3.41
	FINANCIAMIENTO_ PÚBLICO	1.20	1.64	0.54	1.00	0.46	3.32
	TIENE_DEPTO_I+D	−0.29	1.24	0.05	1.00	0.82	0.75
	EXPORTÓ(1)	−21.12	7 320.07	0.00	1.00	1.00	0.00
	Constante	−125.04	93.80	1.78	1.00	0.18	0.00

Fuente: elaboración propia con datos de la *Encuesta sobre capacidades de innovación*, realizada en el marco de la Red Temática Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad".

sobre la innovación de las empresas en el sector biotecnológico. Tal es el caso de las variables de financiamiento público, existencia de departamento de I+D y grado de vinculación con el sector externo. Lo anterior no anticipa que el financiamiento público no sea una variable relevante para explicar la existencia de innovación en las empresas. Más bien, dado que más del 70% del financiamiento a la investigación en el sector biotecnológico en México proviene de recursos privados, resulta poco factible pensar que un porcentaje comparativamente pequeño tenga un impacto importante en la generación de innovación en las organizaciones.

El hecho de que la existencia de un departamento de I+D tampoco tenga representatividad estadística en el modelo podría explicarse porque resulta más importante para la creación y establecimiento de capacidades de innovación la existencia de redes de vinculación y obtención de conocimiento, más que la investigación generada "*in doors*".

El grado de vinculación con el sector externo es otra variable que, de acuerdo con los resultados del modelo estimado, no es un factor representativo de la existencia de capacidades de innovación al interior de las organizaciones. Ello podría deberse a dos aspectos: el primero, el incipiente desarrollo del sector productor de bienes biotecnológicos en el país, que aún no alcanza el grado de madurez necesario para competir en mercados internacionales; ello no significa que las organizaciones del sector privado dedicado a la biotecnología no exporten, más bien, y ello representa el segundo aspecto, que una parte de las organizaciones, más o menos el 20% de la muestra (aquellas que son filiales de matrices extrajeras, pero que desarrollan productos en México o que nacieron de un *spin-off*), podrían estar realizando comercio intra-empresa.

Del cuadro 5 se deduce una regresión logística de la forma:

$$P(Innova) = \frac{1}{1 + \exp(-125.03 + 50.4Escol + 0.06Antig + 1.22Vincula + 1.22Cono)}$$

En esta última ecuación se excluyen las variables no estadísticamente significativas a un nivel de 10%, por lo que las variables que explican el comportamiento innovador de las empresas en el sector son: 1) vinculación; 2) antigüedad; 3) recursos humanos especializados, y 4) número de fuentes de conocimiento. A partir de estos resultados es posible extraer las conclusiones expuestas a continuación.

7. CONCLUSIONES

Es el grado de vinculación con otras empresas y, en ese sentido, la capacidad de relacionarse y establecer redes con otras organizaciones, así como de tener un número amplio de fuentes de conocimiento, lo que determina en última instancia, de acuerdo con el modelo propuesto aquí, la capacidad de generar innovación en el sector productor de biotecnología en México. Ello parece estar en consonancia con las teorías analizadas en el presente estudio, vinculadas con la importancia de la existencia de conocimiento y la posibilidad de ser absorbido por las organizaciones. Lo anterior también apunta a que la construcción de una estructura específica de redes entre las organizaciones determina los recursos funcionales, las restricciones de la organización y la capacidad para el desarrollo de soluciones innovadoras. Cuanto mayores son las fuentes de vinculación de una organización productora de biotecnología, tanto en el ámbito de redes de conocimiento como de redes de vinculación con otras organizaciones, es mucho más probable que la organización sea capaz de generar procesos internos de innovación.

Por otra parte, la antigüedad representa otra variable relevante para explicar la capacidad para generar innovación. Desde la perspectiva de la teoría del cambio tecnológico, la permanencia en el mercado exhibe la capacidad de adaptación de una organización a un entorno cambiante y, en ese sentido, su grado de éxito evolutivo. La generación de innovaciones en este contexto representa una manera de adaptación organizacional efectiva.

Por último, pero no menos importante, la importancia de los recursos humanos, expresados aquí como porcentaje de empleados con estudios de posgrado. Cuanto mayor es la proporción del empleo con altos niveles de escolaridad, también es mayor el aprovechamiento de las redes de conocimiento y de vinculación, detonantes fundamentales de los procesos de innovación.

Si bien el análisis de regresión logística no revela la existencia de una relación significativa entre la existencia de financiamiento público y la generación de procesos de innovación, ello podría ser resultado de la escasa participación de los distintos órdenes de gobierno en el financiamiento de proyectos de innovación. Sin embargo, el análisis de conglomerados permite establecer cierta relación entre desempeño,

visto como crecimiento de ingresos y el tipo de financiamiento con el que se realizan los proyectos de innovación. En este sentido, uno de los aspectos clave para incrementar la capacidad de innovación del sector biotecnológico en México puede ser el acceso a un mayor financiamiento proveniente del sector público, dado el bajo porcentaje que aún representa dentro de la inversión total en innovación. Asimismo, el papel del sector privado, analizado aquí bajo la modalidad de recursos del sector bancario canalizados a la inversión productiva, es por demás insuficiente; apenas el 4% del financiamiento para proyectos que desemboquen en productos innovadores proviene del sector bancario. Ello representa un indicador preocupante y la escasa participación bancaria en la inversión productiva total.

Dado lo estratégico del sector biotecnológico para el crecimiento del sector industrial, y su potencial para apuntalar una nueva oleada de crecimiento, se debe establecer una política gubernamental que busque desarrollar las capacidades de innovación en este sector y fortalecer a aquellas empresas que sean más innovadoras y cuyos resultados en términos de absorción y generación de nuevo conocimiento tengan impactos significativos al interior de los diversos sectores productivos de la economía.

De forma complementaria a esta estrategia, se deben incrementar las capacidades de los recursos humanos que participan en el sector. Ello se puede generar mediante el desarrollo de programas educativos especializados, la promoción de vínculos con universidades con estudios de frontera en el tema y el fomento de los vínculos universidad-empresa. El desarrollo de una política pública encaminada al desarrollo de sectores clave, como el biotecnológico, que corra de manera paralela con una política de promoción al desarrollo de capacidades del sector, puede generar un posicionamiento importante del sector biotecnológico hacia el futuro. ◄

REFERENCIAS

Bell, J., Crick, D. y Young, S. (2004). Small firm internationalization and business strategy. An exploratory study of 'knowledge-intensive' and 'traditional' manufacturing firms in the UK. *International Small Business Journal*, 22(1), pp. 23-56.

Briseño Mosquera, A. (2011). La educación y su efecto en la formación de capital humano y en el desarrollo económico de los países. *Apuntes del CENES*, 30(51), pp. 45-59.

CEPAL (2008). Innovación y desarrollo económico. En: *La transformación productiva 20 años después: viejos problemas, nuevas oportunidades* (capítulo III, pp. 133-148). Santiago de Chile: CEPAL.

Cohen, W.M. y Levinthal, D.A. (1994). Fortune favors the prepared firm. *Management Science*, 40(2), pp. 227-251.

Coriat, B., Orsi, F. y Weinstein, O. (2003). Does biotech reflect a new science-based innovation regime? *Industry and Innovation*, 10(3), pp. 231-253.

De la Rica, S. e Iza, A. (1999). Capital humano, productividad y crecimiento: teorías y contrastes. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 45, pp. 266-283.

Dosi, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of economic literature*, 26(3), pp. 1120-1171.

Dosi, G. (2008). La interpretación evolucionista de las dinámicas socio-económicas. En: Viale, R. (comp.), *Las nuevas economías. De la economía evolucionista a la economía cognitiva: más allá de las fallas de la teoría neoclásica* (pp. 29-43). México: Flacso.

Dosi, G., Faillo, M. y Marengo, L. (2003). *Organizational capabilities, patterns of knowledge accumulation and governance structures in business firms: An introduction* [LEM Papers Series no. 2003/11)]. Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italia.

Foray, D. (2004). *The Economics of Knowledge*. Cambridge, MA y Londres: The MIT Press.

Freeman, C. (1994). The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, 18(5), pp. 463-514.

Galindo, A. y Micco, A. (2005). Bank credit to small and medium sized enterprises: The role of creditor protection [Documentos CEDE no. 002049]. Universidad de los Andes-CEDE, Santiago de Chile, Chile.

Gujarati, D.N. (2004). *Basic Econometrics*. 4.ª ed. Nueva York: McGraw-Hill.

Hounie, A., Pittaluga, L., Porcile, G. y Scatolin, F. (1999). La CEPAL y las nuevas teorías del crecimiento. *Revista de la CEPAL*, 68, pp. 7-33.

Kim, L. (1997). The dynamics of Samsung's technological learning in semiconductors. *California Management Review*, 39(3), pp. 86-100.

Lundstrom, M. y Wong, H.-S.P. (2013). Convergence platforms: Foundational science and technology tools. En: M.C. Roco, W.S. Bainbridge, B. Tonn y G. Whitesides (eds.), *Convergence of Knowledge, Technology, and Society:*

Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies (pp. 1-52). Cham, Suiza: Springer International Publishing.

MacKay, D.J. (2003). *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press.

Marques, P. (2008). Book review Localised Technological Change-Towards the Economics of Complexity, Cristiano Antonelli. *Journal of Economic Geography*, 9(2), pp. 288-290.

Mokyr, J. (2002). *The Gifts of Athena. Historical Origins of the Knowledge Economy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Morales, A. y Villavicencio, D. (2015). Convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México. En: A. Morales (coord..), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos* (pp. 139-164]. CDMX: Conacyt/Editorial Los Reyes.

Morales, A. y Amaro, M. (2016). Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes. *Redes*, 22(42), pp. 13-40.

Nelson, R.R. y Winter, S.G. (1982). The Schumpeterian tradeoff revisited. *The American Economic Review*, 72(1), pp. 114-132.

Nelson, R.R. y Rosenberg, N. (1993). Technical innovation and national systems. En: R.R. Nelson (ed.), *National Innovation Systems. A Comparative Analysis* (pp. 3-21). Nueva York: Oxford University Press.

Niosi, J. (2011). Complexity and path dependence in biotechnology innovation systems. *Industrial and Corporate Change*, 20(6), pp. 1795-1826.

OECD (2001) [Organisation for Economic Co-operation and Development]. *Innovative People. Mobility of Skilled Personnel in National Innovation System*. París: OECD.

OECD (2009). *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*. París: OECD.

OECD (2010). *Measuring Innovation: A New Perspective*. París: OECD.

Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, 13(6), pp. 343-373.

Pisano, G. (2006). Profiting from innovation and the intellectual property revolution. *Research Policy*, 35(8), pp. 1122-1130.

Pisano, G.P. (2010). The evolution of science-based business: Innovating how we innovate. *Industrial and Corporate Change*, 19(2), pp. 465-482.

ProMéxico (2014). *Biotecnología*. México: ProMéxico, Unidad de Inteligencia de Negocios.

Reyes Rocabado, J., Escobar Flores, C., Duarte Vargas, J. y Ramírez Peradotto, P. (2007). Una aplicación del modelo de regresión logística en la predicción del rendimiento estudiantil. *Estudios pedagógicos*, 33(2), pp. 101-120.

Romer, P.M. (1991). El cambio tecnológico endógeno. *El Trimestre Económico*, 58(3)(231), pp. 441-480.

Rosenberg, N. (1972). *Technology and American Economic Growth*. Nueva York: Harper & Row.

Smith, K. (2000). What is the 'knowledge economy'? Knowledge-intensive industries and distributed knowledge bases. Ponencia presentada en el *DRUID'S Summer Conference on the Learning Economy-Firms, Regions and Nation Specific Institutions*, Rebild, Denmark, 15-17 de junio.

Urban, R.G., Grodzinski, P. y Arnold, A. (2013). Implications: Human health and physical potential. En: M.C. Roco, W.S. Bainbridge, B. Tonn y G. Whitesides (eds.), *Convergence of Knowledge, Technology and Society: Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies* (pp. 185-222). Cham, Suiza: Springer International Publishing.