
**Segunda parte:
Estudios de casos**

Graciela E. Gutman y Pablo Lavarello

Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR-CONICET), Argentina

Nuevos paradigmas tecnológicos y políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación: los casos de la moderna biotecnología y la nanotecnología

Resumen:

El surgimiento de nuevos paradigmas basados en la ciencia, como es el caso de la moderna biotecnología (MB) y las nanotecnologías, abre posibilidades de reestructuración de los sistemas productivos y los patrones de especialización en países de Iberoamérica. Estas tecnologías, sin embargo, muestran especificidades en términos de su articulación con los conocimientos científicos de base, su grado de transversalidad y las formas de convergencia entre distintos sistemas tecnológicos, que se traducen en diferencias en las trayectorias tecnológicas, la organización industrial y la forma de coordinación predominante en las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D). Este artículo resume los rasgos centrales de los nuevos paradigmas tecno-económicos a partir de los desarrollos recientes en países industrializados, presenta las capacidades científicas y tecnológicas existentes en algunos países de Iberoamérica, y avanza en la consideración de los esquemas institucionales y de políticas de Ciencia y Tecnología necesarios para impulsar las nuevas tecnologías.

Palabras clave:

biotecnología, nanotecnología, innovación, investigación y desarrollo (I+D), organización industrial, políticas de ciencia, tecnología y innovación (CTI)

Abstract:

The emergence of new science-based paradigms, such as Modern Biotechnology (MB) and Nanotechnology, provides opportunities for restructuring the productive systems and specialization patterns of Iberoamerican countries. However, some of the characteristics of these new tech-

nologies –namely their articulation with the scientific knowledge base, their transversal character, and their convergence with different technical systems– result in different technological trajectories, forms of industrial organization and coordination in Research and Development activities. This paper summarizes some of the main features of the new techno-economic paradigms following their recent development in industrialized countries, analyzes some indicators of the scientific and technological capabilities of Iberoamerican countries, and presents some initial considerations about institutional framework and Science and Technology Policies needed to promote the new technologies.

Key words:

biotechnology, nanotechnology, research and development, industrial organization, policies for science, technology and innovation

Graciela E. Gutman y Pablo Lavarello

Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR-CONICET), Argentina

Nuevos paradigmas tecnológicos y políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación: los casos de la moderna biotecnología y la nanotecnología

Introducción

En este artículo se analizan las implicancias, para el diseño e implementación de políticas de Ciencia, Tecnología y Innovación (CTI), de la difusión de la biotecnología y la nanotecnología, dos nuevas tecnologías basadas en el conocimiento científico. Ambas forman parte de lo que algunos autores consideran un nuevo paradigma tecnológico o un nuevo paradigma tecno-económico¹. Los desarrollos de ambas tecnologías son recientes, y comparten rasgos comunes debido a su carácter de tecnologías genéricas. Sin embargo, su grado de desarrollo y de difusión –tanto en los países centrales como en los países en desarrollo– no es similar, y no están claras todavía las potencialidades y oportunidades para transformarse en componentes plenos de un nuevo paradigma tecnológico.

Diversos estudios han señalado que los distintos paradigmas tienen fuertes implicancias sobre el tipo de organización industrial y las formas de competencia, condicionando las posibilidades de permanencia de las firmas en el mercado y de entrada de nuevas empresas en las actividades que surgen con el cambio tecnológico (Dosi, 1988; Malerba y Orsenigo, 1997)

Partiendo del análisis de la difusión de la moderna biotecnología (MB) en el sector de salud humana en Estados Unidos (EEUU) –el primero y más importante sector de difusión de estas nuevas tecnologías–, algunos autores sostienen que estas innovaciones se basan en procesos de destrucción creadora, en los cuales las capacidades tecnológicas existentes en determinados campos son reemplazadas, en el marco de relaciones de competencia entre empresas, por nuevas capacidades científicas (Coriat y Orsi, 2002). Como consecuencia,

emerge una nueva industria con el predominio de empresas especializadas en biotecnología estrechamente asociadas a la base de conocimiento científico. La vinculación con las universidades a través de la presencia de investigadores entre los socios fundadores es uno de los rasgos característicos de estas empresas, tales como Genentech, Chiron, y Celera, comprometidas a la vez con la generación de avances científicos y con la captura del valor de las innovaciones resultantes. Paralelamente, las universidades y los centros de investigación médicos se involucran directamente en objetivos comerciales, patentando y licenciando sus invenciones. En la industria farmacéutica de Estados Unidos, estas dinámicas se generalizaron gracias a innovaciones institucionales mayores que posibilitaron el surgimiento de un nuevo segmento de empresas especializadas en biotecnología.

Otros autores, sin embargo, señalan que esta dinámica corresponde solamente a una fase inicial de difusión de la biotecnología, y cambia cuando las empresas dominantes en los mercados absorben y desarrollan buena parte de las nuevas capacidades científicas, a partir de alianzas de cooperación con las nuevas firmas y con institutos de investigación (Pisano, 2006), o bien que estos cambios se limitan a la industria farmacéutica, pero no se verifican en otros sectores de difusión de la moderna biotecnología (MB), como por ejemplo la producción agrícola o las industrias de la alimentación, los

que se caracterizarían por la convergencia entre las viejas y las nuevas tecnologías (Valentin y Jensen, 2003).

Debido a su emergencia más reciente, existe aún menor consenso sobre la naturaleza del paradigma en el caso de las nanotecnologías, y sus implicancias en la organización industrial (Darby *et al.*, 2003; Avenal *et al.*, 2007). Cabe interrogarse acá si el grado de interpenetración entre la ciencia y la tecnología, el carácter multidisciplinario y la potencialidad de convergencia con otras tecnologías se traducen en un proceso de recomposición del oligopolio o bien si las dinámicas son diferentes según el sector de aplicación.

A partir de estas consideraciones, y de la posibilidades que abren las nuevas tecnologías en los países de Iberoamérica (llamados también países de la región), se plantean en este artículo varios interrogantes vinculados al diseño de esquemas institucionales y de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI): i) ¿cuáles son los elementos comunes y las diferencias entre ambos paradigmas, teniendo en cuenta que las posibilidades de desarrollo de los mismos en los países de la región están condicionadas por su convergencia potencial?; ii) ¿cuál es la organización industrial resultante de su difusión en contextos institucionales propios de los países industrializados en los que surgieron y se desarrollaron?; iii) ¿poseen los países de Iberoamérica capacidades en CTI adecuadas para avanzar en estos nuevos senderos innova-

tivos?; iv) ¿qué tipo de políticas de CTI serían adecuadas para promover su difusión?

Luego de una breve presentación acerca de la naturaleza y las formas de organización industrial que caracterizan a ambos paradigmas, el artículo avanzará en la consideración de las oportunidades y desafíos que éstos abren en países iberoamericanos.

I. Similitudes y diferencias entre los nuevos paradigmas

Ambas tecnologías implican la emergencia de nuevos paradigmas tecnológicos, involucrando nuevas oportunidades y nuevas heurísticas de resolución de problemas. Sin embargo, existen diferencias en términos de su naturaleza y su grado de difusión, que resultan en distintas configuraciones industriales y posibilidades de entrada para los países de la Región.

a. Naturaleza del paradigma biotecnológico

El desarrollo productivo y comercial de la MB ya lleva treinta años; fue en 1976 cuando surgió en EEUU la primera empresa biotecnológica, Genentech, que inauguró el uso de las modernas herramientas basadas en el Ácido Desoxirribonucleico (ADN) recombinante para el desarrollo de nuevas drogas medicinales.

En el tiempo transcurrido, si bien la MB no llenó todas las expectativas abiertas en su

comienzo, y mostró una fuerte concentración en pocos países (EEUU en primer lugar), y pocos sectores (salud humana en primer lugar), ha pasado a ser considerada como una de las más poderosas tecnologías de soporte (*enabling technologies*) del siglo XXI².

Un conjunto de atributos caracterizan a la MB y se expresan en las diferentes configuraciones sectoriales de los mercados biotecnológicos (Pisano, 2006; Orsenigo, 1999; Coriat, Orsi y Weinstein, 2003; Ducos y Joly, 1998; Christensen, 2003; Arundel, Crespi y Patel, 2006): i) la estrecha interpenetración/articulación entre ciencia básica y tecnología, que hace que la empresa biotecnológica no sea sólo una empresa basada en la ciencia sino que participa activamente en su desarrollo y en la captura de las mayores ganancias derivadas de su aplicación comercial, y que las academias avancen hacia el patentamiento y otorgamiento de licencias de sus invenciones; ii) la base multidisciplinaria y recombinante de conocimientos científicos y tecnológicos, en continuo desarrollo, que incluye entre otros a la biología molecular, la microbiología, la bioquímica, la química, la ingeniería, y los recientes desarrollos de la biociencia³; (iii) el carácter genérico y transversal de las tecnologías que la conforman, que posibilitan su difusión en diversos sectores productivos y de servicios⁴; y iv) diferentes niveles de complementariedad y ruptura con tecnologías existentes, que se traducen en distintos grados de acumulatividad tecnológica y de creación/desplazamiento de empresas.

Las oportunidades abiertas por la MB se ponen en evidencia en el elevado ritmo del patentamiento sobre todo en la década de los noventa, que fue impulsado por los desarrollos alcanzados en el Proyecto Genoma Humano⁵. En años siguientes este dinamismo se desaceleró, debido a las reglamentaciones para el patentamiento de material genético. En promedio, las patentes biotecnológicas representaron, a mediados de los noventa, el 9,4% de todas las patentes presentadas bajo el Tratado de Cooperación en Patentes (PCT), y descendieron al 5,6% a mediados del 2000. EEUU mantiene su liderazgo en este campo: concentra el 41% del total de patentes biotecnológicas (datos para el 2005), seguido por Japón (17%), Alemania (7%), Reino Unido (4,6%), Canadá (3%) y Francia (3%). El conjunto de los países emergentes en estos mercados englobados bajo la sigla BRIICS (Brasil, Rusia, India, Indonesia, China y África del Sur) alcanzaron el 2,7% del total (OECD, 2008). En su gran mayoría, las patentes pertenecen a grandes empresas multinacionales farmacéuticas; las áreas de aplicación más importantes fueron microbiología, ingeniería genética, bioquímica, química orgánica y ciencias médicas y veterinarias, que en conjunto alcanzaron un 78% del total (Albornoz *et al.*, 2008, datos para el período 2000-2007).

Esta dinámica no hace más que expresar la distribución por sectores de las ventas biotecnológicas y las inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D): el sector de salud humana

participó, en el 2003, con un 80% y un 87% respectivamente en estos montos, mientras que el sector agroalimentario lo hizo con un 6% y un 4% respectivamente (Van Beuzekom y Arundel, 2006). EEUU lidera los desarrollos productivos y tecnológicos de la MB, ocupando el primer lugar en salud humana, genética de semillas y biotecnología industrial; le siguen en importancia Canadá, Alemania, Francia, Reino Unido y Dinamarca; Japón, y algunos países emergentes, comienzan a jugar un rol destacado en estos mercados tales como China, India y otros países de Asia-Pacífico.

La distribución mundial de empresas especializadas en la MB, las ventas biotecnológicas, y las altas inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D), con un ritmo de progreso técnico que supera en más de cinco veces el promedio industrial, se aprecian en el siguiente Cuadro I.

b. La naturaleza de las nanotecnologías

Aunque se encuentran en una etapa más temprana de difusión que las biotecnologías, las nanotecnologías han despertado grandes expectativas en la industria desde mediados de los años noventa⁶. El interés de la industria radica en que a nivel de la nano-escala, las propiedades de los materiales son radicalmente diferentes a las de escalas mayores⁷. En términos comerciales, ciertas aplicaciones nanotecnológicas –fundamentalmente nanomateriales y en electrónica– ya se encuentran

Cuadro 1

Empresas Biotecnológicas a nivel mundial ⁽¹⁾
 Indicadores globales, año 2007
 (en millones de dólares, porcentajes y cantidades)

	Mundial	EEUU	Europa	Canadá	Asia-Pacífico
Ingresos (millones US\$)	84.782	65.175	12.945	2.692	3.970
Gastos I+D (millones US\$)	31.806	25.836	4.567	915	488
Gastos I+D / Ingresos	37%	40%	38%	34%	12%
Empleados	204.930	134.600	47.720	7.330	15.280
Empresas que cotizan en Bolsa	798	386	181	82	149
Total empresas	4.414	1.502	1.744	404	764

Nota: (1) Incluye sólo a empresas especializadas en la moderna biotecnología.

Fuente: Ernst & Young, 2008.

presentes en un conjunto amplio de productos⁸. Se estima que el mercado de los productos nanotecnológicos alcanza los 147 mil millones de dólares (Bradley, 2008). Pero al tratarse de bienes intermedios, ingresa en las primeras etapas de las cadenas de valor y no es visible en productos finales.

El paradigma de las nanotecnologías presenta ciertas diferencias y similitudes con el paradigma biotecnológico (ver Cuadro 2). Si bien existe una fuerte interpenetración entre la ciencia y la tecnología, en su actual fase de desarrollo es menos importante que en las modernas biotecnologías. Una forma de cuantificar el grado de interpenetración es contabilizar la cantidad de citas de artículos por patente. Para el período 1992-1996, 2,2 publicaciones en nanociencias⁹ fueron citadas en promedio

por cada patente nanotecnológica, mientras que en el caso de las biotecnologías y las bio-ciencias esta relación es de 3,53 publicaciones citadas por patente (Meyer, 2007).

En forma similar a las MB, las Nanociencias y las Nanotecnologías (NanoCT) son multidisciplinarias y recombinatorias abarcando campos científicos y técnicos diversos (física, ingeniería, biología molecular y química).

La gama de actividades en las cuales las nanotecnologías presentan posibilidades de desarrollo es aún más amplia que el de las biotecnologías, en cuanto involucran la manipulación y el control a nivel de nano-escala tanto de materiales orgánicos como inorgánicos. En consecuencia, su carácter transversal posibilita procesos de diversificación industrial que trascienden las aplicaciones actuales. No obstante,

la dirección y ritmo del progreso técnico difiere según las distintas aplicaciones.

Son las aplicaciones en nanomateriales, en electrónica y en optoelectrónica las que muestran un crecimiento mayor en el patentamiento desde mediados de los noventa. Los productos con nanomateriales comercializados alcanzaron el 65,7% (96.680 millones de dólares) de las ventas totales de las aplicaciones de la nanotecnología. La *electrónica*¹⁰ y *optoelectrónica*¹¹ son el segundo campo de expansión de las nanotecnologías, representando el 23,8% de las ventas (35.074 millones de dólares) (Bradley, 2008)¹².

En el mediano plazo, la *convergencia de la nanotecnología con la biotecnología* abrirá nuevas potencialidades para el diagnóstico de enfermedades y en aplicaciones orientadas a sitios específicos del cuerpo, o bien para el desarrollo de imágenes de moléculas¹³. Sin embargo, el potencial de expansión de las nanotecnologías se encuentra condicionado por los avances en las técnicas de manufactura. La manufactura de productos nanotecnológicos involucra dos conjuntos de técnicas muy diferentes, que se traducen en trayectorias tecnológicas heterogéneas. Por un lado, técnicas *top-down*, que se orientan a la fabricación de estructuras muy pequeñas a partir de piezas más grandes de material (por ejemplo, diseñar y fabricar circuitos en la superficie de un micro-chip de silicio)¹⁴. Por el otro, se han venido desarrollando nuevas técnicas *bottom-*

up, que posibilitan la fabricación de estructuras átomo por átomo, molécula por molécula, mediante diversas técnicas¹⁵.

Las técnicas *bottom-up* son las que presentan una mayor interpenetración con la actividad de I+D, y han dado lugar al desarrollo de nanotubos de carbono, con importantes potencialidades de renovar una amplia gama de fabricaciones dado que involucran nuevos productos y nuevos procesos con ahorros de costos significativos en múltiples industrias; si se consolidan, podrán sentar las bases de un nuevo paradigma tecno-económico (Freeman y Pérez, 1988).

II. Cambios en la organización de la I+D a la luz de los nuevos paradigmas

Las diferencias en la naturaleza de los paradigmas están asociadas a distintas formas de organización de la I+D, y de desarrollo de los mercados de conocimiento en Ciencia y Tecnología en los países desarrollados.

a. Hechos estilizados de la configuración de los mercados de conocimientos biotecnológicos en países desarrollados

Los desarrollos recientes de la biotecnología en la industria farmacéutica de los EEUU ilustran los aspectos centrales de este nuevo régimen tecnológico, caracterizado por la co-evolución de los cambios en los conocimientos científicos

de base; el surgimiento de nuevos tipos de capitales financieros de riesgo, y la aceleración en la privatización de los conocimientos científicos y tecnológicos. Las innovaciones institucionales y regulatorias centrales fueron (Pisano, 2006; Hopkins *et al.*, 2007; Coriat y Orsi, 2006): i) la autorización a universidades e instituciones académicas, a partir de la Bayh Dole Act de 1980, para patentar los resultados de las investigaciones financiadas con fondos públicos y transferir estas patentes a empresas (en forma prioritaria a empresas de EEUU) bajo la forma de licencias exclusivas o la creación de *joint-ventures*; ii) los cambios en el sistema de Derechos de Propiedad Intelectual (DPI), ampliando el campo de lo patentable a la materia viva –fallo de la Suprema Corte en el caso Diamond vs. Chakrabarty en 1980–; y iii) los cambios introducidos en 1984 en las regulaciones financieras, que permitieron, por una parte, la creación de un mercado financiero especializado en la mercantilización de los DPI, con las nuevas reglas establecidas para el NASDAQ¹⁶, y la modificación de la ley de fondos de pensión, autorizándolos a invertir parte de sus tenencias en acciones y valores tecnológicos de alto riesgo. Estas innovaciones institucionales permitieron la articulación entre los aspectos financieros de las inversiones empresariales y los DPI, y promovieron el surgimiento de empresas especializadas en biotecnología (*DBF, Dedicated Biotechnological Firms*), cuyos principales activos están constituidos por

patentes. El surgimiento de los “mercados de conocimiento científico” (la monetización (*financierización*) de la propiedad intelectual, Cimoli y Primi, 2007) impulsó la interfase entre las empresas biotecnológicas y las instituciones científicas¹⁷.

La posibilidad de fragmentar los conocimientos científicos, su grado de modularidad, facilita las estrategias de monetización de la propiedad intelectual (PI), incidiendo en la configuración de la estructura industrial de los diferentes mercados biotecnológicos. A pesar de que no hay consenso en la literatura especializada en relación al grado de modularidad de los conocimientos científicos y tecnológicos asociados a la MB, algunos autores sostienen que ésta se manifiesta sobre todo en la industrias biofarmacéuticas, pero es más débil en otras áreas, como es el caso de las aplicaciones en las industrias agroalimentarias, en las que es importante la confluencia de la MB con tecnologías tradicionales de bioprocesamiento (Pisano, 2006; Valentin y Jensen, 2003)¹⁸.

De esta forma, la configuración industrial, el tipo de empresas presentes y las formas de coordinación difieren entre los distintos sectores de aplicación. En el caso de la MB en el sector de *salud humana* de EEUU, esta configuración institucional incluye (Arundel *et al.*, 2006; Hopkins *et al.*, 2007; Orsenigo, 1999; Malerba y Orsenigo 2002; Valentin y Jensen, 2003; Pisano, 2006; Ernst y Young, 2008): i) OPI, Organismos Públicos de Investigación, los cua-

les fueron borrando la contraposición entre investigación “básica” y aplicada”; ii) DBF (*Dedicated Biotechnological Firms*), nuevas empresas que irrumpen en el mercado conformadas por emprendedores científicos que transforman el conocimiento científico en tecnológico y actúan como interfase entre la investigación académica y la innovación industrial, con dificultades para pasar a la producción en escala y llegar al mercado (*spin-off* universitarios o *start ups*, resultantes de la privatización de la infraestructura de CTI)¹⁹; iii) grandes empresas establecidas (*incumbents*), parcialmente diversificadas en la MB, con activos complementarios productivos, comerciales y regulatorios, pero sin las capacidades científicas necesarias, en una primera fase, para integrar los conocimientos asociados al nuevo paradigma; funcionan en alianzas y redes con las DBF y las OPI; en etapas posteriores, implementan estrategias de internalización de la I+D en la MB absorbiendo buena parte de las DBF; iv) capitales de riesgo que se especializan en el financiamiento y apoyo a la gestión de la innovación de las DBF en sus primeras etapas de desarrollo (sobre todo en EEUU, Canadá y Alemania); y v) fondos públicos para la innovación²⁰ e inversores financieros en el mercado primario y secundario de acciones.

La configuración industrial en el caso del sector *agrícola* muestra en sus inicios un patrón relativamente similar al de esta industria: empresas especializadas, grandes empre-

sas multinacionales (EMN) de agroquímicos y farmacéuticas con actividades de I+D exploratorias en biotecnología; y empresas de semillas especializadas en técnicas tradicionales de cruce. En etapas posteriores, las empresas multinacionales (EMN) buscan complementariedades entre agroquímicos y semillas, desarrollando “paquetes tecnológicos”, en el marco de una convergencia tecnológica “aguas abajo” de las cadenas de valor, y se transforman en nuevos centros integradores de redes, alianzas y adquisiciones de empresas especializadas y semilleras (Gutman y Lavarello, 2008).

A diferencia de estos casos, en las *industrias alimentarias* (IAA), predominan las alianzas de largo plazo entre grandes empresas del sector, empresas proveedoras de ingredientes alimentarios y organismos públicos de investigación. La presencia de DBF es menor en parte debido a las dificultades para “descomponer” la identificación y la resolución de problemas técnicos en distintas actividades (Valentin y Jensen, 2003). Las grandes empresas se transforman en “innovadores integrados”, y las proveedoras de ingredientes alimentarios comienzan a jugar un rol estratégico en la difusión de la MB, impulsando y facilitando las estrategias de diversificación productiva²¹ (Gutman, Lavarello y Cajal, 2006).

En términos generales, la dinámica de difusión de la MB se asienta en la conformación de alianzas estratégicas, en su mayoría fuertemente asimétricas y bajo la coordinación de las

grandes EMN líderes, en procesos de centralización de los capitales, a través de fusiones y adquisiciones (F&A) y en estrategias de protección de los DPI.

b. Hechos estilizados de la configuración industrial de los mercados de nanotecnología en países desarrollados

Recientemente las nanotecnologías han dejado de ser una actividad financiada prioritariamente por el sector público, para involucrar una importante inversión de la industria. Sin embargo, es incipiente el desarrollo de los mercados de conocimientos NanoCT. Se estima las inversiones de I+D en esta área a nivel mundial para el año 2005 en 9,6 mil millones de dólares. Desde 2005 las inversiones privadas en I+D superaron a los fondos públicos. En el año 2007, las inversiones totales alcanzaron 13,5 mil millones de dólares, de los cuales el 48,6% fueron privadas, 46% de fondos públicos y 5% de capitales de riesgo (Bradley, 2008).

Cabe discutir a título especulativo en qué medida estas inversiones están generando una reestructuración de la industria y nuevas formas de organización de la producción de conocimiento en CTI. En particular, si la emergencia de estas tecnologías genéricas implicará un reemplazo de las capacidades existentes en las industrias de aplicación, en el marco de un proceso shumpeteriano de destrucción creadora. O por el contrario, si las mismas generarán procesos de diversificación tecnológica, dando lugar

a una dinámica de acumulación en base a las capacidades en CTI previas.

El carácter aún incipiente del nuevo paradigma impide realizar afirmaciones definitivas. Existen evidencias contradictorias al respecto. Para Darby *et al.* (2003), las nanotecnologías constituyen una ruptura similar a la de las biotecnologías en la industria farmacéutica. En consecuencia, éstas amenazan el liderazgo de las empresas instaladas, que ven desvalorizarse sus capacidades, y crean oportunidades de entrada para nuevas empresas (Shea, 2005). Estos autores plantean que los *start-up* juegan un rol clave en el desarrollo económico de las nanotecnologías. En el mismo sentido, Avenel *et al.* (2007) demuestran, a partir de una base de patentes mundial, que las grandes empresas, si bien diversifican su base de conocimiento hacia las NanoCT, lo hacen a partir de la simple yuxtaposición de proyectos nano-tecnológicos con débil complementariedad, lo que, según estos autores, permite plantear la hipótesis que a medida que se difunda el paradigma, se verá reducida la coherencia de la base de conocimiento de las grandes empresas, reduciendo su propensión a innovar y abriendo la posibilidad de entrada de pequeñas empresas especializadas en nanotecnología. En particular, las posibilidades de emergencia de procesos de destrucción creadora de capacidades de CTI están asociadas a los avances en las técnicas de manufactura "*bottom-up*". Estas innovaciones implican cambios radicales en productos

intermedios (nanotubos de carbono para la fabricación de materiales resistentes y con propiedades electromagnéticas) y de procesos (ahorros sensibles de costos). Estos desarrollos son los que han explicado la aceleración en el patentamiento en la última década.

A pesar de que existen condiciones para una nueva fase caracterizada por destrucción de capacidades existentes, diversos autores señalan que en la fase actual de desarrollo de las NanoCT, predomina un proceso de acumulación de capacidades en el marco de las estrategias de grandes empresas diversificadas (Meyer, 2007; Avenal *et al.*, 2007):

- Si bien las grandes empresas instaladas no aprovechan la convergencia entre distintas nanotecnologías, las mismas están desarrollando NanoCT asociadas a su base de conocimientos previa²². Se trata de una ampliación de las capacidades de los paradigmas existentes, a diferencia de las farma-biotecnologías en que los desarrollos basados en el ADN recombinante transformaron radicalmente las capacidades existentes.
- La importancia de las trayectorias tecnológicas previas hace que el acceso a instalaciones de investigación y de producción constituyan activos complementarios clave. Este es en particular el caso de las aplicaciones de la NanoCT en electrónica y optoelectrónica. Pero también es un requisito

relevante para la incursión en las nanobiotecnologías.

Las actividades nanotecnológicas de las firmas son mayoritariamente incrementales y específicas a la resolución de problemas de los sectores de aplicación (Meyer, 2007). No existen por el momento grandes rupturas que despierten el interés de los fondos de inversión y capitales de riesgo (Bradley, 2008). Sin embargo, frente a un escenario de mayor convergencia entre las distintas nanotecnologías, las grandes empresas deberán recurrir de forma paulatina a fuentes externas de conocimiento de CTI. Esto plantea como interrogante si el desarrollo de un mercado de conocimiento de CTI posibilitará una nueva organización de la I+D caracterizada, en particular, por la división del trabajo entre generadores especializados de tecnología y producción a escala industrial. Un estudio econométrico realizado a partir de una muestra de empresas con actividades en NanoCT en Alemania parece rechazar, por el momento, esta alternativa (Fiedler y Welpé, 2006)²³.

En resumen, los paradigmas biotecnológicos y nanotecnológicos muestran sensibles diferencias, que se traducen en distintas características de sus trayectorias, en la organización industrial y en la forma de coordinación predominante en sus actividades de I+D. El desarrollo de las nanotecnologías parece estar más asociado a los grandes programas guber-

Cuadro 2

Configuración industrial de la biotecnología y la nanotecnología

	Biotechnologías	Nanotecnologías
Naturaleza de los Paradigmas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta interpenetración entre Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI). • Convergencia entre distintas oleadas de biotecnologías. • Rol clave de nuevos métodos de investigación (enabling technologies). • Carácter genérico y transversal . • Distintos grados de complementariedad y ruptura de los sendero tecnológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interpenetración entre CTI acotada a ciertas áreas. • Convergencia entre nanotecnologías aún limitada. • Rol clave de instrumentación científica en la articulación entre nanotecnologías. • Transversalidad potencial a industrias con materiales orgánicos e inorgánicos. • Alta dependencia de sendero específica a sector de aplicación.
Trayectorias	<p>Farma: Competencia/coexistencia entre paradigmas nuevos y trayectorias preexistentes.</p> <p>Agro e insumos industriales: convergencia entre paradigmas nuevos y trayectorias preexistentes; paquetes tecnológicos.</p>	<p>Alta convergencia entre nuevo paradigma NanoCT y trayectorias tecnológicas preexistentes (materiales, electrónica, química). Convergencia potencial con biotecnologías.</p>
Infraestructura Crítica	<p>Infraestructuras de CTI genéricas.</p>	<p>Infraestructura y equipamiento costoso y específico a las aplicaciones industriales.</p>
Organización Industrial	<p>DBF como interfase entre academia y grandes firmas.</p> <p>Oligopolio estratificado en biofarma, concentración en agro e insumos industriales.</p>	<p>Concentración en grandes grupos diversificados.</p> <p>DNF con estrategias de integración de la cadena de valor.</p>
Forma de coordinación	<p>Alianzas, redes público-privadas, clusters, mercados de conocimiento en CTI basados en propiedad intelectual (PI).</p>	<p>Alianzas Público-Privadas y clusters con “Grandes Usuarios” en el marco de grandes Programas Nacionales vinculados a usos militares y civiles.</p>

Fuente: Elaboración propia.

namentales y a la expansión de trayectorias previas de grandes empresas instaladas, en las cuales los productos nano-tecnológicos se integran en las cadenas de valor como un insumo o componente. En las MB, si bien los

programas gubernamentales y el financiamiento corporativo son importantes, los capitales de riesgo y los mercados de conocimiento CTI han mostrado un mayor grado de desarrollo. La acumulación de capacidades en las tec-

nologías principales preexistentes se traduce en importantes barreras a la entrada en las nanotecnologías, y en ciertas aplicaciones biotecnológicas. Por el momento, no se verifica en las nanotecnologías un proceso de destrucción creadora de capacidades que desafíe (al menos transitoriamente) a las empresas líderes, como en el caso de las fármacos biotecnológicas. Sin embargo, varios autores predicen que, a medida que se profundice el uso de las nanotecnologías con técnicas “*bottom-up*”, las empresas líderes enfrentarán limitaciones para integrar una gama creciente de nanociencias y nanotecnologías las que, si bien son complementarias, son muy disímiles. En este escenario, las posibilidades de emergencia de un mercado de conocimiento en NanoCT puede jugar un rol tan activo como en las MB.

III. La configuración de la base de conocimiento en CTI en los países de Iberoamérica

A pesar de las importantes brechas científicas y tecnológicas existentes, se espera que las MB y las nanotecnologías abran importantes oportunidades en los países de Iberoamérica para el desarrollo de industrias intensivas en CTI, con mayores ventajas competitivas en los mercados mundiales, niveles de integración local y avances en la cadena de valor. Los desafíos, sin embargo, no son menores.

a. Biotecnologías

La dinámica de los mercados biotecnológicos genera fuertes barreras a la entrada en estos mercados asociadas a la magnitud de los esfuerzos requeridos en I+D, los elevados costos y los tiempos necesarios para llegar al mercado con los nuevos productos, la gestión estratégica de la Propiedad Intelectual, el acceso a fuentes de financiamiento y a mercados de capitales especiales; el control y/o acceso a activos complementarios y las cambiantes condiciones en los contextos regulatorios en los mercados mundiales.

Por otra parte, Iberoamérica está conformada por un conjunto muy heterogéneo de países tanto en relación a su grado de desarrollo y a sus perfiles de especialización como a sus bases de conocimiento científico y tecnológico y sus contextos institucionales y regulatorios. La difusión de la MB en esta región es aún muy incipiente y sólo es significativa en algunos países, en los que impulsa la reestructuración industrial en los principales sectores de difusión: salud humana y sistemas agroalimentarios. Con pocas excepciones, estos desarrollos se basan en trayectorias tecnológicas centradas en la adopción y adaptación de tecnologías desarrolladas en países industrializados y, en el caso de América Latina, con una fuerte presencia de filiales de grandes empresas multinacionales.

En el Cuadro 3 se presentan un conjunto de indicadores que permiten apreciar las capacidades en CTI para la MB, existentes en

un conjunto de países seleccionados. En él se pone en evidencia el fuerte retraso tecnológico de los países iberoamericanos en su conjunto, la gran ventaja competitiva de EEUU y el avance en los mercados biotecnológicos de países emergentes como China e India. En este contexto, España, Brasil, Argentina y Cuba (así como Chile y Colombia) son países de Iberoamérica que, con diferentes estrategias en CTI se destacan por los avances alcanzados en el campo de la MB.

Los desarrollos en *España* se han concentrado en las áreas de salud humana y en menor medida en otras industrias y servicios. Cuenta con un número de empresas especializadas y de patentes biotecnológicas superior al del resto de los países iberoamericanos, aunque muy por debajo de los países más avanzados de la Unión Europea. A diferencia del modelo estadounidense, los desarrollos en la MB se han asentado mayoritariamente en la investigación pública y en la acción de organismos y programas públicos, con una baja participación de capitales de riesgo y de *start-up* universitarios (Garcés Toledano, 2007; Van Beuzekom y Arundel, 2006).

En el contexto de la alta prioridad otorgada a la salud pública, *Cuba* se destaca por el temprano desarrollo de la MB, como programa público, en el área de salud humana, iniciado en 1981 con la producción de interferón alfa leucocitario. Cuba se convirtió en el único país de Iberoamérica que ocupa un lugar destacado en

materia de desarrollo de “bio-terapias” farmacéuticas²⁴. Entre los años 2000 y 2006 acumuló 46 patentes biotecnológicas, ocupando el segundo lugar luego de Brasil dentro de los países latinoamericanos. Su sistema de innovación biotecnológico está integrado por 52 instituciones públicas de investigación, contando con *joint-ventures* en varios países, entre ellos Brasil, China, Irán y la India (López Mola *et al.*, 2006; Van Beuzekom y Arundel, 2009)

Brasil, en primer lugar, y *Argentina* son los principales países de América Latina en la difusión de la MB, principalmente en las áreas de salud humana y de la producción agropecuaria. Brasil cuenta con una importante participación de empresas públicas entre las 71 empresas especializadas en la MB, 68 patentes acumuladas en los años 2000-2006, y cerca de 7.000 investigadores en disciplinas asociadas, e importantes programas públicos de promoción de estas tecnologías. El número de empresas especializadas en biotecnología en Argentina es menor, todas de capitales privados, pero su densidad en relación a la población es más elevada. Si bien las patentes acumuladas son relativamente escasas, la tasa de patentamiento se ha incrementado en los últimos años. A pesar de estas evidencias, en ambos países el índice de aprovechamiento en nuevos desarrollos de las oportunidades científicas y tecnológicas, medido por el indicador de patentes sobre publicaciones es bajo, encontrándose muy por debajo del alcanzado en EEUU, Japón o

Alemania, países líderes en el desarrollo de la MB, pero también detrás de Cuba y otros países de América Latina.

b. Nanotecnologías

Estados Unidos, Europa y Japón aplicaron el 85% de las patentes aplicadas a nivel internacional en nanotecnología, mostrando un grado de con-

centración mayor que en el caso de las biotecnologías (56,6%). Frente a la fuerte inversión pública y la importancia de la base de conocimientos CTI de los países de la triada, los países de Iberoamérica se encuentran aún más rezagados que en el caso de las biotecnologías.

En el cuadro 4 se presentan un conjunto de indicadores comparativos de las capacidades en

Cuadro 3

Indicadores de Capacidades Científicas y Tecnológicas en Moderna Biotecnología.
Países Seleccionados

Indicadores	Países de Iberoamérica					Países emergentes de Asia				Países de la OECD		
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Cuba	España	Portugal	China	India	EEUU	Japón	Alemania
Patentes Biotecnológicas (Año 2006)	4	12	2	2	4	87	5	100	49	3.462	1.214	588
Patentes Biotecnológicas (Acumulado 2000-2006)	11	68	8	6	46	383	32	1.578	324	32.168	6.791	6.209
Publicaciones (Año 2006)	285	990	134	75	56	1.707	302	4.076	1.084	19.876	5.177	4.799
N° de Investigadores (Año 2006)	916	6.844	1.860 ⁽³⁾⁽⁴⁾	s/d	s/d	9.991	s/d	s/d	s/d	446.890 ⁽³⁾⁽⁴⁾	s/d	s/d
N° de Empresas ⁽¹⁾ (Año 2006)	34 ⁽⁵⁾	71 ⁽⁶⁾	58	10	52 ⁽⁹⁾	216	20 ⁽⁷⁾	136 ⁽⁶⁾	96 ⁽⁶⁾	1.510	1007 ⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾	495
Empresas por sector:												
• Salud Humana	23,8%	35,2%	27,6%	s/d	s/d	40,0%	61,0%	s/d	s/d	65,0%	s/d	44,0%
• Agropecuario	64,3%	22,5%	39,7% ⁽¹¹⁾	s/d	s/d	12,0%	17,1%	s/d	s/d	12,0% ⁽¹¹⁾	s/d	5,7%
• Industria y otros ⁽²⁾	11,9%	42,3%	32,8%	s/d	s/d	47,0%	22,0%	s/d	s/d	23,0%	s/d	50,3%
Empresas Biotecnológicas (cada 10 millones hab.)	21	4	35	2	46	20	19	0	0	51	79	60
Índice de aprovechamiento (patentes/publicación)	1,4%	1,2%	1,5%	2,7%	7,1%	5,1%	1,7%	2,5%	4,5%	17,4%	23,4%	12,3%

Fuentes: Anuario Estadístico CEPAL (2008), OECD Factbook 2009, Albornoz y Barrere (2008), Gutman y Lavarello, 2009, Garcés Toledano y otros (2007), Albornoz (2007), Hernández Cuevas y Valenzuela (2004), Van Beuzekom y Arundel (2006), Van Beuzekom y Arundel (2009), Ernst & Young (2008), Niosi y Reid (2006) y InvestChile (2008).

Notas: (1) Solo empresas biotecnológicas especializadas o DBF (Dedicated Biotech Firms en inglés). (2) Incluye industria agro-alimentaria. (3) Investigadores en biología. (4) Año 2000. (5) Año 2007. (6) Año 2004. (7) Año 2005. (8) Año 2007. (9) Instituciones del Polo Biotecnológico de La Habana. (10) Total de empresas biotecnológicas. (11) Incluye "Energía y Medioambiente". (12) Incluye aplicaciones en alimentos.

NanoCT para los países de la región. En el marco de fuerte concentración de las capacidades científicas y tecnológicas en los países de la triada, Iberoamérica representa el 7,02% de las publicaciones en nanociencias mundiales y solo el 0,72% de las patentes internacionales totales otorgadas entre el año 2004 y 2006. Al interior de la región, los distintos países muestran distintos niveles de capacidades en NanoCT y grados de impulso a estas actividades desde la estructuración de Programas Nacionales de apoyo.

España, pese a que se encuentra rezagada en términos de capacidades nanotecnológicas frente al resto de los países de Europa, constituye una plataforma de articulación de gran

parte de los países de Iberoamérica en las redes internacionales de NanoCT²⁵. Partiendo de niveles de financiamiento muy bajos, en los últimos años ha planteado a estas actividades como área prioritaria junto a otras tecnologías de punta. En el marco del plan estratégico de I+D 2008-2011 se ha reestructurado las capacidades existentes en NanoCT, reagrupando a 1200 científicos diseminados previamente en Universidades en centros regionales de excelencia (Martínez, 2008). Como consecuencia de ello, alrededor de estos centros se han creado 18 empresas nanotecnológicas.

Brasil, si bien verifica un importante sesgo hacia actividades de investigación básica que se

Cuadro 4

Financiamiento a la I+D y capacidades en NanoCT en países de Iberoamérica

	España	Portugal	Brasil	México	Argentina	Chile	Cuba
Financiamiento Público NanoCT 2005 (millones USS)	50 (1)	0,6	27-40 (2)	12,4 (4)	2 (3)	10 (2)	s/d
Investigadores NanoCiencia	2195	s/d	358	s/d	300	s/d	s/d
Publicaciones (2000-06) (5)	7487	1558	4521	1938	1184	501	268
% Nanopublicación Mundial	3,00	0,62	1,81	0,78	0,47	0,20	0,11
Patentes titulares PCT (2000-06) (5)	217	15	45	20	11	9	6
% Nanopatentes Mundial	0,47	0,03	0,10	0,04	0,02	0,02	0,01
Patentes inventores (2000-2006) (5)	s/d	s/d	84	41	46	18	7
Empresas	18	s/d	13	s/d	5	s/d	s/d
Publicación/investigador	3,4	s/d	12,6	s/d	3,9	s/d	s/d
Grado aprovechamiento CTI	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Patentes inventores/patentes titulares	s/d	s/d	1,9	2,1	4,2	2,0	1,2

Notas: (1) Kay y Shapira (2009); (2) Estimado a partir de Niosi y Raid (2007) y Masch (2007); (3) Presupuesto del FAN anualizado; (4) Comisión Europea (2004); (5) CAICYT (2008).

evidencia en la baja relación entre patentes y publicaciones en NanoCT, es el país de la región con mayores posibilidades de aprovechar las oportunidades abiertas por el nuevo paradigma tecnológico, combinando un gran tamaño de su mercado interno (184 millones de habitantes), la importancia relativa de su base de conocimientos NanoCT, su relativo mayor grado de industrialización y una temprana implementación de un programa nacional en NanoCT. La mayor parte de la investigación se realiza en universidades (Campinas y San Pablo) y se articula en redes descentralizadas financiadas por el gobierno federal. Sus 358 investigadores se orientan preferentemente a nanoestructuras (150) y nanobiotecnologías (92). De las 13 empresas existentes, 9 llevan adelante proyectos de nanobiotecnologías (Martins, *et al.*, 2007).

México es el tercer país de la región en cantidad de publicaciones y patentes en NanoCT. No cuenta con un programa nacional de NanoCT, pero existen varios proyectos de financiamiento público de estas actividades en nanomateriales, en su mayoría bajo convenios bilaterales con Estados Unidos y la Unión Europea²⁶. En el año 2004, existían 3 grupos y 11 universidades con una especialización en investigaciones sobre nanomateriales (Malsch, 2008). Diversos autores han señalado que México enfrenta serias falencias en términos de equipamiento, cuya actualización queda limitada a las donaciones puntuales de sus socios extranjeros (Foladori, 2007).

Argentina ocupa el quinto lugar en nivel de publicaciones y patentamiento en NanoCT y desde el año 2005 cuenta con un Plan Estratégico de desarrollo de las Micro y nanotecnologías, y estas actividades fueron establecidas como prioritarias en el Plan de CTI en los próximos 10 años²⁷. Sin embargo, el conjunto de estas iniciativas no es acompañado por el momento de un gran apoyo presupuestario. El país cuenta con 5 empresas involucradas en NanoCT, entre las cuales se destaca el grupo Tenaris y la empresa estatal INVAP. Al igual que México, cuenta con serios limitantes en equipamiento e infraestructura, lo cual generó un incentivo a insertarse en redes internacionales de tecnología (Malsch, 2008)²⁸.

Detrás de estos cinco países se ubican Chile, Cuba y Uruguay que, si bien cuentan con diversos grupos de investigación, el número de investigadores no alcanzan una masa crítica. No obstante, en ciertos países los recursos económicos a estas actividades son importantes, como es el caso de *Chile* en el que la *Iniciativa Científica del Milenio* financiada por el Banco Mundial busca la creación de centros de excelencia a partir de las capacidades existentes, que se articulan en acuerdos de cooperación con universidades y centros de investigación extranjeros (Foladori y Fuentes, 2007). Por su parte, *Cuba* es uno de los países que, por sus importantes capacidades acumuladas en biotecnologías, es de esperar un importante potencial en aplicaciones de nanobiotecnología (Foladori, 2006).

En todos los países de la región, existe un bajo grado de aprovechamiento de las oportunidades científicas en nuevos desarrollos patentados. El ratio entre el número de patentes internacionales y publicaciones en estas disciplinas es de 0,02 en la región, mientras que en Estados Unidos es de 0,38 y 0,13 en Alemania. Este indicador revela importantes limitantes en la articulación entre ciencia y tecnología. Una de las explicaciones es la debilidad de la base empresaria de la región, que en ninguno de los países supera las 20 empresas.

Esta desconexión entre las oportunidades científicas y su aprovechamiento en nuevos desarrollos en ciertos casos se corresponde con una proyección de los investigadores de la región en patentes de titularidad extra-regional. Es de resaltar el caso de Argentina que, por cada patente de titularidad nacional, tiene más de cuatro inventores argentinos que participan en patentes extranjeras. Ante las falencias de la política de CTI en la articulación estratégica de la oferta y la demanda tecnológica, se fortalecen las formas de inserción asimétrica en las redes internacionales de CTI.

IV. Oportunidades y desafíos de políticas públicas de CTI

Partiendo de definiciones estratégicas acerca de las prioridades de desarrollo económico y social en el mediano y largo plazo, y de un enfo-

que sistémico de las articulaciones entre ciencia, tecnología e innovación que supere las visiones lineales de demanda o de oferta, dos factores interrelaciones parecen tener una fuerte incidencia en el ritmo y senderos potenciales de los desarrollos de la MB en países de Iberoamérica.

En primer lugar, el rol estratégico del sector público en la promoción del progreso científico y tecnológico: los grandes programas públicos “de frontera”; la formación de recursos humanos altamente capacitados; la consolidación de disciplinas científicas asociadas; la promoción de los institutos de CTI; el desarrollo de capacidades biotecnológicas a través de la articulación pública y privada; y claras reglas de juego en relación a los DPI.

El Estado jugó un rol central en los países industrializados en la promoción de actividades CTI “de frontera”, tanto en el campo de las MB como de las NanoCT, a través de programas y financiamiento públicos. En el caso de los desarrollos científicos asociados a la MB, por ejemplo, EEUU puso en marcha en el año 2008 un importante programa para la promoción de las industrias basadas en la biociencia. Los grandes programas públicos implementados para las NanoCT desde inicios del milenio impulsaron una aceleración en el patentamiento en estas disciplinas. Durante el año 2001, el gobierno de Estados Unidos lanzó, a iniciativa de varias agencias gubernamentales y grandes empresas multinacionales, su programa de investigación

(*National Nanotechnology Initiative*)²⁹, que implicó una importante reestructuración del sistema nacional de innovación del país.

En segundo lugar, promover la adopción de los nuevos paradigmas en áreas y sectores prioritarios a partir de incentivos, líneas de financiamiento especiales, y políticas orientadas a la promoción de firmas especializadas, los aprendizajes en firmas existentes y el acceso a los activos complementarios (financiamiento, redes comerciales, capacidades gerenciales y regulatorias).

Como se ilustró en el punto 3, los países de Iberoamérica muestran un fuerte rezago en ambos aspectos. Si bien la gran parte de los países puso en marcha iniciativas nacionales de apoyo a la MB y a las NanoCT en los últimos años, los bajos niveles de financiamiento a la I+D plantean serios desafíos para el desarrollo de actividades que se mueven en un contexto de alta incertidumbre y que requiere elevados montos de inversión en I+D. Debido a ello, se requiere la implementación selectiva y jerarquizada de políticas. En los siguientes párrafos avanzamos en la consideración de algunas de las estrategias posibles.

Las políticas de estímulo para apoyar la inserción de empresas en nuevos nichos de mercado resultan importantes para algunos sectores de difusión de la MB, pero no parecen ser viables en el caso de las NanoCT. En éstas es necesario aprovechar economías de escala y de alcance (*scope*), ya sea a partir de iniciativas que impulsen la convergencia entre ambos

paradigmas, y/o promoviendo la articulación con otras actividades en curso en países de Iberoamérica, como podría ser el caso de España, Brasil, Cuba y Argentina.

Algunos autores proponen políticas tendientes promover el patentamiento de empresas locales, como estrategia para atraer capitales de riesgo del exterior (Niosi y Reid, 2008). Esta opción, sin embargo, parece poco probable en el corto y mediano plazo, para ambas tecnologías, debido a que la mayor parte de los países de la región no cuenta con mercados de capitales desarrollados ni con una cantidad suficiente de proyectos. Alternativamente, un posible programa de promoción podría basarse en políticas selectivas de apoyo a proyectos de empresas locales líderes con fuertes encadenamientos locales³⁰.

En aquellos países en los cuales la base empresaria es débil y no cuentan con grandes empresas estatales –como México, Argentina y Chile– las políticas de promoción de la MB y la NanoCT tienden a apoyar las iniciativas de inserción de firmas locales en redes globales de CTI y en programas de cooperación internacional los que, en la mayoría de los casos, son diseñados en los países desarrollados³¹.

Por último, cabe destacar la importancia, para ambas tecnologías, de políticas que promuevan el desarrollo de *clusters* regionales, facilitando la articulación y el intercambio entre la academia, los institutos de investigación y las empresas. Dada la alta complementariedad

entre las empresas proveedoras de bienes intermedios intensivos en nuevas tecnologías y las capacidades tecnológicas previas de las industrias usuarias, los aprendizajes proveedor-usuario constituyen un determinante clave en el desarrollo y adopción de innovaciones. Este aspecto resulta de particular relevancia para las NanoCT, debido a que las empresas proveedoras requieren a la vez la cercanía de los centros de excelencia científica y el acceso a instalaciones de investigación y producción de las usuarias.

Referencias bibliográficas

- ALBORNOZ, M. y BARRERE, R., (coord.) (2008). *Biotechnología: Tendencias recientes en investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D). Argentina en el contexto internacional*, CAICYT, CONICET, ANPCYT, Buenos Aires.
- ALBORNOZ, Mario, (coord.) (2007). *Inventario de Capacidades en Biotechnología: Argentina – Brasil – Paraguay – Uruguay*. Centro Redes para el Programa Biotech. Buenos Aires.
- ALFRANCA O., RAMA, R., y VON TUNZELMAN, N. (2005). "Combining different brands of in-house knowledge: technological capabilities in food, biotechnology, chemicals and drugs in agri-food multinationals". *Science and Public Policy*, Vol. 31, N°: 3 (June), pp. 227–244. England.
- ARUNDEL, A. CRESPI, G. y PATEL, P. (2006). "Biotechnology. Scoping Paper", *Europe INNOVA*, European Commission.
- AVENEL, E., FAVIER, A.V., MA, S., MANGEMATIN, S. y RIEU, C. (2007). "Diversification and hybridization in firm knowledge bases in nanotechnologies", *Research Policy*, Volume 36, Issue 6, July, Pages 864-870.
- BISANG, R., GUTMAN, G., LAVARELLO, P., SZTULWARK, S., DÍAZ, A., (comp.) (2006). *Biotechnología y desarrollo. Un modelo para armar en la economía argentina*, Prometeo | UNGS, Buenos Aires.
- BRADLEY, J. (2008). "Nanotechnology State of the Markets in 2008: Stealth Success and Broad Impact", *Lux Research*, <http://nasatech.com/nano/2008/Bradley.pdf>, Nueva York.
- CAICYT (2008). *Nanotecnología: Tendencias recientes en investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D)*, CAICYT-CONICET, ANCYT, Argentina.
- CHRISTENSEN, J. F. (2003). "Introduction: The industrial dynamics of biotechnology: new insights and new agendas", *Industry and Innovation* 10, no. 3: 223–230. Routledge, Dinamarca.
- CIMOLI, M., DOSI, G., NELSON, R. R., y STIGLITZ, J. (2006). "Institutions and Policies Shaping Industrial Development: An Introductory Note." *LEM Working Paper Series* (2006/02). Italia.
- CIMOLI, Mario y PRIMI, Annalisa (2007). "Technology and intellectual property: a taxonomy of contemporary markets for knowledge and their implications for development", *CEPAL Series*, CEPAL, Santiago de Chile.
- CIMOLI, Mario, FERRAZ, Joao Carlos y PRIMI, Annalisa (2009). "Science, Technology and Innovation policies in Global Open Economies: Reflections from Latin America and the Caribbean", *GCG Georgetown University, Universitas*, Vol 3 N°1, Washington DC.
- CORIAT, B. ORSI F. y WEINSTEIN, O. (2003). "Does Biotech Reflect a New Science-Based Innovation Regime?" *Industry and Innovation*, Vol 10 N° 3, 231-253, ABI/INFORM Global.
- CORIAT, B., y ORSI, F. (2002). "Establishing a new intellectual property rights regime in the United States: Origins, content and problems." *Research Policy* 31: 1491–1500. Elsevier.
- DARBY M, ZUCKER L. (2003). *Grilichesian Breakthroughs: Inventions of Methods of Inventing and Firms Entry in Nanotechnology*. NBER, Working Paper 9825.
- DELGADO, G. (2007) "Sociología política de la nanotecnología en el hemisferio occidental: el caso de Estados Unidos, México, Brasil y Argentina", *Revista de Estudios Sociales* No. 27, pp.164-181, agosto: pp. 230. ISSN 0123-885X, Bogotá.
- DOSI, G. (1988). "The nature of innovation.", en DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R, SILVERBERG, G., y SOETE (ed). *Technical Change and Economic Theory*, Ed. L. Pinter, Londres.
- ERNST y YOUNG (2008), *Beyond Borders. Global Biotechnology Report* en www.ey.com.
- FIEDLER, M. y WELPE, I. (2006). "Cooperative Strategies of Small, Medium and Large Firms in the Commercialization of Nanotechnology". In: FUEGLISTALLER, U., VOLERY, TH., y WEBER, W.

- (eds.): *Understanding the Regulatory Climate for Entrepreneurship and SMEs*. Papers presented to the Recontres de St-Gall 2006, Swiss Research Institute of Small Business and Entrepreneurship at the University of St. Gallen, Verlag KMU HSG.
- FOLADORI, G. (2006). Nanotechnology in Latin America at the crossroads. *Nanotechnol Law Bus J* 3(2), pp. 205–216.
- FOLADORI, G. y FUENTES, V. (2007). *Nanotechnology in Chile: towards a knowledge economy?* Disponible en: <http://estudiosdeldesarrollo.net/relans/documentos/chile-ing.pdf>.
- FREEMAN C., PEREZ C. (1988). "Structural crises of adjustment, business cycles and investment behavior" DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., and SOETE. Ed. *Technical Change and Economic Theory*, ed. L. Pinter, Londres.
- FRIEDLER, M. y WELPE, I. (2006). "Cooperative Strategies of Small, Medium and Large Firms in the Commercialization of Nanotechnology". in: FUEGLISTALLER, U., VOLERY, Th., & WEBER, W. (Eds.): *Understanding the Regulatory Climate for Entrepreneurship and SMEs*. Swiss Research Institute of Small Business and Entrepreneurship at the University of St. Gallen, Verlag KMU HSG.
- GARCÉS TOLEDANO, F. MONTERO PLATA, J. y VEGA GARCÍA, M. L. (coord.) (2007). *Relevancia de la Biotecnología en España 2007*, Fundación Española para el Desarrollo de la Investigación en Genómica y Proteómica (Genoma España), Madrid.
- GUTMAN, G., LAVARELLO, P. y CAJAL, J. (2006). "La biotecnología y las industrias de ingredientes alimentarios en Argentina". *Journal of Technology Management & Innovation* 1, iss. 3: pp. 121–130. JOTMI Research Group.
- GUTMAN, G. y LAVARELLO, P. (2009). "Building capabilities to catch up with the biotechnological paradigm. The role of public policies in developing countries. Evidence from Latin American Agri-food Systems" forthcoming in CIMOLI, M., DOSI, G. and PRIMI, A., Ed. *Learning, knowledge and innovation: Policy Challenges for the 21st century* Oxford University Press, Oxford (en prensa).
- GUTMAN, G. y LAVARELLO, P. (2008). "Biotecnología y Desarrollo. Avances de la agrobiotecnología en Argentina y Brasil", *Economía: teoría y práctica, Nueva Época*, No. 27, diciembre, México.
- HELLER, M. y EISENBERG R. (1998). "Can patents Deter Innovation? The Anticommons in Biomedical Research", *Science*, vol 280: pp. 698-701.
- HERNÁNDEZ-CUEVAS, Cristian y VALENZUELA, Pablo (2004). "Strategies to capture biotechnology opportunities in Chile", *Electronic Journal of Biotechnology*, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- HOPKINS M., MARTIN, P. NIGHTINGALE, P., KRAFT, A. y MAHDIA, S. (2007). The myth of the biotech revolution: An assessment of technological, clinical and organizational change. *Research Policy* 36: pp. 566–589. Elsevier.
- HULLMAN A. (2006). *The economic development of nanotechnology. An indicators based analysis*, European Commission, DG Research. Bruselas.
- INVEST-CHILE (2008). *Biotechnology and Life Science in Chile*, Chilean Economic Development Agency (CORFO), Santiago, Chile.
- KAY L., SHAPIRA P. (2009). "Developing nanotechnology in Latin America". *J Nanopart Res* 11: pp. 259–278.
- LÓPEZ MOLA, E., SILVA R., ACEVEDO, B., BUXADO, J., AGUILERA, A. y HERRERA L. (2006). "Biotechnology in Cuba: 20 years of scientific, social and economic progress, *Journal of Commercial Biotechnology*, Vol. 13, N° 1, pp. 1-11, Palgrave, McMillan, Washington DC, EEUU.
- MALERBA F. y ORSENIGO, L. (2002). "Innovation and market structure in the dynamics of the pharmaceutical industry and biotechnology: towards a history-friendly model." *Industrial and Corporate Change*, 11(4), pp. 667-703.
- MALERBA F. y ORSENIGO, L. (1997). "Technological regimes and sectoral patterns of innovative

- activity". *Industrial and Corporate Change* 6, no. 1. Oxford University Press, Oxford.
- MALSCH I. (2008). Nanotechnology in Argentina. Nanoforum E ULA, University of Twente, Netherlands. Disponible en: www.mesaplus.utwente.nl/nanoforumela/.
- MARTINEZ J. (2008). "Nanotecnología: un sector estratégico en innovación y creación de valor" *Economía Exterior*, Núm. 44. Primavera.
- MARTINS P.R., DOMINGUEZ DULLEY R., PREMEBIDA A. y BRAGA R (2007). Actividades relacionadas con las nanotecnologías en Brasil. RELANS. <http://estudiosdeldesarrollo.net/relans/documentos/Brasil.pdf>.
- MEYER M. (2007). "What do we know about innovation in nanotechnology? Some propositions about an emerging field between hype and path-dependency", *Scientometrics*, Volume 70, Nº3, marzo de 2007.
- NIOSI J. (2006). "La biotechnologie en Amérique latine". *La Chronique des Amériques* Nº 06-41. Observatoire des Amériques, Université du Québec à Montréal (UQAM).
- NIOSI J. y REID S. (2007). "Biotechnology and Nanotechnology: Science Based Enabling Technologies as Windows of Opportunity for LCDs?" *World Development*, Vol 35, Nº 3, pp. 426-438.
- NORDMANN A. (2004). *Converging technologies - Shaping the future of the European Societies*, HLEG Fore sighting the New Technology Wave, EC, Bruselas.
- OECD (2008). *Compendium of Patent Statistics*. OECD, París.
- OECD (2007). *Science Technology and Industry Scoreboard 2007*. OECD, París.
- ORSENIÑO, L. (1999). *The Emergence of biotechnology*, St Martin's Press, Nueva York.
- PISANO, G. (2006). *Science Business. The Promise, the Reality and the Future of Biotech*, Boston, Harvard Business School Press.
- SHEA, C.M. (2005). "Future Management research Directions in nanotechnology: A Case Study." *Journal Engineering and Technology Management* 22: 185-200.
- THE ROYAL SOCIETY (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. July 29.
- VALENTIN, F. y LUND JENSEN, R. (2003). "Discontinuities and Distributed Innovation: The Case of Biotechnology in Food Processing." *Industry and Innovation* Vol. 10, Nº 3 (Sept.): pp. 275-340. Routledge.
- VAN BEUZEKOM, B. y ARUNDEL, A. (2009). *OECD Biotechnology Statistics 2009*, OECD, París.
- VAN BEUZEKOM, B. y ARUNDEL, A. (2006). *OECD Biotechnology Statistics 2006*, OECD, París.
- ZIKA, E., PAPATRYFON, I., WOLF, O. GOMEZ-BARBERO, M., STEIN, A. y BOK, A. K. (2007). "Consequences, opportunities and challenges of modern biotechnology in Europe". *JRC Reference Reports*, European Commission. Institute for Prospective Technological Studies, Luxemburgo.

Notas

- 1 Por paradigma tecnológico entendemos al conjunto de procedimientos, la definición de los problemas relevantes y el conocimiento específico vinculado con su solución, incluyendo los mecanismos de aplicación de la tecnología (Dosi, 1988). La noción de paradigma tecnológico, a diferencia del primero, involucra a la totalidad del sistema económico, en la medida que a través de la difusión de un factor clave implique reducciones sensibles en los costos alterando los procesos y las formas de organización de la producción del conjunto de la economía (Freeman y Pérez, 1982).
- 2 La OECD define la biotecnología como la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, plantas, productos y sus modelos, modificando materiales vivos y no vivos para la producción de conocimientos, bienes y servicios. En su acepción moderna, la biotecnología se define por el uso de células, moléculas y procesos genéticos en la producción de bienes y servicios. Entre las técnicas que la conforman se encuentran las relacionadas con el ADN y ARN (genómica, farmagenómica, ingeniería genética, otras); con proteínas y otras moléculas; técnicas de células y cultivos de tejidos; técnicas de bioprocesamiento a partir de biorreactores; terapias génicas y vectores virales (Zica *et al.*, 2007; Van Beuzucom *et al.*, 2006).
- 3 La *biociencia* constituye uno de los campos más dinámicos del desarrollo científico, englobando las áreas de investigación del cerebro humano; la genómica; la medicina regenerativa y la ciencia de las plantas (OCDE, Science, Technology and Industry Scoreboard, 2007).
- 4 Los mayores desarrollos de la MB a nivel mundial se han centrado en *salud humana*: (biofármacos, terapias, diagnósticos *in vitro*, vacunas recombinantes, drogas; *agricultura* (cultivos genéticamente modificados, marcadores moleculares, inoculantes, micropropagación de plantas) y *salud animal* (vacunas, diagnósticos, genética). Con menor alcance relativo actual la MB impacta las *industrias de la alimentación* con insumos biotecnológicos (enzimas, estárter, cultivos) y nuevos alimentos (alimentos funcionales, nutracéuticos), y *otras industrias y servicios*: la biotecnología industrial incluye biomasa para uso industrial (biocombustibles, bioquímicos), control del medioambiente y biorremediación, enzimas recombinantes para el bioprocesamiento en las industrias textil, del cuero, de pulpa y papel y otras; biominería (EC 2007, OECD 2006).
- 5 Proyecto Internacional Genoma Humano, un consorcio público que se puso en marcha en 1990. En el año 2003 logran describir el mapa del código genético humano, constituyendo el mayor descubrimiento científico contemporáneo, abriendo nuevos horizontes en biomedicina y numerosos campos relacionados con la salud humana, animal y de plantas. La apropiación privada de buena parte de estos resultados (patentamiento de partes del genoma humano) ha levantado numerosas polémicas en el campo de la bioética.
- 6 Las nanotecnologías comprenden el diseño, la caracterización, la producción y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas, controlando su forma y su tamaño a la nanoescala, a una escala menor que un micrómetro, es decir, a nivel de átomos y moléculas.
- 7 Los materiales a una escala nano son más reactivos químicamente que a una escala mayor, frecuentemente materia inerte, aumentando su fortaleza o sus propiedades eléctricas. Por su parte, los efectos cuánticos (*quantum effects*) son más probables a la nanoescala, afectando las propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas de los materiales (The Royal Society, 2004; pág. 7).

- ⁸ En diversas actividades, el objeto de la nanociencia y nanotecnología no es nuevo. En la industria química se han venido desarrollando polímeros, que son moléculas grandes compuestas de subunidades a una nanoescala. Las nanoestructuras han sido utilizadas en la fabricación de catalizadores desde hace 100 años. También se han desarrollado desde hace 20 años chips utilizando estructuras de materiales a una nanoescala. Sin embargo, la falta de comprensión de los fenómenos a escala nano, limitaba las posibilidades de mayores desarrollos.
- ⁹ La nanociencia comprende el estudio de los fenómenos y la manipulación de los materiales en una escala de átomo, molécula o macromolécula, donde las propiedades difieren significativamente de mayores escalas.
- ¹⁰ La misma se encuentra orientada hacia la miniaturización y el aumento de la capacidad de memoria, la fabricación de pantallas flexibles, sensores para detectar distintos cambios en el entorno como por ejemplo químicos en el medio ambiente o para identificar la consistencia de distintas sustancias (alimentos), o el desarrollo de sensores para monitorear el stress mecánico de edificios.
- ¹¹ Comprende aplicaciones en láseres, cristales fotónicos, e instrumentos ópticos.
- ¹² Las nanotecnologías han permitido la construcción de materiales mejorados, más fuertes, livianos y flexibles. Estos son aplicados en la fabricación de componentes para displays, baterías, microsensores y catalizadores. Existen a escala de laboratorio desarrollos con gran potencial como es el caso de superficies activas (ejemplo: ventanas que se autolimpian) y nanotubos de carbón –rollos de carbón que miden unos pocos nanómetros de diámetro y unos pocos centímetros de largo– que son extremadamente fuertes y flexibles, y en forma simultánea pueden conducir electricidad (The Royal Society, 2004; pág. 7).
- ¹³ En la actualidad hay diversas líneas de investigación en estas direcciones, encontrándose varias de ellas en etapa de pruebas clínicas. También existe en el futuro potencialidades para la construcción de materiales y dispositivos para la ingeniería y construcción de células. Muy a largo plazo se evalúa poder construir retinas artificiales que puedan detectar y procesar información (The Royal Society, 2004; p.19).
- ¹⁴ Esto requiere técnicas de ingeniería de (ultra) precisión y litografía como han sido utilizadas durante años en la industria de semiconductores, de reproductores de DVD y CD.
- ¹⁵ Estas incluyen técnicas ampliamente difundidas de síntesis química y procesos de “autoensamblado” que se encuentran en sus primeros pasos y acotados a la producción de materiales muy rudimentarios.
- ¹⁶ El NASDAQ (*National Association of Securities Dealers Automated Quotation System*) fue creado en 1971. Con la reforma de los años ochenta se transformó en un mercado de capitales especializado en la promoción de firmas innovadoras, permitiendo la entrada de empresas no rentables cuyos activos estaban conformados por DPI (Coriat y Orsi, 2006).
- ¹⁷ La monetización de la PI ha sido una fuerza poderosa en la configuración de estas industrias biotecnológicas, ya que para tener un negocio rentable no es necesario desarrollar un producto, alcanza con desarrollar una parte del mismo y patentarla, para luego licenciarla a otra empresa o realizar otros acuerdos de mercado (Pisano, 2006).
- ¹⁸ No debe dejarse de lado, por otra parte, los potenciales efectos perjudiciales de la excesiva fragmentación y la consiguiente patentabilidad de los conocimientos científicos, que puede llevar, paradójicamente, a una situación de “tragedia de los anti-comunes” (Heller y Eisenberg, 1998).
- ¹⁹ Existen distintos tipos de DBF, entre otros: empresas especializadas en productos o proce-

- sos específicos, y empresas especializadas en plataformas tecnológicas (genómica, proteómica, bioinformática).
- ²⁰ En la industria farmacéutica de EEUU, el Instituto de Salud Nacional (NHI) es el gran responsable de la mayor parte de los fondos para la investigación básica y la biotecnología, con subsidios de 23.000 millones de dólares anuales.
- ²¹ La base inicial de conocimientos tecnológicos de las empresas de ingredientes alimentarios proviene de la industria farmo-química y de la agroalimentaria; las interacciones cliente-proveedor con las IAA y su articulación con las Organizaciones Públicas de Investigación complementa sus fuentes internas de innovación. Su fuerte orientación tecnológica las transforma en mayores innovadoras que sus clientes. Se encuentran en un proceso en curso de continuas fusiones y adquisiciones entre empresas (Gutman, Lavarello, y Cajal, 2006).
- ²² A partir de casos de estudio para Inglaterra y Alemania, Meyer (2007) ilustra que muy pocas empresas cruzan las fronteras entre las distintas NanoCT, tales como nano-partículas, films nano-estructurados, nano-componentes. Es más, los casos muestran que más allá de la diversificación tecnológica, las empresas tienden a fabricar solo una tecnología con una, y en menor medida, varias aplicaciones industriales.
- ²³ Según los autores, esto se explica por la alta incertidumbre, la indefinición de mercados, el desconocimiento de los productos y las dificultades para sus aplicaciones, que se traducen en altos costos de búsqueda y en negociaciones respecto al reparto de "royalties", desincentivando la realización de acuerdos de cooperación en las actividades de fabricación y comercialización.
- ²⁴ De 138 productos aprobados para su uso entre 1989 y 2009, la proporción de fármacos desarrollada en Cuba aparece entre los diez primeros lugares, y ocupa el cuarto lugar de la lista cuando se lo considera en relación al tamaño de la población. Entre los resultados más exitosos se encuentran las vacunas contra la meningitis tipo B y la hepatitis B.
- ²⁵ Este es el caso de varios países de América Latina y de Portugal. Este último país, a pesar de contar con un escaso financiamiento a estas actividades, se inserta en una red de cooperación bilateral con España. Recientemente se creó un centro de investigación conjunto de los dos países –el International Iberian Nanotechnology Laboratory– que supera ampliamente el financiamiento nacional.
- ²⁶ Desde el año 2004, sus principales centros de investigación se articulan en una red binacional de colaboración con Estados Unidos para el desarrollo de sistemas micromecánicos (MEMs) y algunos nanomecánicos (NEMs). Por su parte, la multinacional química Clariant decidió construir una planta para la producción de químicos para nanobiomateriales.
- ²⁷ Estas medidas fueron precedidas por la creación de una iniciativa mixta, la Fundación argentina de Nanotecnología (FAN), en cuyo directorio se encuentra el gobierno, los principales institutos con capacidades en NanoCT y una empresa estatal (INVAP).
- ²⁸ En particular, se destaca la estrecha vinculación entre la infraestructura local de CTI y la empresa multinacional Lucent vinculada al departamento de defensa de EEUU, para el desarrollo de sensores y otros microsistemas más rápidos y seguros.
- ²⁹ La National Nanotechnology Initiative, NNI, aprobada en 2001, se basó en un estudio realizado entre 1996-1998 por el World Technology Evaluation Center a petición de la *National Science Foundation*, NSF, y otras agencias gubernamentales. Según Delgado, G. (2007) participaron en este estudio representantes de grandes empresas multinacionales como Exxon Research and Engineering Company, Motorola, y Eastman Kodak, y otras empresas multinacionales vinculadas a la industria militar, tales como Lockheed Martin, Honeywell, Bell South, Duke Energy, Intel, Dell y Glaxo SmithKline.

- ³⁰ En el caso de las nanotecnologías, sólo Brasil ha llevado adelante proyectos de este tipo, a partir del apoyo al proyecto de la empresa estatal Petrobras para el desarrollo de herramienta de perforación de alto rendimiento y de uso en condiciones de difícil acceso.
- ³¹ Sin desconocer la importancia de los posibles procesos de aprendizaje, estas estrategias pueden generar efectos perversos de captación de cerebros y de apropiación de la innovación local.