

Derechos reservados de El Colegio de Sonora, ISSN 1870-3925

Signos vitales. Aprendizaje biotecnológico en América del Norte*

Alejandro Mercado Celis**

Resumen: Las brechas tecnológicas entre países y regiones son la pieza clave en la diferenciación económica y en las tasas de crecimiento resultantes. Los países y regiones menos desarrollados pueden fomentar competencias tecnológicas con estrategias diferentes. El mejor momento para que este tipo de países ingrese en la competencia por el control tecnológico es cuando las tecnologías y los conocimientos relacionados con ellas están en una etapa inicial, a lo que se le conoce como ventana de oportunidad tecnológica y locacional. En este artículo, se argumenta que la ventana de oportunidad de la biotecnología aún está abierta, y que México todavía puede entrar en la competencia mundial por su desarrollo. No obstante lo anterior, se documenta que Canadá y Estados Unidos están generando ventajas absolutas con rapidez, por lo que las ventanas de oportunidad en algunas áreas pronto estarán “cerradas”. Se presentan las

* Artículo elaborado con el auspicio del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIT) IN306203.

** Investigador del Centro de Investigaciones sobre América del Norte. Universidad Nacional Autónoma de México, Torre II de Humanidades, piso 9, Ciudad universitaria, México, D. F., C. P. 04510. Teléfono: (55) 56230303. Correo electrónico: amercado@servidor.unam.mx

regiones que dominan la creación de aplicaciones comerciales en biotecnología en la región de América del Norte. En particular, se subraya el papel destacado que algunas ciudades canadienses están jugando en el desarrollo de esta industria, pese a la competencia estadounidense.

Palabras clave: desarrollo regional, biotecnología, América del Norte.

Abstract: Technological gaps among countries and regions are the key element in the economic differentiation and in the outcoming growth rates. Less developed countries and regions can develop technological capabilities based on different strategies. The right time for the less developed countries entering the technological competition is when technologies and knowledge related to them are in an early stage of development; this particular moment is known as a window of technological and locational opportunity. This article claims that biotechnology's window of opportunity is still open, and that Mexico still can enter the competition for developing a biotechnology industry. However, although the window is open, Canada and the United States are quickly generating absolute advantages; consequently, in some areas, those windows of opportunity will soon be closed. Regions at the forefront of biotechnology competition in North America are discussed highlighting the relevant performance of some Canadian cities in the development of this industry, in the face of American competition.

Key words: regional development, biotechnology, North America.

Introducción

El cambio e innovación tecnológica son aceptados en la literatura sobre desarrollo regional como elementos clave y fundamentales, para generar crecimiento rápido y desarrollo económico. Diferentes autores (Dosi *et al.*, 1988; Dosi *et al.*, 1990; Fagerberg *et al.*, 1997; Krugman, 1990; Fujita *et al.*, 1999) por más de dos décadas han demostrado que las tasas de crecimiento de los países, así como sus flujos comerciales principales son resultado de las brechas o especializaciones tecnológicas entre ellos. La llamada economía del aprendizaje toma como base el cambio e innovación tecnológica, para enfatizar la capacidad y rapidez con la que firmas, comunidades, regiones o países producen, usan y acumulan conocimiento nuevo. Así, las regiones que aprenden más rápido, que cuentan con estructuras relacionales que facilitan y capturan el conocimiento y su cambio, presentan niveles cualitativamente superiores en términos de su dinámica económica. Ésta se expresa, comúnmente, en niveles de bienestar general superiores en relación con otras zonas o países. El papel de la región en la generación de procesos de aprendizaje económico, sostenido por el cambio e innovación tecnológica, ha sido demostrado empírica y teóricamente (Scott, 1988a, 1993; Porter, 1991; Storper, 1997; Lundvall y Maskell, 2000; Hotz-Hart, 2000). Aun en la globalización, el desarrollo tecnológico y la llamada economía del aprendizaje han generado concentración, especialización y diferenciación, entre los países y sus regiones subnacionales.

La literatura sobre el cambio y la innovación tecnológica señala que las brechas tecnológicas son resultado de procesos de especialización económica, en contextos de aprendizaje rápido y en los cuales se generan conocimientos explícitos, localizados y particulares (Dosi *et al.*, 1988). Éstos y la posibilidad de aprender están enmarcados en una multiplicidad de interacciones sociales entre usuarios y productores, usuarios y usuarios (interdependencias comerciales), o entre actores participantes en espacios de conocimiento similar o cercano (interdependencias no comerciales). De

aquí que un conjunto de ventajas o capacidades para aprender e innovar se encuentran en densas redes de interacciones convencionales, muchas veces aglomeradas territorialmente. Cuando la región contiene un conjunto de interdependencias (interacciones) sean o no comerciales en su espacio, se convierte en “un elemento esencial en la evolución y cambio de las tecnologías” (Storper, 1997), y por lo tanto de su suerte económica frente a la globalización y la competencia internacional.

Uno de los debates específicos, que se desprenden de la literatura sobre innovación y cambio tecnológico, es el de las condiciones necesarias en las que los países subdesarrollados pueden cerrar las brechas tecnológicas. Pérez y Soete (1988) han contribuido de forma fundamental en este debate, al identificar las condiciones bajo las cuales se puede dar un proceso efectivo de alcance tecnológico (*catching up in technology*).

Alcanzar o eliminar brechas tecnológicas no es un proceso sencillo, ni faltan obstáculos para lograrlo. Existe una serie de costos económicos y barreras u obstáculos de aprendizaje más o menos definidos e identificados. Éstos se pueden agrupar en costos de inversión fija, en costos del cierre de las brechas de conocimiento, experiencia, habilidades y capacidades y el costo de compensar por la falta de externalidades —desventajas de localización— (Pérez y Soete, 1988).

Estas barreras de entrada o alcance son diferentes según el tiempo de evolución de la tecnología, y por lo mismo la facilidad para que entren competidores nuevos varía en relación con ellas. El ciclo presenta cuatro fases: la I se enfoca en el desarrollo del producto en sí mismo; la II en el proceso de producción; la III en la administración del crecimiento de la firma y captura de segmentos de mercado y la última en la estandarización de productos y procesos. Las inversiones subsiguientes en desarrollo tecnológico generan rendimientos decrecientes.

Pérez y Soete (1988) identifican la fase I y IV como los momentos en que las barreras o costos de entrada (iniciar una nueva operación tecnoeconómica) son menores. En la fase II se presentan

costos significativos por la necesidad de adquirir conocimiento y capacidades humanas y tecnológicas, que los competidores ya poseen. En la fase III es prácticamente imposible el ingreso de competidores nuevos, todos los costos de entrada llegan a su máximo. En la última etapa es fácil ingresar, debido a que la tecnología iniciará un proceso de difusión en el que las barreras de entrada serán reducidas tanto en las necesidades materiales (insumos, componentes), institucionales y de fuerza de trabajo especializada así como de conocimiento, ya que todas estas variables vuelven a ser fácilmente adquiribles, porque fueron estandarizadas. A primera vista, y de acuerdo con la experiencia de industrialización de la mayoría de los países latinoamericanos, cuando el producto-tecnología está maduro es aparentemente el único momento en que los países menos desarrollados puedan entrar. Sin embargo, esto mismo provoca que los competidores sean muchos y las ganancias decrezcan considerablemente. En este tipo de tecnologías y productos es en los que se ubican los *late-commers* o quienes entran tardíamente. Pero ingresar en esta etapa presenta problemas y limitaciones importantes, adicionales a las ya señaladas. Pérez y Soete (1988:459) lo sintetizan: “En tanto que los productos maduros son precisamente aquellos que han terminado su dinamismo tecnológico, esta elección implica un claro riesgo de quedar atrapado en un patrón de crecimiento de bajos salarios, y bajo crecimiento”. La industrialización de México durante los periodos económicos modernos, desde la época de la sustitución de importaciones hasta la era de la apertura total, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y la cartera creciente de nuevos tratados de libre comercio presentan esta característica, es decir, industrialización a través de la fase IV, ya sea por inversión nacional o extranjera directa.

La otra opción es cuando la tecnología se encuentra en su etapa inicial. Este momento permite la entrada de competidores nuevos, ya que los conocimientos, prácticas y en general el sistema organizacional y económico está por construirse, de ahí que las barreras de entrada sean mínimas. En esta etapa, los conocimientos

necesarios son en su mayoría explícitos, codificados y universales, es decir, se encuentran en principios científicos generales y en conocimiento que está disponible a través de documentos, artículos, manuales o libros. A la reducción considerable de barreras de entrada en esta etapa temprana del desarrollo de nuevas tecnologías, se le conoce como *ventana de oportunidad tecnológica*.

A medida que la tecnología evoluciona, se crean conocimientos específicos, tácitos, localizados y particulares que generan barreras de entrada importantes. En otras palabras, a medida que se avanza en el proceso se va produciendo un marco institucional-organizativo, que en sí mismo constituye otra barrera de entrada importante. Aunado a esto, el desarrollo tecnológico para este momento genera una estructura industrial particular, expresada en una división social específica del trabajo, una fuerza laboral con calificaciones especializadas y capacidades particulares, instituciones de apoyo formales e informales (prácticas comunes de entendimiento o marcos de acción) (Storper y Walker, 1989; Storper, 1997). En este momento, la tecnología o región entra en un proceso de encerramiento (*lock-in*), es prácticamente imposible la entrada para competidores nuevos (Arthur, 1994). Esta fase de encerramiento dura hasta que el producto o las tecnologías asociadas entran en maduración, dando paso a la cuarta etapa.

La etapa de estandarización-maduración puede ser pospuesta o retardada (y permanece por más tiempo en la etapa III), de acuerdo con las posibilidades de producir redefiniciones tecnológicas del producto, y por lo tanto "rejuvenecerlo". Sin embargo, en la medida en que se extingan o agoten las posibilidades de innovación se entrará a la etapa de maduración. Diversos autores señalan que esto sucede de igual manera o simultáneamente en la dimensión territorial del proceso. Cuando las tecnologías están en etapas tempranas, territorios o regiones diversos pueden entrar en la competencia por su desarrollo. Esto, porque las condicionantes territoriales de diferenciación son, por igual, reducidas al mínimo, debido al estado embrionario de la tecnología industrial. Es decir, todavía no hay una fijación geográfica de las ventajas de la indus-

tria en uno o algunos lugares. Sin embargo, esta ventana de oportunidad locacional también es temporal, y desaparece al tiempo en que ventajas absolutas se acumulan en una o varias regiones. Una vez que la ventana de oportunidad locacional y tecnológica ha sido cerrada, se dice que la tecnología y su geografía han entrado en un proceso de *lock-in* o encerramiento, en el que es difícil que entren competidores y regiones nuevos (al menos con igual dinamismo) (Scott, 1988b; Storper y Walker, 1989). El acceso a competidores nuevos en esa tecnología particular se dará una vez más al entrar en la etapa de estandarización de conocimientos y tecnologías.

Hay que subrayar la importancia de intentar un *catching up* tecnológico en áreas poco desarrolladas; las mejores posibilidades están en la primera etapa. Un

[...] alcance efectivo sólo ocurre a través de adquirir la capacidad de participar en la generación y mejoramiento de tecnologías a diferencia del simple uso de ellas. Esto quiere decir que ser capaz de entrar ya sea como imitadores tempranos o como innovadores de nuevos productos o procesos (Pérez y Soete, 1988:459-460).

Por lo común, se piensa que alcanzar tecnológicamente es cuestión de imitar o adquirir conocimientos a lo largo de un camino definido, es decir, seguir objetos-productos existentes, mercados consolidados, demandas ya construidas. Por el contrario, “la historia está llena de ejemplos de que el éxito se alcanza en principio en correr hacia una nueva dirección”, y no sólo hacerlo con prisa. Esto es, buscar nuevos objetos-productos y conocimientos y áreas tecnológicas y económicas nuevas.

La rapidez con que aprende (tecnológica y económicamente) una firma, comunidad de firmas, una región o un país marca la temporalidad de estas ventanas de oportunidad. La construcción de ventajas absolutas y maestría tecnológica depende claramente de la velocidad de aprendizaje y empleo del conocimiento nuevo. Sin embargo, hay que señalar que si bien es posible entrar a competir cuando se abren ventanas de oportunidad, también es cierto

que esta etapa presenta una gran incertidumbre sobre los resultados finales, es decir, existe un altísimo riesgo de falla o toma de rutas que no serán las “ganadoras o prevaletentes”, debido al proceso de retornos crecientes (*increasing returns*), que muestra cómo accidentes históricos o eventos no anticipados pueden inclinar la balanza por una u otra tecnología, que al final prevalecerá sobre sus competidoras (Arthur, 1988). A esta incertidumbre hay que agregar los problemas propios de la acción colectiva. Como señala la literatura de ciencias políticas, los proyectos complejos en los que actúan una diversidad de agentes sin un beneficio inmediato y claro tienden a fallar, cuando no permean convenciones o instituciones informales que faciliten la cooperación entre actores (Olson, 1965; Putnam *et al.*, 1993; Fukuyama, 1996). No obstante, la incertidumbre de empezar o tratar de iniciar ciclos virtuosos alrededor de tecnologías nuevas es un paso que no se puede evadir, si se trata de alcanzar una economía en estadios superiores de desarrollo.

Biotechnología ¿una ventana de oportunidad actual?

La biotecnología es un buen caso para ejemplificar las proposiciones dibujadas hasta aquí. Si bien los avances científicos en torno a lo que conocemos como la nueva biotecnología (a diferencia de la tradicional, que se basa en técnicas como procesos de fermentación, selección genética, cruce de especímenes, etcétera), tiene ya tiempo de haber entrado en la escena científica y económica, la naciente industria no se ha consolidado. Existen en realidad pocos productos en áreas específicas. La mayor parte de lo que podemos llamar industria biotecnológica está en una etapa de investigación y desarrollo (i&d), y aunque se han generado miles de patentes en relación con esta investigación, el balance entre ingresos y egresos de la industria en su totalidad sigue reportando números rojos. El ingreso neto para 2001 por área geográfica es, en todos los casos, negativo a escala global, de menos de 5 933 millones de

dólares; menos de 4 799 en Estados Unidos; de 608 en Europa; de 508 en Canadá y en el área Asia Pacífico de menos de 19 (Ernst & Young, 2003c). Aún así, la biotecnología está atrayendo cada vez más recursos privados y públicos en cantidades inmensas, y es que los beneficios económicos de la explotación de las diferentes tecnologías que la componen están cada vez más cerca de ser realidad. Los ingresos reportados por esta industria a escala global en 2001 fueron de 34 874 millones de dólares; 25 319 en Estados Unidos, 7 533 en Europa, 1 021 en Canadá y 1 001 en la región Asia Pacífico.

Debido a su novedad, la biotecnología como proceso tecno-industrial todavía no cuenta con una categoría censal que la defina satisfactoriamente. Aún así, existen diferentes aproximaciones estadísticas que permiten señalar en qué momento nos encontramos en términos de ventanas de oportunidad. También se puede indicar qué países y regiones van a la delantera. En otras palabras, podemos saber de forma aproximada cuáles son las regiones, comunidades y firmas que están en procesos de aprendizaje acelerado y los que están generando la relación final entre conocimiento, tecnología y explotación económica. Antes de presentar la información particular que respalda esta afirmación, es necesario acotar qué es la biotecnología y cuál es su potencialidad económica.

La biotecnología, en su definición más general, es el uso de material orgánico o procesos biológicos para su aplicación con objetivos comerciales. Este tipo de tecnologías han estado presentes a lo largo de la historia de la humanidad. Aquí nos interesa sólo la biotecnología nueva a la que se define como “el uso de procesos celulares y biomoleculares para resolver problemas o desarrollar productos” (Biotechnology Industry Organization, 2003) o también como “el uso integrado de bioquímica, microbiología y ciencias de la ingeniería para lograr capacidades de aplicación tecnológica (industrial) de microorganismos, cultivo de tejidos y sus partes o derivados” (Smith, 1996:2). La industria biotecnológica no es un conjunto compacto y perfectamente definible de produc-

tos y procesos, por el contrario y debido a su estado inicial, se conforma por un conjunto de técnicas y conocimientos que son clasificados en: tecnologías de bioprocesos (conjunción de tecnologías de recombinación de ácido desoxirribonucleico (ADN), con fermentación macrobiótica); anticuerpos monoclonales (uso de anticuerpos como instrumentos de diagnóstico y medición de sustancias en el medio ambiente); cultivos celulares (crecimiento de células fuera de organismos vivos); clonación (generación de poblaciones de moléculas, células, plantas o animales genéticamente idénticos); tecnologías de recombinación de ADN (combinación de material genético de fuentes diversas); ingeniería de proteínas (mejoramiento de las existentes y creación de otras no encontradas en la naturaleza); biosensores (combinación de material biológico y microelectrónico); bionanotecnologías (uso de ADN para construcción de nanoestructuras) y microarreglos (empleada para estudiar la estructura genética y sus funciones).

Las posibilidades de espacios económicos nuevos en cada una de las áreas tecnológicas descritas arriba es enorme. Esto por sí mismo es muy atractivo económicamente, pero la importancia de la biotecnología radica no sólo en ser una industria naciente que generará productos, empleos y mercados nuevos. La verdadera relevancia económica (potencialmente hablando) de la biotecnología consiste en la posibilidad de constituirse en un paradigma tecnológico nuevo, lo que implica un impacto en el conjunto de la economía a través de un uso de esta tecnología, en un vasto abanico de industrias. La potencialidad de la biotecnología puede ser equiparada con la llegada de la microelectrónica y las computadoras (Rifkin, 1998). Es decir, no es sólo la posibilidad de entrada de otros universos de productos nuevos, sino la transformación de miles de procesos y productos existentes. Baste señalar las aplicaciones actuales que incluyen: herramientas e instrumentos para investigación, el sector salud, la producción agrícola, los alimentos, así como a la industria, medioambientales, defensa y otras como la investigación espacial. En el cuadro 1 se resumen las aplicaciones principales registradas hasta este momento.

Cuadro 1
Aplicaciones principales de la biotecnología
(registradas a la fecha)

Aplicaciones generales	Subramas de aplicación
Instrumentos para investigación y desarrollo	Tecnología celular, clonación, microarreglos, antisentido y ácido ribonucleico (ARN) interferencia y knockouts de genes, bioinformática, genómica y proteínómica
Sector salud	Diagnósticos Terapéutica Medicina regenerativa Vacunas Geonómica y proteínómica Drogas
Producción agropecuaria	Biotecnología de cultivos, forestal y animal Acuicultura
Alimentos	Mejoramiento de materias primas Procesamiento de comida Pruebas de seguridad alimentaria
Industrial y medioambiental	Sustentabilidad industrial Biocatalizadores Energía renovable Plásticos “verdes” Nanotecnologías Biotecnología medioambiental Enzimas industriales
Defensa y seguridad	Vacunas, anticuerpos monoclonales, terapias basadas en ADN y ARN y detección y diagnóstico
Otros	Huellas de ADN Exploración espacial Fármacos herbolarios

Fuente: elaboración propia.

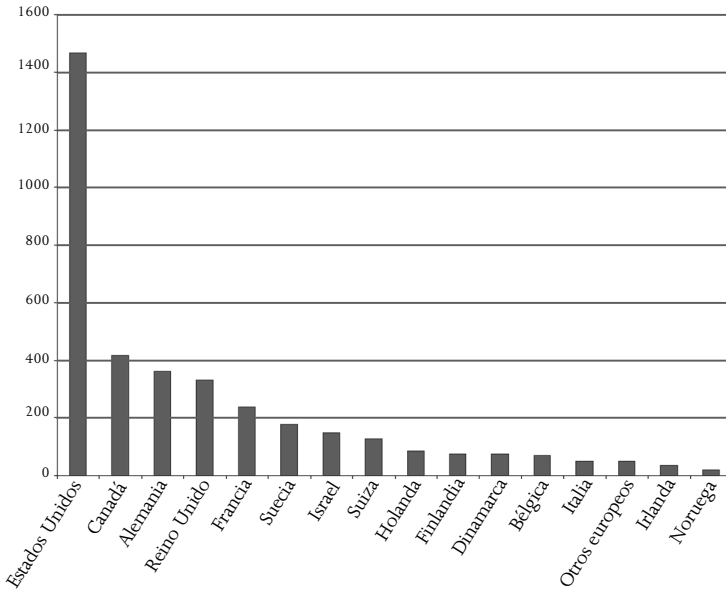
Una vez establecidos los puntos anteriores, podemos analizar qué tanto han avanzado los diferentes países y sus regiones en la concentración de industria biotecnológica. Esto se hará a través del empleo y firmas generadas a la fecha. Aunque la región o país con mayor cantidad de empresas no necesariamente lleva un liderazgo absoluto, asumimos que en lo general, la construcción de comunidades tecno-económicas y su capacidad de aprender se expresan en su dinámica de crecimiento, a través de la creación de nuevas firmas y empleo. En la siguiente sección analizamos primero a escala internacional la concentración de firmas y empleo, y después lo hacemos en detalle para América del Norte, tanto para los países como sus regiones.

En el ámbito internacional

Como se puede apreciar en la gráfica 1, Estados Unidos es líder mundial tanto en cantidad de compañías como de empleos. La posición de este país no es sorpresiva, dada la concentración de capacidades e infraestructuras de innovación, sobre todo en áreas vinculadas o de soporte a la biotecnología, tales como tecnologías de salud humana y animal y la industria del *software* y *hardware*. Sin embargo, Canadá es el país que más llama la atención en esta lista, ya que con una economía varias veces más pequeña que la de Estados Unidos ha sido capaz de generar un número considerable de compañías que lo ubican en el segundo lugar en el ámbito internacional. Después de Estados Unidos y Canadá, los siguientes diez países más importantes en biotecnología en orden descendente, son: Alemania, Reino Unido, Francia, Australia, Suecia, Israel, Suiza y Holanda; en el onceavo sitio está Finlandia y en el doceavo Dinamarca (Ernst & Young, 2003b). Aunque las ventajas se acumulan en Estados Unidos, las empresas en el sector aún es una cantidad pequeña: 1 466 en Estados Unidos, 417 en Canadá y 75 en Dinamarca. Esto indica que aunque hay liderazgos, las diferencias en términos cuantitativos no son tan grandes.

Gráfica 1

Número de empresas biotecnológicas por país, 2002



Fuente: Ernest & Young (2003a).

De acuerdo con la consultora Ernest & Young, en su reporte de 2003, los principales 25 países son, en orden descendente: Estados Unidos, Canadá, Alemania, Reino Unido, Francia, Australia, Suecia, Israel, Suiza, Finlandia, Holanda, Dinamarca, Corea, Bélgica, China, Japón, Taiwán, Italia, India, Nueva Zelanda, Irlanda, Singapur, Noruega, Malasia y Tailandia. Esta lista muestra que países que no han dominado en las industrias biológicas o de la salud están teniendo alguna importancia dentro del sector, llama la atención particularmente China, India y los países asiáticos de nueva industrialización. Este grupo es interesante, en tanto que indica que dichos países y en particular China e India están buscando entrar a sectores de alta tecnología y no sólo a los tradicionales. México y

en general toda América Latina está fuera de la competencia internacional, de acuerdo con esta consultora.¹

Por otra parte, la estructura de la industria de biotecnología en el ámbito internacional muestra una participación importante de empresas pequeñas, en oposición a la idea general de que esta industria está altamente oligopolizada, por unos cuantos gigantes de la producción agroindustrial o farmacéutica. La fragmentación de la biotecnología en empresas pequeñas se explica por la diversidad de las áreas de indagación científica, por su carácter netamente de investigación y diseño, y porque están formadas, al menos en el caso de Estados Unidos, por científicos que mantienen posiciones y ligas directas con la academia, y a quienes la estructura en pequeñas empresas les permite la flexibilidad necesaria, que las grandes corporaciones difícilmente pueden proveer. Es interesante que en Estados Unidos, los científicos que se han convertido en empresarios dominan las empresas pequeñas que constituyen esta industria (Argyres y Porter, 2002).

Biología en América del Norte

Estados Unidos y sus regiones

Estados Unidos lleva la delantera en todas las variables relacionadas con la industria biotecnológica (véase cuadro 2), además de que los productos transgénicos, en el caso de la biotecnología agrícola, no han enfrentado tanto rechazo como en otros países. También ha jugado a favor de Estados Unidos la rápida entrada de las empresas biotecnológicas en la captación de capital, vía cotización en el mercado de valores. Las firmas biotecnológicas participan en el índice NASDAQ (Nacional Association of Securities Dealers Automated Quotations), y este mecanismo ha sido importante para su desarrollo; los europeos tardaron tiempo, pero ya han generado mecanismos similares en respuesta a los americanos (Gaul, 1998).

¹ Para estudios sobre ciudad-región de diferentes países véase Cooke (2002).

Cuadro 2

Industria biotecnológica en Estados Unidos

	2000	2001	2002
Finanzas (miles de millones)			
Ventas	18.7	21.4	24.3
Ingresos	25.7	29.6	33.6
Gasto en i&D	13.7	15.7	20.5
Pérdidas totales	6.0	6.8	11.6
Industria			
Financiamiento	32.7	7.9	8.6
Número de compañías	1 374	1 457	1 466
Número de empleados	176 000	193 000	194 600

Fuente: elaborado con información de Ernest & Young (2002 y 2003c).

La concentración geográfica de la industria biotecnológica en Estados Unidos indica procesos similares a los descritos por otras oleadas tecnológicas ocurridas en su territorio. En términos teóricos, las industrias nuevas tienden a aparecer concentradas en varios puntos o regiones. A medida que avanza el proceso de evolución tecnológica y de organización económica, el conjunto de ventajas (descritas con anterioridad) se acumula en pocos espacios o regiones e incluso puede concentrarse en una sola (Scott, 1988b; Storper y Walker, 1989). Este proceso ha sido ampliamente documentando siguiendo la evolución territorial de diferentes industrias en distintos países. Uno de los casos más citados es el estudio de Scott (1990) sobre el surgimiento de la industria aeroespacial del sur de California. Por lo que al analizar la estructura territorial de la biotecnología en Estados Unidos, podemos ver el avance en la evolución de la industria en términos generales.

De acuerdo con un estudio reciente realizado por el Brookings Institute, se analizaron las 51 áreas metropolitanas de Estados Unidos a través de un muestreo, y se identificó que la industria bio-

tecnológica está concentrada principalmente en nueve. En ellas se agrupan tres cuartas partes de las firmas más grandes de biotecnología e igual proporción de todas las compañías biotecnológicas creadas en dicho país desde los años setenta. Las nueve concentraciones principales se dividen como sigue: Boston y San Francisco, que han sido líderes en investigación biotecnológica desde los inicios, en 1970, y continúan siendo centros dominantes; Nueva York y Filadelfia, que han concentrado históricamente a la industria farmacéutica estadounidense, y de ahí que reúnan también biotecnología; San Diego, Seattle y Raleigh-Durham son los nuevos centros emergidos con fuerza desde los años setenta; las últimas dos concentraciones de importancia son Los Ángeles, que es el lugar de asentamiento de Amgen, la firma biotecnológica más grande de Estados Unidos y Washington-Baltimore, región en donde se ubican los institutos nacionales de salud. Cinco de estas áreas (San Francisco, Boston, San Diego, Seattle y Raleigh-Durham) capturaron, durante la década de 1990, 75 por ciento del capital de riesgo en biofármacos, 74 del valor de contratos de investigación de firmas farmacéuticas y 56 de todos los negocios biotecnológicos nuevos (Cortright y Meyer, 2002).

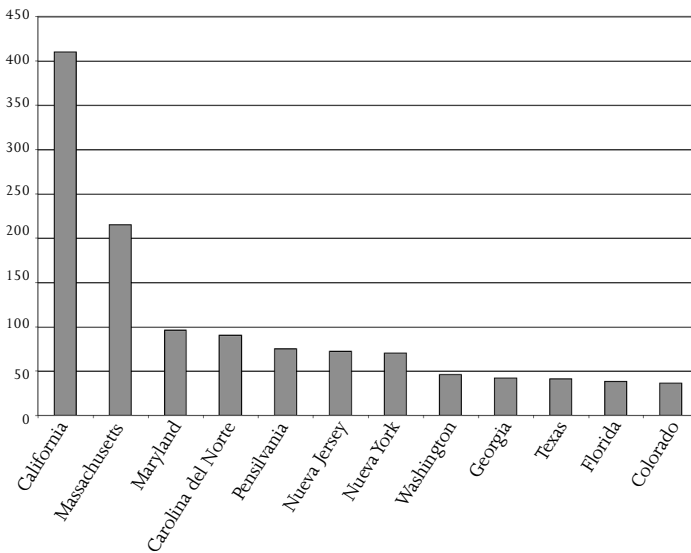
Otros estudios basados en encuestas aplicadas en Estados Unidos, con el número de empleados como variable principal, indican una distribución geográfica similar a la encontrada por Cortright y Meyer (2002) y por Feldman (2003): California con 4 418 empleados; Massachusetts con 1 586; Maryland con 1 191; Carolina del Norte con 758 y Pensilvania con 703, de un total de 13 789 trabajadores en la industria biotecnológica en todo el país (U. S. Department of Commerce, 2003). Otras fuentes, como la consultora Ernest & Young, indican el mismo orden jerárquico, y aumenta la lista en orden descendente a Nueva Jersey, Nueva York, Washington, Georgia, Texas, Florida y Colorado (véase gráfica 2).

Por otra parte, el estudio de Cortright y Meyer (2002) señala que el resto de las 42 áreas metropolitanas no tiene concentraciones significativas de biotecnología, sin embargo, destaca que Chicago, Detroit, Houston, y St. Louis pueden clasificarse como cen-

tros de investigación, pero con poca actividad de comercialización. Identifican también 28 áreas metropolitanas con actividad biotecnológica, pero muy inferior al promedio nacional; y las ciudades con menos son Charlotte, Grand Rapids, Jacksonville, Las Vegas, Louisville, Norfolk, Orlando, Phoenix, San Juan y West Palm Beach.

Gráfica 2

Empresas biotecnológicas por estado, Estados Unidos, 2001



Fuente: Ernest & Young (2003a).

Canadá y sus regiones

De acuerdo con la consultora Ernest & Young, en 2001 Canadá contaba con más de 400 firmas biotecnológicas, 331 privadas y 85 públicas (que cotizan en el mercado de valores). La capitalización de las empresas registró un aumento importante de 8 000 millo-

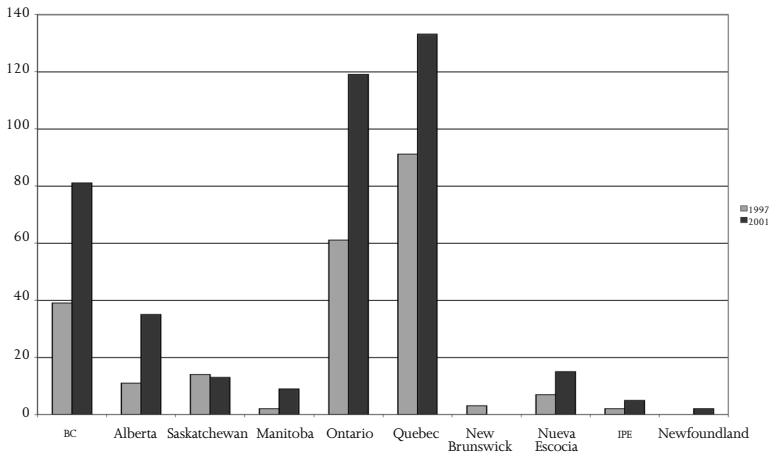
nes de dólares en 1997, y aumentó a más de 20 000 en 2001. La mayoría de las firmas biotecnológicas públicas se especializan en terapias y diagnósticos para salud humana, mientras que la mayor parte de las empresas privadas se encuentra en los sectores de agricultura y medio ambiente. El área donde tiene más representación es la agrobiotecnología, concentrada en las regiones de Saskatchewan y Ontario; genómica y proteínómica, principalmente en Quebec y Ontario; biociencias marinas en estado formativo en Columbia Británica y las provincias marítimas (Ernest & Young, 2002).

En términos geográficos, la industria se concentra claramente en las tres provincias más desarrolladas: Quebec, Ontario y Columbia Británica, estas regiones reúnen la mayoría del sector más importante que es el de terapias y salud (Ernst & Young, 2002). El crecimiento y concentración de la industria en estas regiones es clara, Quebec, que va a la delantera en Canadá, pasó de 61 firmas en 1997 a 133 en 2001, lo que representa 32.3 por ciento del total. Ontario, en segundo lugar de importancia, pasó de 61 firmas en 1997 a 119 en 2001 o 28.9 por ciento. En tercer lugar, Columbia Británica que pasó de 39 firmas en 1997 a 81 en 2002, representa 19.7 por ciento del total. Hay que destacar que estas regiones duplicaron el número de firmas en tan sólo cinco años. Es también importante señalar que la provincia de Alberta pasó de 11 firmas en 1997 a 35 en 2001, una cifra menor comparada con la otras regiones, pero su crecimiento indica que podría darse alguna subespecialización que le permitiera diferenciarse de las tres provincias principales (véase gráfica 3). Si se toma como criterio de jerarquización regional el número de patentes biotecnológicas, el orden de las ciudades canadienses principales se modifica, para poner a Toronto como el principal cluster (aglomeración) de biotecnología, seguido por Montreal y Vancouver. Toronto concentra 50 por ciento de las patentes otorgadas en Estados Unidos a firmas canadienses. Las patentes biotecnológicas en Canadá tienden a englobarse en unas cuantas firmas: 75 por ciento del total han sido tramitadas por 12 compañías, de las cuales 6 están en Toronto, 2

en Montreal y 1 en Edmonton, Ottawa, Saskatoon y Vancouver, respectivamente (Niosi y Bas, 2001). No obstante, si hablamos de biotecnología agrícola existen sólo dos clusters significativos, que son Saskatoon en Saskatchewan y el de Guelph en Ontario. Saskatoon, aun cuando tiene pocas compañías, representa 61 por ciento de los ingresos brutos del total del sector de biotecnología agrícola (Ryan y Phillips, 2004).

Gráfica 3

Canadá. Número de compañías por provincia, 1997 y 2001



Fuente: Ernest & Young (2002).

Canadá, a diferencia de Estados Unidos, ha tenido una política estatal explícita y emprendedora en el desarrollo de esta industria, pero lo más importante es que ésta ha sido flexible y ha cambiado sus áreas de concentración estratégicamente de acuerdo con el cambio de los mercados y la especialización de las empresas estadounidenses. Desde principios de la década de 1980, Canadá creó una serie de incentivos nacionales y regionales para desarrollar la

biotecnología, en un inicio el énfasis fue en agricultura y medio ambiente, para finales de esa década cambió a productos y servicios para la salud. En esta área Canadá ha logrado, en la década de los noventa, tener liderazgo en diferentes tecnologías (Niosi y Bas, 2004).

México

En el caso de México, la información es más escasa y los estudios realizados tienden a enfocarse al efecto económico, social, legal y ético de la biotecnología. La parte económico-industrial, que ha generado menor atención social, ha sido estudiada por un grupo reducido de investigadores, quienes han hecho contribuciones puntuales que nos permiten definir el perfil de la biotecnología en términos industriales. De acuerdo con Sasson (1993:15), los “procesos de fermentación constituyen una gran proporción de la industria biotecnológica [en México] pero está basada principalmente en técnicas tradicionales (Quintero, 1986) y añade que las tecnologías avanzadas estaban siendo utilizadas en instituciones de investigación o centros universitarios sin contar con una base industrial, o estaban en manos de corporaciones extranjeras”.

Ruby Gonsen (2000) dice que no hay presencia significativa de firmas dedicadas a la nueva biotecnología, las ligas entre industria y ciencia y entre empresas pequeñas de investigación, y en México no existen grandes empresas productoras o comercializadoras descritas para otros países. Las relaciones entre grandes firmas y universidades son pocas y efímeras; los intentos para establecerlas han fracasado. En el área donde se ha desarrollado industria es en la biotecnología tradicional (notablemente en bebidas y productos alimenticios, por ejemplo cerveza) (Rohini, 1999). Sin embargo, destaca que en México hay capacidades científicas centrales en las instituciones y universidades públicas. De acuerdo con la autora, existen recursos humanos y físicos para llevar a cabo investigación de frontera (Casas, 1992), pero hay poco apoyo efectivo. El gobierno, pese a reconocer la importancia en el sector, no ha generado

una política explícita y los esfuerzos han sido escasos y dispersos. Gonsen (2000) añade que hay recursos humanos efectivos, pero no tienen demanda laboral en la iniciativa privada, por lo que los egresados se quedan en las universidades como académicos. La autora concluye que se están desperdiciando tanto los centros de investigación como los recursos humanos al no haber conexión con la industria, problema que se agrava al sumar la protección deficiente de patentes en México.

En coincidencia con Gonsen, Rosalba Casas ha encontrado que en México existe formación de redes de conocimiento en este sector, sobre todo a partir de tres instituciones: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV)-Guanajuato, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ) y Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), en Baja California Sur. Estos centros apoyan a las empresas locales y aportan soluciones prácticas, sin embargo, no hay generación de empresas nuevas. “A nivel regional estas instituciones [CINVESTAV, CIATEJ y CIBNOR] tienen un papel muy importante como generadoras de espacios de conocimiento, sin embargo en la aplicación de políticas regionales que impacten el desarrollo económico y social su papel es limitado” (Casas, 2001:227).

La cuestión del capital humano en este sector es relevante. En México, los recursos humanos no son pocos, y hay ejemplos claros de las capacidades científicas. Existen contribuciones importantes de mexicanos en el área de la biotecnología. Por ejemplo, Francisco Bolívar “participó en el desarrollo de la primera proteína genéticamente modificada (hormona humana del crecimiento) y en el desarrollo de los primeros vectores de clonación en la Universidad de California en San Francisco, y Luis Herrera-Estrella trabajó con el grupo de Marc Von Montagu en Bélgica en el desarrollo de las primeras técnicas de transferencia de genes para plantas” (Possani, 2003).

México cuenta con instituciones de educación a nivel maestría y doctorado, centros de investigación reconocidos, agrupaciones

científicas como la Asociación Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Existe también financiamiento nacional, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) e internacional, como el otorgado por el Howard Hughes Medical Institute y el European Community (proyectos ECOS y Alpha) (Possani, 2003). En otras palabras, contamos con una infraestructura científica y de apoyo no despreciable, y capaz de atraer inversión internacional. Sin embargo, persiste la cuestión de la baja actividad económica en el panorama científico. Una causa posible es la lógica de acción de las agencias estatales de promoción científica y tecnológica. De acuerdo con Possani (2003:582) “las agencias gubernamentales [mexicanas] han concentrado sus esfuerzos en el desarrollo de recursos humanos en centros científicos e instituciones dedicados a la investigación en biotecnología, más que —con raras excepciones— en el establecimiento de compañías o industrias dedicadas a la producción de productos biotecnológicos”. Las universidades mexicanas y los centros de investigación han demostrado gran capacidad para formar recursos humanos del más alto nivel, pero la generación de vínculos con la actividad económica, ya sea directa o indirecta, ha probado ser mucho más difícil de lo que se acepta por parte de los mismos sistemas de promoción tecnológica.

Sí existen firmas biotecnológicas en México, y han nacido como producto de esfuerzos nacionales. Possani (2003:582-583) identifica un grupo de ellas:

Instituto Bioclon/Laboratorios Silanes que producen anti-venoms (immunoglobulinas de caballo fragmentadas) y desarrolla nuevas tecnologías para el diagnóstico de enfermedades del metabolismo. Probiomed que produce hormonas genéricas y productos bioactivos para uso humano. IBTCH que ha otorgado licencias a varias plantas industriales, y el grupo CYDSA que desarrolló sistemas de tratamiento de agua y afluentes industriales y, finalmente, Agrobionsa produce insecticidas biológicos.

Otros estudios incluyen a las empresas Savia, con capacidades internacionales de exportación de semillas, que cuenta con centros

de investigación y colabora con diferentes instituciones de educación superior, y a PROBIODEM, que produce interferón. También señalan que existen, sin identificar y cuantificar “algunas empresas, pequeñas y medianas que se enfocan en productos biológicos para uso agrícola como los bioplaguicidas, los biofertilizantes y los promotores del crecimiento” (Este País, 2000:66). No obstante la existencia de estas y otras firmas, que posiblemente operan, no sabemos con exactitud en qué proporción se están empleando tecnologías de segunda, tercera y cuarta generación. Recordemos que frecuentemente, en los estudios sobre biotecnología en México, se cita que el sector privado se enfoca a la biotecnología casi lista para el mercado y de baja tecnología (Falconi, 1999). Al parecer, una excepción a esto es el caso del conglomerado empresarial Empresas La Moderna, esta corporación mexicana que nació como tabacalera y que se ha diversificado en otros campos de la agricultura y producción de alimentos, ha iniciado, desde principios de la década de 1990, una serie de adquisiciones y alianzas con empresas extranjeras de alta tecnología, algunas de ellas cuentan con componentes biotecnológicos. Esta empresa realiza importantes esfuerzos de investigación y desarrollo, para especializarse en agricultura tropical (Chauvet y González, 2001).

Los problemas en el desarrollo de una industria biotecnológica en México se pueden resumir de la siguiente manera: no hay creación de fuentes de trabajo suficientes para los egresados de los programas académicos relacionados con el sector. Por ejemplo, Possani (2003:583) indica que no hay apoyo para patentes, el nivel de transferencia de tecnología es bajo, y las empresas no tienen el suficiente dinero para llevar a cabo el proceso de pruebas para los nuevos productos”, y ejemplifica “productos potencialmente lucrativos [desarrollados por mexicanos y compañías transnacionales] están en posesión de compañías extranjeras. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) no tiene personal entrenado suficiente, y aparentemente tampoco el interés de pelear por la parte que le toca de las patentes.

Efectivamente, las empresas transnacionales dominan el panorama de la producción, importación, distribución y comercializa-

ción de productos biotecnológicos. Por ejemplo, Chauvet *et al.* (1992:187) dicen que

[...] entre las empresas dedicadas a fabricar productos biotecnológicos la ALLTECH, Inc. y la Monsanto en México a través de distribuidores como APLIGEN comienzan a crear un mercado sólido que no sólo ofrece los productos sino también la asesoría necesaria para su uso en zonas específicas.

Otras empresas transnacionales que operan en el país son: Seminis Vegetable Sedes Mexicana, Asgrow Mexicana, Delta Pain de México, Híbridos Pioneer de México, Semillas Híbridas Internacionales, AgrEvo y Mycogen. Es interesante señalar que Monsanto ha creado proyectos con centros de investigación nacionales, en particular con CINVESTAV-I, para el desarrollo de papa transgénica resistente a los virus PVX y PVY; en éste se transfirieron conocimientos, lo que generó un derrame positivo de esta multinacional para los investigadores mexicanos (Casas, 2001). Sin embargo, se ha señalado que

[...] el interés de Monsanto en esta transferencia era promover los aspectos regulatorios en México, ya que la transferencia requirió poner la regulación de tecnología en la mesa de negociaciones. Con este proyecto al gobierno de México no le quedó más que admitir la existencia de la transgénesis y la realización de pruebas en tierras mexicanas (Gálvez *et al.*, 1998:40).

Por último, el cuadro 3 ilustra la posición de México en el bloque de América del Norte; se presentan los volúmenes de intercambio comercial de Estados Unidos con México y Canadá, exclusivamente en biotecnología (definida ésta como productos que se enfocan a aplicaciones médicas e industriales de descubrimientos científicos avanzados en genética para la creación de nuevas drogas, hormonas y otros elementos terapéuticos, tanto para uso agrícola como humano), (us Census, Foreign Trade Statistics, 2005).

Como se puede observar, Estados Unidos importó de México en 2004 productos biotecnológicos por 4 610 000 dólares, mientras que en la misma fecha lo hizo de Canadá por 9 376 000. En 2005, Canadá logró llegar a la suma de 22 378 000 dólares, mientras que México aumentó sólo a 5 769 000. En este mismo año, Estados Unidos exportó a México bienes por un valor de 13 642 000 y a Canadá por 103 831 000 dólares.

Cuadro 3

Intercambio comercial de Estados Unidos con México y Canadá en biotecnología (miles de dólares)

	México	Canadá
Exportaciones acumulado marzo 2005	13 642	103 831
Importaciones acumulado marzo 2005	5 769	22 378
Exportaciones acumulado marzo 2004	8 429	97 107
Importaciones acumulado marzo 2004	4 610	9 376

Fuente: US Census. Foreign Trade Statistics

<http://www.census.gov/foreign-trade/statistics/product/atp/2005/03/ctryatp/atp1220.html>

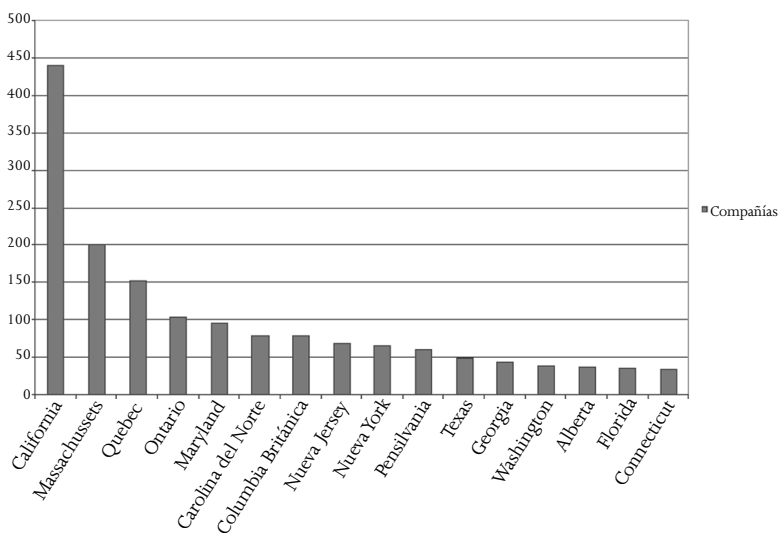
Las regiones biotecnológicas de rápido aprendizaje

Si colocamos a todas las regiones que figuran en la concentración de industria biotecnológica en el conjunto de América del Norte, en orden descendente, el resultado es el siguiente: California, Massachusetts, Quebec, Ontario, Maryland, Carolina del Norte, Columbia Británica, Nueva Jersey, Nueva York, Pensilvania, Texas, Georgia, Washington, Alberta, Florida y Connecticut (véase gráfica 4). De nueva cuenta, esta información señala claramente la tendencia de la biotecnología a concentrarse en algunas regiones, y que hasta el momento son aquellas que contaban con recursos relacionales (comerciales y no), y con experiencia en alta tecno-

logía las que van a la cabeza (California y Massachussets) (Bagchi-Sen et al., 2004). Sin embargo, es también muy importante, en términos del desarrollo regional de América del Norte, que Quebec y Ontario figuren en esta lista. Estas regiones han logrado, desde infraestructuras y recursos relacionales mucho más limitados, destacar y concentrar en medida relevante firmas y conocimientos alrededor de la biotecnología. Hay que resaltar que las principales aglomeraciones de la naciente industria biotecnológica no están ligadas a los patrones de localización de la farmacéutica o agroindustrial, en otras palabras, los espacios de nueva industrialización de punta se están dando en espacios “abiertos”, no necesariamente ligados a infraestructuras físicas y de conocimiento o de habilidades preexistentes en las regiones (Gray y Parker, 1998).

Gráfica 4

Principales concentraciones de empresas biotecnológicas por estado, América del Norte



Fuente: Ernest & Young (2003c).

Conclusiones

No obstante que la industria biotecnológica está en una etapa inicial, en la que las aplicaciones comerciales posibles en una diversidad de campos es especulativa o está en experimentación, ya se perfilan países y regiones dentro de ellos como los grandes ganadores y concentradores de las próximas oleadas de crecimiento. Es claro que la concentración tecnológica y de las industrias de punta está en los países desarrollados, aunque en la lista de los 25 primeros (clasificación basada en el número de firmas en el año 2000) figuran ejemplos interesantes de países de nueva industrialización o en vías de desarrollo como Corea, que ocupa el decimotercer lugar, China el decimoquinto (indicador de que no sólo va por los productos baratos, sino que también está buscando alta tecnología), Taiwán en decimoséptimo, India en decimonoveno, Irlanda en el lugar vigésimo primero, Singapur en veintidós, Malasia en veinticuatro y Tailandia en el lugar veinticinco. Sin embargo, es claro que los líderes internacionales son Estados Unidos y Canadá en América y Alemania, Francia e Inglaterra en Europa.

Con Estados Unidos al frente y Canadá en segundo lugar, América del Norte —la región del TLCAN— se perfila como el centro más importante de esta industria naciente. En esta macro región debe destacarse el papel de Canadá, que ha sido capaz de generar procesos endógenos de desarrollo tecnológico, y a partir de ellos actividad industrial y comercial. Esto es importante para México, ya que la economía canadiense, como la mexicana, ha estado sometida a diferentes presiones debido a su cercanía geográfica con Estados Unidos. Es decir, a una presencia importante de inversión estadounidense que ha dado un perfil de *branch economy* (una economía basada en filiales en su mayoría estadounidenses) a Canadá, un proceso de fuga de cerebros y trabajo calificado hacia el sur, y una inserción histórica al mercado estadounidense, a partir de la explotación de sus recursos naturales. No obstante, los canadienses han construido un sistema de innovación exitoso alrededor de diversos sectores, entre ellos la biotecnología. Este siste-

ma de innovación es claramente regional y sigue trayectorias de especialización económica de las tres ciudades más importantes de Canadá (Toronto, Montreal y Vancouver). Hay que reconocer que el dinamismo logrado conjunta esfuerzos federales, regionales y locales, así como privados, públicos y sociales; ha habido intervenciones estratégicas y selectivas de los gobiernos federal y provincial, así como un gran activismo de universidades y empresas. La consolidación de estas dinámicas presentará grandes oportunidades económicas para Canadá, país que ya cuenta con los índices de bienestar más altos del mundo, que superan incluso a los de Estados Unidos.

En el caso de Estados Unidos, claramente se perfila California en primer lugar, con dos de las aglomeraciones más importantes de la industria en el mundo, por una parte en el área de la bahía (apoyado en la aglomeración dinámica de alta tecnología de Silicon Valley) y en el sur (región que también ha desarrollado diversos “tecnopolos” en el siglo xx) con San Diego como un polo tecnológico nuevo en el área biológica y médica.

En este proceso de evolución, la geografía de la industria se empieza a delinear y las ventanas de oportunidad tecnológica y locacional se estrechan. Sin embargo, aún hay datos que indican la juventud de las tecnologías y de sus aplicaciones, y lo más importante es la existencia de áreas casi inexploradas de aplicaciones nuevas. Éstas son las que revisten mayor posibilidad de entrada, pero también las más inciertas y riesgosas (medio ambiente, materiales nuevos, industria, energía); en las otras áreas como salud y agricultura existen claras ventajas en las regiones de Estados Unidos y Canadá, pero cada vez será más difícil competir en algunos de estos sectores de aplicación.

La inserción de México en el bloque de América del Norte, como periferia de reducción de costos, se reproduce con la llegada de tecnologías nuevas, y queda casi siempre al margen de ellas. De no participar activamente en esta área, México estará siendo relegado (y podemos decir que “se seguirá auto relegando”) a usuario pasivo de las tecnologías nuevas, tal vez como lugar de ela-

boración de algunos productos, fuente de material genético o como lugar de establecimiento de servicios conectados a ella. Servicios que pueden incluir la investigación (replicación de experimentos para satisfacer requisitos legales, prueba de productos en campo, etcétera). Es interesante que no aparezca la comercialización y la actividad económica derivada de la investigación, no obstante la altísima calidad en recursos humanos en esta área, las instituciones de apoyo y el financiamiento como el de CONACYT, e incluso la identificación explícita de esta área como estratégica desde hace tiempo (Luiselli, 1987).

Pueden ser problemas relacionados con las ligas universidad-sector privado, señaladas desde hace tiempo como deficientes, y ante las cuales han surgido infinidad de políticas provenientes del gobierno federal, particularmente de CONACYT y las propias universidades (Luna, 2001). Aún queda mucho por investigar sobre cómo ocurre este proceso de vinculación universidad-empresa-gobierno, pero una línea de investigación que requiere de atención específica es la baja actividad empresarial de los científicos, sobre todo si se compara con otras naciones. Según estudios, países con capacidades de investigación avanzadas como Alemania se han relegado en la generación de empresas biotecnológicas en relación con Estados Unidos, en parte por las limitantes que tienen los académicos de universidades públicas para formar empresas o incluso para ser parte de ellas (Giesecke, 2000). También se ha reportado la coincidencia de participación de científicos destacados en empresas de crecimiento rápido, donde ésta llega a generar no sólo beneficios para la empresa sino también incrementa los índices de publicación conjunta entre científicos académicos y aquellos de tiempo completo en las empresas (Zucker y Darby, 1995). En México, podemos manejar la hipótesis de que si bien existen algunas ligas en casos aislados entre universidades y empresas biotecnológicas, las publicaciones de autores científicos del mundo académico y del empresarial son inexistentes, y a la vez la actividad directamente empresarial de los científicos empleados en universidades es insignificante.

La falta de desarrollo de empresas puede estar relacionada también con problemas derivados de una infraestructura menor a la de Canadá y Estados Unidos, que conjuntamente con recursos financieros limitados y economías de aglomeración menores ponen a México en una desventaja crónica. Sin embargo, si analizamos este argumento separando las regiones, tenemos que el área metropolitana de la Ciudad de México, y en un sentido amplio la región centro del país, cuenta con ventajas de aglomeración y localización industrial significativas, así como un conjunto importante de externalidades en términos de redes de conocimiento y aprendizaje, que deben sumarse a una infraestructura física y humana tan o más grande que otras ciudades como Toronto o Vancouver. También se cuenta en la capital mexicana con acceso a recursos financieros nacionales e internacionales y la presencia de grupos empresariales de peso internacional y con recursos financieros y de conocimiento, para llevar a cabo proyectos comerciales de cualquier tipo. La contradicción es clara, al menos en la Ciudad de México (pero podría ser el caso también de Monterrey y Guadalajara) la presencia de factores críticos para el desarrollo de esta industria (gran densidad científica, una infraestructura económica equiparable a la de cualquier ciudad del mundo, diversas fuentes financieras y presencia de importantes grupos empresariales) coinciden con el desarrollo incipiente de empresas de alta tecnología en general y biotecnológicas en lo particular.

Como punto aparte, debe mencionarse la concentración de la industria biomédica en San Diego y su relación con la ciudad fronteriza de Tijuana, este tema se ha tratado en detalle en otro artículo (Mercado, 2004). Lo interesante de esta región “binacional” es el dinamismo de San Diego en el desarrollo de algunos sectores específicos de alta tecnología, entre ellos los instrumentos médicos y la biotecnología. La ciudad cuenta con ventajas y recursos tanto en infraestructura física, como educativa y de investigación del más alto nivel en las ciencias médicas y biológicas. Además, ofrece un conjunto de externalidades dentro de las cuales destacan la existencia de otros clusters de actividad industrial y de servicios que dan

apoyo directo e indirecto a la biotecnología, y aún más, existen recursos intangibles en una serie de relaciones y redes constituidas entre empresas y entre las universidades y las empresas. El caso lo ejemplifica CONNECT² (organización creada con el objetivo específico de ligar a la Universidad de California en San Diego (UCSD), con las empresas de alta tecnología de la región) que ha formalizado las conexiones que potencialmente se pueden dar en la zona entre la UCSD y los empresarios.

Podría suponerse, al menos teóricamente, que la contigüidad espacial de estas ciudades significaría que las ventajas que se están construyendo en San Diego repercutirían de alguna manera a Tijuana (la infraestructura, como los recursos relacionales y de conocimiento estarían, al menos de forma restringida, disponibles también en la ciudad mexicana). Sin embargo, la cercanía de Tijuana a este importante y dinámico polo de crecimiento de alta tecnología no se ha expresado en derrames tecnológicos hacia ella. Esto, no obstante que se han dado esfuerzos importantes de investigación científica, y se cuenta con infraestructura de educación avanzada en la región. El gobierno federal y la UNAM cuentan con instalaciones para investigación en la región, en particular en Ensenada; lo que sin duda plantea preguntas interesantes de investigación para esta área conurbada de la frontera.

La relación ciencia-tecnología-sistema productivo en México requiere mayor investigación, este es un punto central para definir políticas regionales y nacionales que hagan que México al menos intente entrar en las oleadas más intensas de crecimiento, que se derivan de las nuevas tecnologías y productos. Se requieren políticas más atrevidas, que se alejen de lo general y se ocupen de lo estratégico y particular. La Ciudad de México o su área conurbada requiere políticas de desarrollo tecnológico diferentes a las de las ciudades fronterizas, sobre todo de Tijuana. La región central de México debe orientarse a explotar comercialmente los recursos

² Para mayor información sobre esta organización consúltese la página <http://www.connect.org/>

científicos y humanos que ya tiene; en Tijuana las políticas deben encaminarse a penetrar y apropiarse o participar de los recursos tangibles e intangibles que tiene San Diego. La participación en redes transaccionales que sustentan la alta tecnología en San Diego no son impenetrables, ni sus marcos de acción exclusivos. En muchos casos, los habitantes fronterizos han estudiado del “otro lado”, manejan perfectamente el lenguaje y la cultura e incluso en algunos casos tienen la doble nacionalidad, es necesario aprovechar esto y colocar estratégicamente a científicos y empresarios en las redes del “otro lado”.

Por otra parte, se debe tener presente que existen áreas particulares en las que el avance de los descubrimientos científicos y su apropiación por grandes empresas multinacionales empiezan a crear efectos significativos de barreras de entrada. Las grandes empresas multinacionales representan para los países en desarrollo un obstáculo que limita en la práctica la posibilidad de competir. Sin embargo, como se ha mostrado en este artículo, el espacio del conocimiento tecnológico ligado a la biotecnología está en expansión y sería un error dirigir los esfuerzos hacia áreas en las que se empieza a perfilar un dominio claro de empresas multinacionales. Canadá, en forma estratégica, ha cambiado su énfasis en investigación y desarrollo hacia espacios en los que tiene mayor posibilidad frente a Estados Unidos. Ciertamente, enfocarse a áreas en donde no se ha demostrado la clara existencia de rutas comerciales jugosas, genera mayor incertidumbre, pero es poco fructífero el intento de seguir rutas de innovación y comercialización ya andadas por grandes compañías.

Impulsar la biotecnología como un sector económico no está reñido con aceptar e incluso impulsar una participación social crítica, y a partir de ella establecer regulaciones de acuerdo con los intereses sociales. La vía y sendas específicas de innovación que tome la biotecnología deben guiarse socialmente, de forma que el producto, en términos de conocimiento y materiales, sea benéfico para los consumidores. Es claro que hay áreas de investigación que son más cuestionadas (productos agrícolas modificados genética-

mente) que otras (salud, remediación del medio ambiente). A los esfuerzos y las posibles trayectorias tecnológicas debe guiarlos la aceptación social, sin olvidar que de esto puede depender la generación de empleo y el bienestar social en el futuro.

Recibido en mayo de 2004

Revisado en junio de 2005

Bibliografía

Argyres, N. S. y J. Porter Liebeskind (2002), "Governance Inseparability and the Evolution of us Biotechnology Industry", *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 47, no. 2, pp. 197-219.

Arthur, W. Brian (1988), "Competing Technologies: An Overview", en G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. Soete (editores), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter Publishers, pp. 590-607.

_____ (1994), *Increasing Returns and Path-Dependence in the Economy*, Ann Arbor, University of Michigan Press.

Bagchi-Sen, S., H. Lawton Smith y L. Hall (2004), "The us Biotechnology Industry: Industry Dynamics and Policy", *Environment and Planning C: Government and Policy*, vol. 22, no. 2, pp. 199-216.

Biotechnology Industry Organization (BIO) (2003), *Editors and Reporters Guide 2003-2004*, <http://www.bio.org> [noviembre de 2003].

Casas, Rosalba (1992), "El tratamiento biológico de aguas residuales: ¿demanda social o coyuntura política?", en R. Casas, M. Chauvet y D. Rodríguez (editores.), *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, México, Universidad Autónoma

Metropolitana-Azcapotzalco-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 201-217.

(2001), “La transferencia de conocimientos en biotecnología: información de redes a nivel local”, en R. Casas (editora), *La formación de redes de conocimiento. Una perspectiva regional desde México*, México, Universidad Nacional Autónoma de México-Antrophos Editorial, pp. 163-240.

Chauvet, M. y R. L. González (2001), “Globalización y estrategias de grupos empresariales agroalimentarios de México”, *Comercio Exterior*, vol. 51, no. 12, pp. 1079-1088.

Chauvet, M. et al. (1992), “La biotecnología aplicada a la producción ganadera en México”, en R. Casas, M. Chauvet y D. Rodríguez (coordinadores) *La biotecnología. Sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Instituto de Investigaciones Económicas e Instituto de Investigaciones Sociales-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 181-199.

Cooke, P. (2002), “Biotechnology Clusters as Regional, Sectoral Innovation Systems”, *International Regional Science Review*, vol. 25, no. 1, pp. 8-37.

Cortright, Joseph y Heike Mayer (2002), *Signs of Life: The Growth of Biotechnology Centers in the U. S.*, Washington, The Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy, <http://www.brookings.edu/es/urban/publications/biotech.pdf> [6 de junio de 2005].

Dosi, G., C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. Soete (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter Publishers.

, K. Pavitt y L. Soete (1990), *The Economics of Technical Change, and International Trade*, Londres, Harvester Wheatsheaf.

Ernest & Young (2002), *Beyond Borders: The Canadian Biotechnology Report 2002*.

_____ (2003a), *Resilience: Americas Biotechnology Report 2003*, http://www.ey.com/GLOBAL/content.nsf/US/Health_Sciences_-_Library_-_Resilience:__Americas_Biotechnology_Report_2003 [18 de febrero de 2004].

_____ (2003b), *The European Biotechnology Report 2003*, http://www.ey.com/GLOBAL/content.nsf/UK/Health_Sciences [18 de febrero de 2004].

_____ (2003c), *Beyond Borders: Ernst & Young's Global Biotechnology Report 2000*, http://www.ey.com/GLOBAL/content.nsf/International/Biotechnology_Books_2003 [18 de febrero de 2004].

Este País (2000), "Biotecnología. Crónica de una revolución silenciosa", no. 115, pp. 62-67.

Fagerberg, L., P. Hansson, L. Lundberg y A. Melchior (1997), *Technology, and International Trade*, Cheltenham, Edward Elgar.

Falconi, Cesar A. (1999), "Measuring Agricultural Biotechnology Research Capacity in Four Developing Countries", *AgBioForum*, vol. 2, no. 3&4, pp. 182-188.

Feldman, M. (2003), "The Location Dynamics of the US Biotech Industry: Knowledge Externalities and the Anchor Hypothesis", *Industry and Innovation*, vol. 10, no. 3, pp. 311-328.

Fujita, M., P. Krugman y A. J. Venables (1999), *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, Cambridge, The MIT Press.

Fukuyama, Francis (1996), *Trust. Social Virtues, and the Creation of Prosperity*, Nueva York, The Free Press.

- Gálvez Mariscal, A. y R. L. González Aguirre (1998), *Armonización de reglamentaciones en bioseguridad*, México, Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Gaull, Gerald (1998), *Biotechnology Regulation in America and Europe. Viewed in a Cultural Framework*, Londres, The Institute of Economic Affairs (IEA), Environment Working Paper no 2.
- Giesecke, Susanne (2000), "The Contrasting Roles of Government in the Development of Biotechnology Industry in the us and Germany", *Research Policy*, vol. 29, no. 2, pp. 205-223.
- Gonsen, Ruby (2000), "The Case of Biotechnology", en M. Cimoli (editor), *Developing Innovation Systems. Mexico in a Global Context*, Nueva York y Londres, Continuum y Pinter Publishers, pp. 218-226.
- Gray, M. y E. Parker (1998), "Industrial Change and Regional Development: The Case of the us Biotechnology and Pharmaceutical Industries", *Environment and Planning A*, vol. 30, no. 10, pp. 1757-1774.
- Hotz-Hart, Beat (2000), "Innovation Networks, Regions, and Globalization", en G. L. Clark, M. P. Feldman y M. S. Gertler (editores), *The Oxford Handbook of Economic Geography*, Nueva York, Oxford University Press, pp. 432-454.
- Krugman, Paul (1990), *Rethinking International Trade*, Cambridge, The MIT Press.
- Luiselli Fernández, C. (1987), "Biotechnology and Food: The Scope for Cooperation", en C. L. Thorup (editor), *The United States and Mexico: Face to Face with New Technology*, New Brunswick, Overseas Development Council-U. S. Third World Policy Perspectives series, no. 8, pp. 167-185.

- Luna, M. (2001), “Las universidades públicas estatales: estrategias y factores de colaboración con las empresas”, en R. Casas (editora), *La formación de redes de conocimiento. Una perspectiva regional desde México*, México, Universidad Nacional Autónoma de México–Anthropos Editorial, pp. 81-112.
- Lundvall, Bengt-Ake y Peter Maskell (2000), “Nation States and Economic Development: From National Systems of Production to National Systems of Knowledge Creation and Learning”, en G. L. Clark, M. P. Feldman y M. S. Gertler (editores), *The Oxford Handbook of Economic Geography*, Oxford, Oxford University Press, pp. 353-372.
- Mercado, Alejandro (2004), “Trayectorias económicas en la frontera de Estados Unidos y México”, en A. Mercado y E. Gutiérrez (editores), *Fronteras en América del Norte. Estudios multidisciplinares*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 365-383.
- Niosi, J. y T. G. Bas (2001), “The Competencies of Regions-Canada’s Clusters in Biotechnology”, *Small Business Economics*, vol. 17, no. 1-2, pp. 31-42.
- _____ (2004), “Canadian Biotechnology Policy: Designing Incentives for a New Technology”, *Environment and Planning C: Government and Policy*, vol. 22, no. 2, pp. 233-248.
- Olson, Mancur (1965), *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups*, Cambridge, Harvard University Press.
- Pérez, Carlota y Luc Soete (1988), “Catching up in Technology: Entry Barriers, and Windows of Opportunity”, en G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. Soete (editores), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter Publishers, pp. 458-479.

- Porter, Michael (1991), *La ventaja competitiva de las naciones*, Barcelona, Plaza y Janés.
- Possani, Lourival D. (2003), "The Past, Present, and Future of Biotechnology in Mexico", *Nature Biotechnology*, vol. 21, no. 5, pp. 582-583.
- Putnam, R., R. Leonardi y R. Nanetti (1993), *Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy*, Princeton, Princeton University Press.
- Quintero, R. R. (1986), "Prospectiva de la biotecnología en México", *Transformación*, vol. 3, no. 12, pp. 52-56.
- Rifkin, Jeremy (1998), *The Biotech Century*, Nueva York, Tarcher/Putnam.
- Rohini, A. (1999), *The Emergence and Growth of Biotechnology: Experiences in Industrialized and Developing Countries*, Cheltenham, Inglaterra y Northampton, Massachusetts, Elgar.
- Ryan, C. D. y P. W. B. Phillips (2004), "Knowledge Management in Advanced Technology Industries: An Examination of International Agricultural Biotechnology Clusters", *Environment and Planning C: Government and Policy*, vol. 22, no. 2, pp. 217-232.
- Sasson, Albert (1993), *Biotechnologies in Developing Countries: Present and Future. Volume 1: Regional and National Survey*, París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Scott, Allen J. (1988a), *Metropolis: From the Division of Labor to Urban Form*, Berkeley, University of California Press.
- _____ (1988b), *New Industrials Spaces. Flexible Production, Organization, and Regional Development in North America and Western Europe*, Londres, Pion Limited.

- _____ (1990), "The Technopoles of Southern California", *Environment and Planning A*, vol. 22, no. 12, pp. 1575-1605.
- _____ (1993), *Technopolis: High-Technology Industry, and Regional Development in Southern California*, Berkeley, University of California Press.
- Smith, John (1996), *Biotechnology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Storper, M. y R. Walker (1989), *The Capitalist Imperative: Territory, Technology, and Industrial Growth*, Oxford, Basil Blackwell Publishers.
- _____ (1997), *The Regional World. Territorial Development in a Global Economy*, Nueva York, The Guilford Press.
- U. S. Census Bureau (sin fecha), *Foreign Trade Statistics*, <http://www.census.gov/foreign-trade/statistics/product/atp/2005/03/cryatp/atp1220.html> [9 de junio de 2005].
- U. S. Department of Commerce (2003), *A Survey of the Use of Biotechnology in U. S. Industry*, U. S. Department of Commerce, Technology Administration, Bureau of Industry and Security.
- Zucker, L. G. y M. R. Darby (1995), "Star Scientists, and Institutional Transformation. Patterns of Invention, and Innovation in the Formation of the Biotechnology Industry", *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America*, vol. 93, pp. 12709-12716.