

IICA
SDP-18

Centro Interamericano de
Documentación e Información
Agrícola

ISSN-1011-7741

24 JUN 1991

CIDIA
Turrialba, Costa Rica

IICA



BIOTECNOLOGIA E INDUSTRIA

Un Ensayo de Interpretación Teórica

Ignacio Avalos Gutiérrez

18

Noviembre, 1990
SERIE DOCUMENTOS DE PROGRAMAS

Copyrighted material

¿QUE ES EL IICA?

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano. Sus orígenes se remontan al 7 de octubre de 1942 cuando el Consejo Directivo de la Unión Panamericana aprobó la creación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Fundado como una institución de investigación agronómica y de enseñanza de posgrado para los trópicos, el IICA, respondiendo a los cambios y a las nuevas necesidades del Hemisferio, se convirtió progresivamente en un organismo de cooperación técnica y fortalecimiento institucional en el campo agropecuario. Estas transformaciones fueron reconocidas formalmente con la ratificación, el 8 de diciembre de 1980, de una nueva convención, la cual estableció como los fines del IICA los de estimular, promover y apoyar los lazos de cooperación entre sus 32 Estados Miembros para lograr el desarrollo agrícola y el bienestar rural.

Con un mandato amplio y flexible y con una estructura que permite la participación directa de los Estados Miembros en la Junta Interamericana de Agricultura y en su Comité Ejecutivo, el IICA cuenta con una amplia presencia geográfica en todos los países miembros para responder a sus necesidades de cooperación técnica.

Los aportes de los Estados Miembros y las relaciones que el IICA mantiene con 12 Países Observadores Permanentes, y con numerosos organismos internacionales, le permiten canalizar importantes recursos humanos y financieros en favor del desarrollo agrícola del Hemisferio.

El Plan de Mediano Plazo 1987-1991, documento normativo que señala las prioridades del Instituto, enfatiza acciones dirigidas a la reactivación del sector agropecuario como elemento central del crecimiento económico. En función de esto, el Instituto concede especial importancia al apoyo y promoción de acciones tendientes a la modernización tecnológica del agro y al fortalecimiento de los procesos de integración regional y subregional.

Para lograr esos objetivos el IICA concentra sus actividades en cinco áreas fundamentales que son: Análisis y Planificación de la Política Agraria; Generación y Transferencia de Tecnología; Organización y Administración para el Desarrollo Rural; Comercialización y Agroindustria; y Salud Animal y Sanidad Vegetal.

Estas áreas de acción expresan, de manera simultánea, las necesidades y prioridades fijadas por los mismos países miembros y los ámbitos de trabajo en los que el IICA concentra sus esfuerzos y su capacidad técnica, tanto desde el punto de vista de sus recursos humanos y financieros como de su relación con otros organismos internacionales.

Son países miembros del IICA: Antigua y Barbuda, Argentina, Barbados, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominica, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, San Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

Países Observadores Permanentes: Austria, Bélgica, España, Francia, Israel, Italia, Japón, Países Bajos, Portugal, República Arabe de Egipto, República de Corea y República Federal de Alemania.



BIOTECNOLOGIA E INDUSTRIA

Un Ensayo de Interpretación Teórica

Ignacio Avalos Gutiérrez

18 Noviembre, 1990
SERIE DOCUMENTOS DE PROGRAMAS

IICA
SDP-18

© Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Derechos Reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización escrita del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Las ideas y planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios del autor y no representan necesariamente el criterio del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Levantado de Texto:	Depto. de Composición de Texto, IICA
Montaje de texto:	Hugo Calderón
Diseño de cubierta:	Mario Loaiza
Producción:	Marcelle Banuett B.
Editores de la obra:	Víctor Flury/Marisol Gutiérrez
Editor de la Serie:	Michael J. Snarskis

IICA
SDP-18 Avalos Gutiérrez, Ignacio
Biotecnología e industria : un ensayo de interpretación teórica. - San José, C.R. : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1990.

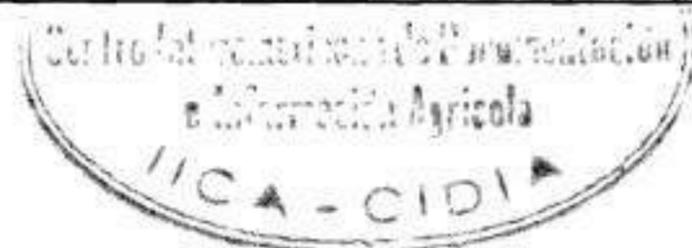
82 p. ; 24 cm. - (Serie Documentos de Programa / IICA, ISSN 1011-7741 ; no. 18).

1. Biotecnología industrial. I. Título. II. Serie.

AGRIS
A50

084241

DEWEY
574.8



PROYECTO INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA/AGENCIA CANADIENSE DE DESARROLLO INTERNACIONAL

El objetivo general del Proyecto IICA/ACDI es fortalecer el desarrollo conceptual y operativo de los cinco Programas del IICA en las áreas temáticas más importantes de su Plan de Mediano Plazo y en el contexto del PLANALC. A través de los Programas, el Proyecto IICA/ACDI, con la colaboración de Agriculture Canada, apoya los esfuerzos de los países por modernizar y revitalizar sus sectores agropecuarios, en el marco del fortalecimiento de las relaciones entre Canadá, América Latina y el Caribe.

SERIE DOCUMENTOS DE PROGRAMAS No. 18
ISSN 1011-7741



INDICE

PRESENTACION	5
RESUMEN	6
1. INTRODUCCION	9
2. LA BIOTECNOLOGIA	10
Campos de aplicación de la biotecnología	11
Las técnicas utilizadas en la agricultura y la agroindustria	12
3. LA BIOINDUSTRIALIZACION	15
Principales rasgos de la bioindustrialización	15
La bioindustrialización como proceso intensivo en ciencia	15
Papel de las universidades	16
La convergencia de las biotécnicas	18
Participación del sector privado	18
Tendencias básicas en el proceso de bioindustrialización	21
El comienzo: las pequeñas empresas norteamericanas	21
El caso japonés	26
Las grandes empresas	27
Integración de la industria a partir de la biotecnología	27
Internalización de las actividades de investigación y desarrollo	29
La internacionalización de la bioindustria a partir de la biotecnología	29
La internacionalización y los países subdesarrollados	32
Los productores de equipos	33
4. BASES PARA UNA INTERPRETACION	35
La biotecnología como nuevo paradigma tecnológico	35
Taxonomía del cambio técnico	35
El concepto de paradigma tecnológico	36
El concepto de "trayectorias naturales"	38
La biotecnología: un paradigma en ciernes	39
La difusión de la biotecnología	42
Aspectos generales de la difusión de tecnologías	42
La difusión de la biotecnología en los países subdesarrollados	45

El proceso de transferencia de la biotecnología	47
El proceso de transferencia de tecnología hacia los países subdesarrollados: una visión general	47
Principales modalidades de la transferencia de tecnología	48
Rasgos básicos del régimen de apropiación de la tecnología	51
La transferencia de biotecnologías	52
La biotecnología: ¿Nuevo paradigma y viejos actores?	54
La teoría del ciclo de vida del producto	54
La bioindustrialización y las oportunidades de entrada para los países subdesarrollados	56
El problema de las pequeñas y grandes empresas	59
5. BASES PARA DISEÑAR UNA ESTRATEGIA	61
Objetivo general de la estrategia	61
El papel del Estado	63
Política científica	65
Política tecnológica	66
Política industrial	66
Política financiera	69
Política de exportaciones	69
Política de integración regional	71
Política de regulación	72
El papel de las empresas	72
El papel de los laboratorios	73
El sistema nacional de innovación	75
BIBLIOGRAFIA	77

PRESENTACION

Este documento fue elaborado para el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Forma parte del Programa II: Generación y Transferencia de Tecnología, y dentro de éste, del Proyecto de Planeamiento Estratégico y Nuevas Opciones Tecnológicas, financiado por la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI).

Para su elaboración conté con la ayuda importante de varias personas. En particular quiero nombrar al Doctor Eduardo Trigo y al Doctor Walter Jaffé, el primero Director del Programa II y el segundo del Proyecto antes referido, quienes no sólo me dieron el imprescindible apoyo administrativo, sino que además me proporcionaron una valiosa bibliografía y me hicieron llegar sugerencias que sin duda mejoraron el texto, tanto en su forma como contenido.

Quiero dar testimonio, asimismo, de la colaboración que me prestaron el Dr. Armando Martel, de la Universidad Central de Venezuela (UCV); el Dr. Ferdinando Liprandi, del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y el Dr. Horacio Viana, del Instituto de Estudios Superiores de Administración (IESA), cuyas recomendaciones influyeron muy positivamente en la redacción de estas páginas.

También quiero reconocer la ayuda de la Socióloga Tibusay Lucena y el Biólogo Javier Escalante en la búsqueda, organización y análisis del material bibliográfico que examiné.

Finalmente, deseo mencionar el soporte institucional que me brindó el IICA a través del Dr. Trigo y el Dr. Martín Piñeiro, su Director General.

A todos ellos mi agradecimiento, aunque por supuesto los eximo de toda responsabilidad por lo que aquí queda escrito.

RESUMEN

Lo que se expone en el transcurso de estas páginas puede quedar recogido en los siguientes planteamientos:

1. A pesar de que la biotecnología no ha terminado de cuajar como nuevo paradigma tecnológico y su difusión ha sido relativamente lenta (aún quedan problemas científicos, tecnológicos e industriales importantes sin resolver), todos los pronósticos disponibles indican que su desarrollo traerá consigo repercusiones económicas muy hondas, las cuales se dejarán sentir de manera plena a comienzos del siglo XXI.
2. Las naciones subdesarrolladas no pueden desentenderse de la biotecnología. Esta irá cambiando los patrones de inversión y de industrialización y, desde luego, las relaciones económicas a nivel mundial, transformando la noción de ventajas comparativas y la naturaleza de la división internacional del trabajo. Estos países deben, por consiguiente, concebir y poner en práctica una estrategia que les permita iniciar su proceso de bioindustrialización. Y lo deben hacer cuanto antes por dos razones. Por un lado, a medida que la bioindustria madure irán haciéndose más altas las barreras a la entrada. En segundo término, porque la estrategia que se diseñe ahora, la cual debe prever como núcleo la acumulación de capacidades científicas y tecnológicas, necesitará de mucho tiempo para dar frutos.
3. No obstante tratarse de un nuevo sistema tecnológico que, en principio, debería suponer menos barreras a la entrada, el desarrollo de la biotecnología está ocurriendo principalmente en el seno de una estructura industrial madura, fuertemente concentrada.
4. Las empresas transnacionales han comenzado a ejercer un amplio control sobre la investigación y sobre los diferentes procesos asociados con la generación, industrialización y comercialización de innovaciones biotecnológicas. Para ello, se han valido de sus amplios recursos financieros, de su tradicional fortaleza en investigación y desarrollo (I y D) de su dominio sobre el mercado, aspectos todos que ponen en evidencia el hecho de que las discontinuidades existentes entre las tecnologías, por más grandes que sean, nunca implican rupturas absolutas.
5. La estrategia debe estar asociada con cambios institucionales importantes, que permitan una organización y un desempeño adecuados de aquellos procesos mediante los cuales se generan, transforman, difunden y aplican las biotecnologías. Tales cambios deben afectar diversos planos (el Estado, los laboratorios, las empresas) y apuntar, en general, hacia la constitución de un sistema nacional de innovación.

-
6. Al Estado le toca jugar un papel muy importante en la promoción, orientación y consolidación del proceso de bioindustrialización, papel que es aún de mayor relieve que el que juega en las naciones avanzadas. Le corresponde el diseño de la estrategia y de las correspondientes políticas, así como la previsión de una porción apreciable de los recursos financieros que se necesitan. El Estado debe convertir la biotecnología en proyecto nacional, en el entendido de que por allí pasará una parte importante del destino económico de los países subdesarrollados. Además, y de manera igualmente importante, el Estado debe gestionar el acuerdo entre los diversos agentes del proceso innovador para integrar recursos en torno a objetivos comunes. La complejidad de las nuevas tecnologías, el elevado costo asociado con su desarrollo y comercialización, así como la acelerada tasa de cambio, así lo imponen.
 7. La mencionada estrategia debe ser diseñada en función del aprovechamiento que permite la biotecnología de las economías de localización y, sobre todo, de especialización.
 8. El eje de la estrategia debe ser la empresa (pública o privada, nacional o mixta, grande o pequeña, según el caso). Los diferentes actores (Estado, laboratorios, entidades financieras) deben converger en un proceso de acumulación de capacidades que, en última instancia, han de reflejarse en empresas capaces de participar exitosamente en el negocio de la biotecnología.
 9. La parte fundamental de la estrategia debe descansar en las empresas de mayor tamaño de los países de la región, las cuales están en condiciones de juntar las diversas capacidades requeridas (en el campo de la tecnología, la manufactura, el mercadeo) para participar en una industria que evoluciona hacia una mayor complejidad y concentración.
 10. Si se toma en cuenta la circunstancia, por demás obvia, de que el grueso de los avances científicos y tecnológicos asociados con la biotecnología se producen en los países avanzados, la variada gama de opciones que se abren en el campo de la inversión extranjera y de la transferencia de tecnología debe ser cuidadosamente considerada desde el punto de vista de la factibilidad de la estrategia. La adquisición de tecnologías en el exterior ha de ser vista como un mecanismo que, bien usado, puede y debe servir para el desarrollo de capacidades endógenas. Adicionalmente, tales opciones deben ser pensadas también en términos de los acuerdos a que se puede llegar entre los mismos países subdesarrollados. Esto último resulta crucial.

INTRODUCCION

Desde hace unos diez años, se viene conformando un conjunto de nuevas tecnologías, identificadas genéricamente con el término de biotecnología, las cuales, según todas las evidencias, transformarán a mediano plazo la industria, tanto de los países avanzados como del Tercer Mundo. Desde el punto de vista de estos últimos, resulta de gran importancia indagar cuáles son sus características, cuáles las de la industria que genera, qué repercusiones tendrán en el comercio internacional, hasta qué punto y dentro de qué condiciones es posible acceder a ellas. Temas como éstos son los que aborda el presente texto.

En el segundo capítulo, se describe lo que es la biotecnología y se muestran cuáles son sus principales campos de aplicación; y en el tercero se presenta una panorámica general sobre la evolución de la bioindustrialización. A partir de estos precedentes, en el cuarto capítulo se ensaya una interpretación teórica, a través de la cual se presenta a la biotecnología como un nuevo paradigma tecnológico en ciernes y a la bioindustria como una industria naciente, fuertemente vinculada con una estructura industrial madura. En el quinto capítulo, se muestran algunos criterios para diseñar una estrategia dirigida al desarrollo de la bioindustria en los países de América Latina y el Caribe (ALC).

Finalmente, cabe hacer una aclaración: el documento es de carácter general, aun cuando en varios de sus pasajes se alude a la agricultura y a la agroindustria, dado el especial interés del IICA. Si se desea relacionarlo con algún sector específico de la bioindustria, habrá que hacer la "traducción" y el "aterrizaje" correspondiente.

2

LA BIOTECNOLOGIA

La biotecnología puede ser definida como un conjunto de técnicas que permiten la utilización de seres vivos (microorganismos, células vegetales y animales, etc.), con propósitos industriales y comerciales. Algunas de estas técnicas se conocen desde hace mucho tiempo (la fermentación y la enzimología, por ejemplo). Ellas son principalmente el resultado de la experiencia práctica acumulada a lo largo de mucho tiempo y constituyen la llamada biotecnología tradicional. Otro conjunto de técnicas, más eficientes que las anteriores, han sido desarrolladas durante las últimas décadas a partir de avances de la biología celular y de la enzimología y representan la biotecnología moderna. Finalmente, otras técnicas que aparecen a finales de los años setenta –fuertemente basadas en los descubrimientos de la genética molecular y de la inmunología– integran la denominada nueva biotecnología. Esta tiene que ver, fundamentalmente, con la recombinación del ADN y la fusión celular y ha progresado aceleradamente en los últimos años, ampliando en forma notable su campo de aplicaciones. El presente texto se ocupa fundamentalmente de la biotecnología moderna y de la nueva biotecnología, las cuales quedan conceptualmente entendidas como la aplicación de principios científicos y de ingeniería para el procesamiento de materiales, a través de la utilización de agentes vivos y con la finalidad de producir bienes y servicios (OECD 1982).

La distinción entre los tres distintos tipos de técnicas resulta conveniente, aun cuando es preciso señalar que en la práctica puede diluirse, pues las antiguas biotécnicas han evolucionado notablemente gracias a la aplicación e integración de las biotécnicas modernas.

Hoy existe acuerdo en decir que la nueva biotecnología está comenzando a configurar la tercera gran revolución tecnológica del siglo XX, siendo las otras dos la nuclear y la informática. Su rasgo más característico es, sin duda, su fuerte basamento en la ciencia. Las tecnologías básicas que la conforman pueden ser clasificadas alrededor de las siguientes categorías (BID 1988):

- técnicas para el cultivo de células y tejidos;
- procesos biotecnológicos, fundamentalmente de fermentación, y que incluyen la técnica de inmovilización de enzimas;
- técnicas que aplican la microbiología a la selección y el cultivo de células y microorganismos;
- técnicas para la manipulación, modificación y transferencia de material genético (ingeniería genética).

Aún cuando los cuatro grupos se complementan entre sí, hay una diferencia fundamental entre los tres primeros y el cuarto. Aquéllos se basan en el conocimiento de las características y el comportamiento de los seres vivos y en su uso para el logro de ciertos objetivos industriales; el último implica no sólo ese conocimiento, sino la capacidad de manipular los rasgos y el modo de funcionamiento de los microorganismos, también con propósitos

industriales (BID 1988). Es aquí donde más nítidamente aparece la biotecnología como una ruptura notable dentro de la evolución de la tecnología y, sobre todo, como un factor de aumento radical en la potencialidad de sus aplicaciones.

Campos de aplicación de la biotecnología

Los campos de aplicación de la biotecnología son muchos y muy variados: agricultura y ganadería, procesamiento de alimentos, salud, energía, minería, industria química, preservación del ambiente y otros. Hasta el momento, la utilización de las biotécnicas en las áreas mencionadas ha sido bastante reducida. Es en el sector salud, especialmente el área farmacéutica, donde se han producido los mayores avances (insulina, hormonas, interferón, vacunas, antibióticos, etc.).

No obstante, diversos estudios (Sasson 1984; Arroyo y Waissbluth 1988; Quintero 1989) señalan que en el futuro el mayor mercado de productos biotecnológicos será el relacionado con la producción de alimentos, el cual incluye tanto la producción primaria como la agroindustria (en la siguiente página se puede ver una muestra de los avances de la biotecnología alimentaria).

En lo que concierne a la agricultura, las nuevas biotécnicas permitirán –en particular a través de la manipulación genética y del cultivo de tejidos– sustituir el patrón tecnoproductivo de la “revolución verde”, basado en el uso intensivo de fertilizantes y de biocidas, por otro, la biorrevolución, capaz de generar variedades de alto rendimiento pero con un consumo mínimo de agroquímicos. Ahora bien, ésta es sólo una posibilidad fundamentada en el desarrollo tecnológico que, como se verá luego, no tiene que verse expresada necesariamente en el desarrollo industrial.

Tomando en cuenta su potencialidad a mediano y largo plazo, hay cuatro áreas de la biotecnología que tendrán especial relevancia en los sectores agroalimentarios y energéticos (Bye y Mounier 1984):

- La producción de aminoácidos y proteínas de organismos unicelulares que transformará las condiciones de producción de la industria de alimentos para animales. La producción de proteínas de organismos unicelulares se ha desarrollado a partir de derivados de petróleo, etanol y metanol, y ya se encuentran en el mercado algunos productos obtenidos por dicha vía. En esta área debe incluirse también el aprovechamiento de desperdicios, residuos o subproductos de la agricultura y la agroindustria que, a través de tecnologías menos sofisticadas especialmente la fermentación, pueden mejorar sus contenidos proteicos y ser también una fuente importante para la alimentación animal.
- La producción de edulcorantes para sustituir la producción tradicional de azúcar de caña y de la remolacha por nuevos productos generados a partir del almidón, especialmente de maíz, o de otras fuentes como el aspartamo. Estos nuevos productos están siendo utilizados sobre todo por la industria de bebidas gaseosas y son promovidos por algunas ventajas aparentes con respecto al azúcar tradicional: mayor poder endulzador y menor cantidad de calorías.
- La producción de biocarburantes para reemplazar los carburantes provenientes del petróleo. El aumento de los precios del petróleo, en los años setenta, hizo aparecer esta alternativa como de gran atractivo; y el Brasil adelantó un programa de producción de

alcohol a partir de la caña de azúcar que tuvo un enorme impacto en la agricultura y en la industria energética de ese país. Los Estados Unidos hicieron lo mismo, pero a partir del maíz. Sin embargo, la baja en los precios del petróleo ha disminuido el interés por estos programas. La opinión más generalizada hoy en día es que, en el futuro cercano, los biocarburos que son alcoholes obtenidos mediante fermentación de biomasa de origen agrícola tienen pocas posibilidades de imponerse en el mercado, con la excepción del estrecho espacio de los aditivos de octano (Bye y Mounier 1984). Las compañías que dominan el mercado petrolero, y también estas nuevas tecnologías, han demostrado su capacidad de adaptación a las crisis económicas y a las fuertes fluctuaciones del mercado petrolero (Avalos y Martel 1988).

- La introducción de productos bioquímicos que pueden competir exitosamente con los productos de la química orgánica clásica. En tal área se encuentran, por una parte, la alcohó-química, basada en el etanol obtenido por la fermentación de biomasa de origen agrícola, capaz de competir con la química de los grandes intermediarios (etileno, polietileno, etc.), originada en materias primas de origen fósil (petróleo, gas, carbón); y por otra parte, la sucro-química, cuya principal materia prima la constituyen los azúcares (glúcidos), alternativa biotécnica a la química de las especialidades (solventes, ácidos orgánicos y otros).

En estas cuatro áreas, la biotecnología va a ser determinante para viabilizar las alternativas posibles que, indudablemente, tienen el potencial de revolucionar profundamente las industrias relacionadas. Las dos primeras pertenecen al sistema agroalimentario y las dos últimas al sistema energético-químico, pero ambas utilizan biomasa como materia prima. Por lo tanto, las cuatro áreas de una u otra manera y con distintos grados de intensidad, están vinculadas al circuito agroalimentario.

Las técnicas utilizadas en la agricultura y la agroindustria

De las cuatro técnicas principales utilizadas por la biotecnología, tres son de amplia aplicación en la agroindustria (recombinación genética, fermentación e ingeniería enzimática) y la cuarta (el cultivo de células y tejidos para la selección, mejoramiento y reproducción de plantas en el laboratorio), de gran importancia en la agricultura y por lo tanto en el circuito agroalimentario y en la producción de materias primas adaptadas a las necesidades de la agroindustria. Un buen ejemplo de esto lo constituye la necesidad que tiene la industria procesadora de tomates de trabajar con una materia prima de bajo contenido de agua, ya que esto aumenta su rendimiento y disminuye los costos del procesamiento. Esto ha llevado a las procesadoras de tomates a promover la investigación para obtener, utilizando la recombinación genética y el cultivo de tejidos, variedades de tomate de bajo contenido de agua.

Entre las técnicas mencionadas, las que tienen una mayor presencia en la agroindustria de nuestros días son las formas de fermentación avanzadas y la utilización de enzimas (en cuyo desarrollo puede intervenir también la recombinación genética). La utilización de enzimas en la industria procesadora de alimentos permite ampliar el campo de las materias primas, ya que las enzimas pueden transformar las características naturales de éstas en función de las necesidades de la industria y reducir la cantidad de energía necesaria para el procesamiento, todo lo cual disminuye los costos y mejora los procesos de producción.

La actividad de las enzimas depende de la secuencia de los aminoácidos que las integran. Con algunas excepciones, como la papaína que se extrae de la papaya (lechosa) y sirve para

Cuadro 1. Fechas estimadas de avances en biotecnología alimentaria.

Producto	Fechas de disponibilidad	
	Técnicamente	Comercialmente
Detección de contaminantes orgánicos, microbianos y otras toxinas en alimentos	1987	1989
Plantas resistentes a plagas	1987	1992
Nuevos/mejorados saborizantes y fragancias	1988	1991
Crecimiento, nutrición y reproducción de animales productores de carne y alimentos	1988	1991
Mejoramiento genético de animales productores de carne y alimento	1988	1993-1996
Plantas resistentes a herbicidas	1987	1991
Mejoramiento en el contenido nutricional de plantas	1988	1991
Aumento de rendimiento y características de procesamiento de plantas (alimento)	1988	1991
Aumento en la variedad y calidad de plantas (alimento)	1988	1991
Nuevos edulcorantes	1987	1991

Fuente: Quintero 1989.

ablandar la carne, casi todas las enzimas que se emplean en los procedimientos industriales y semi-industriales son de origen microbiano y cuatro de ellas se producen en gran escala: las proteasas, la amilasa, la glucoamilasa y la glucosa isomerasa. Estas enzimas se utilizan, entre otras cosas, para degradar el almidón, la fabricación de zumos de frutas, del pan, la leche, la cerveza, el vino y los detergentes (Sasson 1984).

En síntesis, pues, la biotecnología ofrece la posibilidad de incrementar la producción agrícola y agroindustrial, pero su impacto cualitativo será aún mayor. Ya se observó, en efecto, cómo se generan nuevos procesos para la producción de bienes y servicios tradicionales, con mercados ya establecidos y organizados (en tal sentido, la insulina, el aceite de palma y los edulcorantes generados a partir de biotécnicas son claramente ilustrativos). Hay, asimismo, un enorme potencial para la creación de productos completamente nuevos. Para algunos autores (George 1984), los alimentos del futuro serán "fabricated food", elaborados no de materias primas de origen animal o vegetal *per se* sino a partir de sus elementos constitutivos, los que se combinarán para elaborar nuevos productos (por ejemplo, en vez de leche, caseína y lactosa). Según esta visión, pronto será más apropiado hablar de dos industrias: *food extraction* y *food recomposition*. La primera separaría las proteínas, almidones, azúcares, sabores y *tutti quanti*; la segunda los combinaría de nuevo

-purificados, estabilizados y tal vez biológicamente modificados- para convertirlos en nuevos "alimentos" u "objetos comestibles" Esto implicará nuevas y más grandes exigencias de calidad (mejoras en el gusto de los alimentos, menos ingredientes químicos, más producción según especificaciones, "productos a la medida del consumidor".

Otros autores sostienen, por el contrario, que los consumidores serán reacios a consumir este tipo de productos, dadas las características de las materias primas y los procesos empleados; y que, por lo tanto, el mejor destino de los nuevos productos estará en el mercado intermedio, es decir, en su papel de ingredientes para elaborar productos finales y, por supuesto, en la alimentación animal. En cualquier caso, hay una industrialización intensiva de todos los aspectos ligados con la producción de alimentos.

Hasta ahora, sin embargo, la difusión de la biotecnología ha sido muy lenta. Como consecuencia de la incertidumbre técnica y la de mercado, los problemas legales vinculados con la propiedad sobre el conocimiento y las diversas regulaciones ponen en cuarentena una buena parte de los resultados obtenidos en los laboratorios, antes de ser autorizados para su uso comercial (un caso típico es el de las hormonas de crecimiento para animales). A lo anterior podrían sumarse, en muchas situaciones, los intereses de las grandes compañías multinacionales conectadas con el negocio de la biotecnología. Obviamente, en varias áreas de la biotecnología, las orientaciones de la innovación y el momento de su aplicación se hallan fuertemente influidos por tales intereses. Un ejemplo, muy citado, es el de la investigación sobre nuevas variedades de plantas resistentes a los herbicidas, llevada a cabo o controlada por las mismas empresas que venden estos agroquímicos. En el mismo sentido, cabe mencionar el desarrollo de los edulcorantes producidos a partir del maíz, cuyo objetivo fue reducir las importaciones de azúcar de caña de los Estados Unidos. Ambos casos contrastan con el menor desarrollo de proteínas a partir de derivados de petróleo o de residuos agrícolas o agroindustriales, a través de los cuales muchos países podrían reducir sus importaciones de soya, el principal ingrediente proteico de la alimentación animal, alrededor del cual están organizados fuertes intereses comerciales, sobre todo norteamericanos (Avalos y Martel 1988).

LA BIOINDUSTRIALIZACION

Se discute si la biotecnología dará origen a una nueva industria, tal y como lo hizo la microelectrónica. Por ahora es difícil dar una respuesta más o menos terminante. No hay una situación definida ya que, según se tratará en este capítulo, todavía no hay una base científica sólida, no existe un paradigma tecnológico consolidado y la biotecnología se está difundiendo de una manera relativamente lenta. Lo que sí parece claro es que, al menos en los próximos años, un número creciente de empresas ya existentes en sectores como el farmacéutico, el químico y el agroindustrial, adquirirán capacidades biotecnológicas, con lo cual variarán sus formas de producción y sus esquemas de relación con los mercados, aprovechando la versatilidad y la amplia gama de aplicaciones de las biotécnicas.

Visto lo anterior, en el texto se hará referencia al proceso de bioindustrialización para designar la presencia de la biotecnología en diferentes áreas industriales. Se considera que con este término se registra con mayor fidelidad lo que actualmente está ocurriendo. Sin embargo, dado que es de uso corriente, por comodidad, se empleará en ocasiones el de bioindustria, pero con el mismo significado antes anotado.

En rigor, puede decirse que el proceso de bioindustrialización comenzó en el año 1976, con la constitución de la primera empresa de biotecnología, tres años después de la reproducción, por primera vez, de un gen. Desde entonces para acá, este proceso se ha venido desarrollando con cierta fuerza, movilizándolo grandes, medianas y pequeñas empresas, laboratorios universitarios, del sector público y del sector privado, proveedores de equipos y de materias primas, instituciones financieras y entes gubernamentales de regulación.

Principales rasgos de la bioindustrialización

La literatura especializada describe la bioindustrialización a través de varios rasgos que interesa examinar, observando principalmente cuán universales pueden ser, lo cual importa a la hora de pensar en el diseño de estrategias en los países de la región. Dado que han sido tratados en diversas publicaciones, se los expondrá de manera muy breve.

La bioindustrialización como un proceso intensivo en ciencia

Con esto se alude a una actividad industrial que se apoya, en gran medida, en la utilización de conocimientos producidos por avances científicos recientes. La recombinación del ADN, la fusión celular y las demás técnicas de punta emergieron del laboratorio y posibilitaron la creación de empresas que se caracterizan, entre otras cosas, por la nutrida participación de personal de alto nivel científico. Pareciera pues muy clara la "internalización" de la ciencia en esta industria, tal y como lo señala Stankiewicz (1982); y pareciera inobjetable, entonces, una conclusión esencial para el diseño de políticas: la capacidad científica, esto es, el dominio del cuerpo básico de conocimientos que fundamenta la biotecnología, es una condición de especial importancia –aunque no suficiente– para su desarrollo.

Papel de las universidades

En relación con lo anterior, y como su complemento, se ha señalado entre los rasgos de la bioindustria su estrecha vinculación con las universidades. En efecto, a diferencia de lo que ocurrió en la industria electrónica –en la que las principales innovaciones radicales, desde el transistor en adelante, han tenido lugar en las empresas–, en el caso de la biotecnología las innovaciones se han llevado a cabo hasta ahora en las universidades, particularmente en los laboratorios más comprometidos con la investigación básica. A la vez, los resultados obtenidos a partir de ella han dado pie al desarrollo de un conjunto de informaciones, las cuales han adquirido, con relativa rapidez un enorme valor comercial¹. Ambas circunstancias han servido para que las universidades participen dentro de una trama muy cerrada de relaciones con las empresas (Cuadro 2) y que tengan que ser consideradas, sobre todo en Estados Unidos e Inglaterra, como uno de los actores primordiales en la aparición y evolución de la bioindustria, al extremo de que un autor ha hablado de la existencia de un complejo académico-industrial (Kenney, en Buttel 1986).

Los acuerdos entre las universidades y las empresas han sido numerosos desde los inicios de la bioindustria, adoptando una gama bastante amplia de formas. Entre éstas cabe citar, a modo de ejemplo, las siguientes:

- la contratación de los servicios individuales de algunos profesores;
- la contratación de determinadas investigaciones;
- la explotación conjunta de patentes;
- la firma de contratos de licencia para el uso de patentes de las universidades;
- la constitución de empresas conjuntas;
- los subsidios por parte de las empresas.

Las modalidades enunciadas y otras, que de alguna manera combinan algunas de las que figuran aquí, han regido las relaciones de los laboratorios universitarios, tanto con las pequeñas y medianas empresas de biotecnología (Celltech, Genentech, Biogen y otras) como con las grandes compañías trasnacionales.

De hecho, pues, en Estados Unidos, cerca de la mitad de las empresas ligadas a las actividades de investigación y desarrollo en el campo de la biotecnología, tienen algún tipo de vínculo con las universidades. Asimismo, una cuarta parte del financiamiento de que disponen estas últimas para dichas actividades proviene del sector privado. Pero la vinculación no termina allí. En una muestra de 291 firmas de biotecnología, se encontró que 362 científicos eran consejeros o asesores y que, de estos, 64 eran miembros de la Academia Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, mientras 48 servían como asesores en los comités del Instituto Nacional de Salud Pública (Dembo y Morehouse 1987).

El papel de las universidades en el desarrollo de la biotecnología ha sido menos relevante en otros países (Japón y los países europeos con la excepción de Inglaterra). Por otra parte, hay que preguntar si el papel de las universidades se explica sobre todo por la novedad de la biotecnología. Se podría sugerir como hipótesis de trabajo que el proceso de maduración tecnológica va a poner la clave en el dominio de ciertas capacidades de manufactura y de

¹ Esto no debe inducir a pensar que la sola capacidad científica basta para que se generen las innovaciones. Como se verá más adelante, uno de los problemas que confronta la difusión de las biotecnologías reside en la carencia de otras capacidades, imprescindibles para convertir los resultados de laboratorio en productos de uso industrial.

Cuadro 2. Resumen de convenios de investigación celebrados entre la industria y las universidades.

Año	Universidad	Empresa	Monto (millones US\$)	Duración (años)	Investigador	Area
1974	Harvard Medical School	Monsanto	23.5	12	M. Folkman B. Vallee	Cáncer
1980	Massachusetts Institute of Technology	Exxon	3.0	10	J. Longwell	Combustible
1981	Massachusetts General Hospital	Hoechst	70.0	10	H. Goodman	Genética
1981	Harvard Medical School	Du Pont	6.0	5	P. Leder	Genética
1981	University of California, Davis	Allied Corp.	2.5	3	R. Valentino	Fijación de nitrógeno
1981	Scripps Clinic and Research Foundation	Johnson & Johnson	30.0			Vacunas sintéticas
1981	Washington University	Mallinkrodt	3.8	5	J. Davie	Hibridomas
1981	Yale University	Celanese	1.1	3	N. Ornston	Enzimas
1982	Johns Hopkins University	Johnson & Johnson	1.0			Biología
1982	Rockefeller University	Monsanto	4.0	5	N. Chua	Fotosíntesis
1982	Washington University	Monsanto	23.5	5		Biomedicina
1982	Massachusetts Institute of Technology	W.R. Grace	8.0	5	P. Thilly	Aminoácidos
1982	Yale	Bristol-Myers	3.0	5		Drogas anticancerosas
1982	Cold Spring Harbor	Exxon	7.5	5		Genética molecular
1983	University of Rochester	Kodak	0.45			DNA
1983	Medical University, South Carolina	Chitagai	0.5	3	A. Strelkauskas	Anticuerpos monoclonales
1983	University of Illinois	Sohio	2.0	5		Genética de planta
1983	Columbia University	Bristol-Myers	2.3	6	A. Efstratiadis	Estructura genética

Fuente: Kenney 1986. In De Janvry *et al.* 1987.

comercialización, con lo cual las capacidades científicas obtenidas por las empresas gracias a su relación con el mundo académico, van a perder importancia relativa (aun cuando ello no quiere decir, ni mucho menos, que dejarán de tenerla). Habría que sumar, además, la circunstancia de que progresivamente las empresas, sobre todo las más grandes, comienzan a crear sus propios laboratorios. Siendo esto así, una conclusión posible es que la investigación universitaria, aun la ligada al medio productivo, verá reducido a un rol complementario (aunque significativo) su desempeño con respecto al desarrollo de la bioindustria (Avalos y Martel 1988).

Estos dos primeros rasgos del proceso de bioindustrialización deben evaluarse cuidadosamente. En particular, hay que poner de relieve el hecho de que la estrecha vinculación con la ciencia y el rol tan importante de las universidades se deben a que estamos ante el nacimiento de un nuevo paradigma tecnológico, lo cual significa, en otras palabras, que uno y otro rasgo perderán fuerza, conforme el paradigma madure y el progreso tecnoindustrial comience a darse dentro de los límites de las "trayectorias naturales" determinadas por las mismas tecnologías. Esta hipótesis será retomada más adelante.

La convergencia de las biotécnicas

En la mayor parte de las industrias existentes, el proceso de producción se halla fuertemente asociado con las características del producto final. La tecnología de diseño juega, por tanto, un papel crucial y condiciona en buena medida la tecnología de proceso, la cual cambia como respuesta a las transformaciones de aquélla. La bioindustria plantea una situación diferente, ya que está dominada por las tecnologías de proceso, que se apoyan primordialmente en una base común constituida por la biología molecular y la bioquímica. Esto significa que, a partir de un sistema común de conocimientos y de pocas tecnologías, se puede elaborar una gama variada de productos finales destinados a diferentes mercados. Tal rasgo evidencia, en síntesis, una relación distinta de la que muestran otras industrias entre la demanda, las características del producto y la tecnología. A través de su versatilidad, las biotécnicas borran los límites tecnológicos entre sectores (agricultura, energía, química, farmacia, alimentos) que antes podían diferenciarse con bastante nitidez, lo cual ayuda a entender la participación, en su desarrollo, de empresas provenientes de muy diferentes industrias. Ello se observa claramente, por ejemplo, en el hecho de que un buen número de los desarrollos de la biotecnología relacionados con el sector alimenticio pueden considerarse como *spin-offs* del sector farmacéutico.

Por otro lado, la biotecnología representa también el punto de encuentro de diversas disciplinas que enlazan diferentes campos de las ciencias y de la ingeniería. Este es un aspecto importante que debería ser tomado en cuenta en la elaboración de estrategias, tal y como se verá en otra parte del texto.

Participación del sector privado

En lo que concierne a la biotecnología, la porción del conocimiento creada por entes gubernamentales o universitarios, y divulgada libremente, tiende a reducirse. A través de un régimen que progresivamente ha ido aumentando el grado de apropiación sobre las biotécnicas, la empresa privada está pasando a controlar una buena parte de los conocimientos generados por las universidades y laboratorios del sector público, esto es, conocimientos que –sobre todo en el sector agrícola– solían ser de carácter público.

La apropiación privada del conocimiento en biotecnología se está dando por la vía de una serie de arreglos institucionales que no eran frecuentes, ni mucho menos, en la actividad agrícola. En efecto, además de sus nexos con las universidades, la empresa privada viene haciendo uso de mecanismos que incluyen una estrecha y diversa vinculación con el sector público. Uno de ellos consiste en la realización de investigaciones conjuntas con entes gubernamentales, lo cual es común en países que han tomado el desarrollo de la biotecnología como una pieza clave dentro de su estrategia económica; y, también, en el financiamiento de empresas de biotecnología por parte de instituciones estatales, como es el caso de algunas de las empresas más conocidas: Celltech en Inglaterra, Transgen en Francia, Allelix en Canadá (De Janvry *et al.* 1987). Otros contemplan la adopción de diversas medidas (subsidios directos, exoneraciones fiscales y demás), a través de las que el aparato estatal trata de estimular el desarrollo de la bioindustria privada. Además de lo anterior, el Estado financia buena parte de la investigación básica, de la cual surgen tecnologías genéricas que de una o otra manera quedan disponibles para la empresa.

Es fácil percibir un cuadro de creciente apropiación del conocimiento, del que no queda del todo excluida ni siquiera la ciencia básica, cuadro que adquiere su último trazo con el hecho de que las empresas, sobre todo las grandes, están llevando a cabo sus propias actividades de I y D. Datos recientes revelan que, en Estados Unidos, el gasto destinado por la industria a la investigación biotecnológica supera abiertamente al efectuado por el sector público, y que en el Japón esa superioridad es aún más evidente. El caso particular de la biotecnología confirma así un proceso de privatización generalizado que, si algo tiene de novedoso, es su extensión hacia el campo de las ciencias biológicas, hasta ahora mucho menos integradas al proceso productivo que otras ciencias (piénsese, por ejemplo, en la física del estado sólido, en la química).

Lo señalado tiene mucho que ver con las modificaciones que se vienen sucediendo en el sistema legal con respecto a la protección de los resultados obtenidos por la biotecnología.

En todos estos años, el debate acerca de si se puede o no patentar y si conviene o no hacerlo se ha dado en torno a varias y bastante disímiles perspectivas. Desde el lado de la ética, la controversia estriba en si es posible ejercer el derecho de propiedad sobre la vida, pues no otra cosa es el resultado obtenido a través de la manipulación de los genes. En el terreno jurídico, la polémica más importante se plantea entre aquéllos que sostienen que, de la actividad realizada en el campo de la biotecnología, resultan descubrimientos (el científico revela algo que de antemano existía en la naturaleza), los cuales no pueden patentarse; y aquéllos que, por el contrario, argumentan que se trata de invenciones (el científico crea algo que previamente no existía), las que sí pueden serlo. Adicionalmente, y en un plano mucho más práctico, el proceso para patentar seres vivos ha probado ser bastante dificultoso; entre otras razones, porque resulta difícil establecer hasta qué punto el proceso utilizado (y hasta el producto obtenido) es distinto de otro.

Otro punto, sobre el que no existe uniformidad de pareceres, es el relacionado con la aplicación del criterio de novedad (¿es algo nuevo una enzima?), requerido por todas las legislaciones como requisito para el otorgamiento de una patente. Igualmente, no se ha avanzado mucho sobre aspectos tales como el número y la amplitud de las reivindicaciones, la novedad industrial y, sobre todo, la vida útil de la patente y los detalles de la memoria descriptiva. El Convenio de Budapest, que establece la norma del depósito previo de microorganismos, es sólo una solución a medias porque (BID 1988):

- se elevan los costos de las patentes;
- introduce un nuevo elemento de disputa: si una persona tiene acceso al microorganismo, prácticamente tiene acceso a la innovación tecnológica;

- no deja en claro cómo garantizar que, en el período de vida de la patente, los microorganismos en depósito se mantengan en estado original.

Sólo 15 países han firmado el Convenio, y los institutos depositarios de los microorganismos son pocos y están localizados en los países desarrollados.

Con respecto a la duración de la patente, hay discrepancia en relación con distintos aspectos. Uno de ellos se refiere al período de gracia. De acuerdo con la ley vigente en algunos países, el inventor dispone de un cierto período de tiempo dentro del cual puede intentar el registro de una patente, aun cuando previamente haya divulgado el conocimiento y, por tanto, incumpla el requisito de novedad exigido para poder hacerlo. Dada la cercanía entre la biotecnología y la investigación académica, a la cual es consustancial la publicación de resultados, se considera necesario que el inventor en esta área pueda gozar de un período de gracia no menor de seis meses.

Otro aspecto en el que existe discrepancia tiene que ver con el tiempo relativamente largo que toman los procedimientos exigidos para el registro de una patente en el área de la biotecnología, y con las regulaciones que demoran la aplicación industrial del invento ya patentado, factores que han llevado a sostener la necesidad de alargar el período de protección por encima del que existe en otros sectores.

La controversia en torno a la protección de las biotecnologías ha llevado, incluso, a plantear si es el régimen de propiedad industrial o el de propiedad intelectual el más idóneo para darle debido resguardo a los resultados. La primera alternativa es ciertamente la que cuenta con más apoyo, pero la segunda no deja de representar un punto de vista muy interesante. Kayton (1983), por ejemplo, sostiene que bajo el sistema del *copyright* la protección es más adecuada y efectiva y que la misma está teóricamente justificada, dado que la manipulación genética realizada sobre células puede perfectamente equipararse al trabajo literario. Al igual que éste, el trabajo genético queda escrito en un medio tangible de expresión (la célula).

Pese a los inconvenientes mencionados y a la diversidad de puntos de vista existentes sobre la materia, la transformación de los sistemas legales de protección, en particular en los países avanzados, se mueve en la dirección de garantizar la propiedad sobre las diversas formas de conocimiento y de las aplicaciones surgidas de la biotecnología. La promulgación, en 1970, de la Ley de Protección de Variedades Vegetales, por parte del Congreso norteamericano, representa sin duda un hito en la evolución de los sistemas de propiedad legal en lo que respecta a patentar biotecnología; aun cuando, con la velocidad en la transformación de los sistemas legales, dentro de poco será visto como un dato de la prehistoria de la biotecnología. Más recientemente, en los Estados Unidos, se han tomado tres decisiones que tienen todavía mayor trascendencia. La primera es la sentencia, en 1980, de la Corte Suprema de Justicia, mediante la que se admitió la concesión de una patente a Ananda Chakrabarty, científico de la General Electric, sobre una bacteria capaz de degradar el petróleo. Otra es la que adoptó la Oficina de Patentes y Marcas en 1985, mediante la cual se acordó la concesión de patentes sobre vegetales diseñados en el laboratorio. La última, en 1987, también de la citada Oficina, admitió el registro de organismos multicelulares de naturaleza animal, desarrollados por la Universidad de Washington, con lo cual se abre de hecho la posibilidad de patentar animales. Aun cuando no tiene que ver exclusivamente con la biotecnología, hay que traer a colación una ley promulgada en el año 1981, en los Estados Unidos, que otorga el derecho de patentar a las pequeñas empresas e instituciones sin fines de lucro que obtengan resultados de investigaciones realizadas con fondos gubernamentales, derecho que acentúa desde luego la privatización del conocimiento científico.

En la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos, en la cual están prácticamente registradas todas las patentes del mundo, se observa, para el año 1986, la existencia de un total acumulado de 595 patentes en ingeniería genética, de las cuales 501 pertenecen a empresas y el resto al sector público y a personas naturales. Cabe destacar, además, que del total general la mayor parte pertenecen a los Estados Unidos (395), figurando el Japón (80) en segundo término, aunque una muestra del empuje japonés en el campo de la biotecnología lo da el hecho de que en la cifra correspondiente a las patentes concedidas en 1986, Estados Unidos tiene 116 y Japón 91 (Cuadro 3).

Resulta forzoso aclarar por último que el sistema legal no es el único y muchas veces ni siquiera el más importante elemento del régimen de apropiación de la tecnología, el que se basará en el futuro, conforme la bioindustria evolucione en otros aspectos. Debe presumirse, entonces, que cada vez más el control de la tecnología se ejercerá por la vía de las capacidades disponibles que se tengan en el área de la manufactura (equipos más o menos especializados, economías de escala), en el área de mercadeo (dominio sobre ciertos circuitos de distribución y venta) y por vía del *know-how* acumulado a lo largo del tiempo, buena parte del cual no está codificado ni es comercializable. Además, por supuesto, de la disponibilidad de recursos financieros que serán requeridos cada vez en mayor cuantía.

Sobre la base de lo expuesto, es posible afirmar que, dado el nivel general de desarrollo tecnológico de los países latinoamericanos y del Caribe, esta vía de protección será mucho más efectiva en su caso que en el de los países avanzados. Para decirlo de otra manera, las barreras a la entrada para aquéllos estriba muchísimo más en la carencia de esas capacidades complementarias y de ese *know-how*, que en las prohibiciones legales que derivan del sistema de patentes y derechos de propiedad intelectual.

Tendencias básicas en el proceso de bioindustrialización

Ya hay algunos datos e informaciones que permiten especular con algún fundamento respecto de este tema. Hacerlo se vuelve imprescindible, si se quieren identificar las oportunidades de entrada existentes para los países subdesarrollados.

El comienzo: las pequeñas empresas norteamericanas

La literatura referida al tema de la biotecnología habla profusamente acerca de la significación de las pequeñas y medianas empresas en el desarrollo de la bioindustrialización norteamericana. Es éste un punto que vale la pena examinar con cierto detenimiento: cuál ha sido, en realidad, la importancia de estas empresas; cuál será en el futuro; hasta qué punto es repetible su experiencia en países que ahora intentan el desarrollo de su bioindustria.

Las pequeñas y medianas empresas comenzaron a aparecer a finales de los años setenta y hoy se calcula que existen más de 500 (Cuadro 4). Sus rasgos esenciales pueden describirse escuetamente así:

- a. En su creación ha resultado clave la participación de personas provenientes de la comunidad académica. Es frecuente encontrar en la junta directiva a uno o dos investigadores, en muchas ocasiones, además, en plan de fundadores, asumiendo el papel del *heroic entrepreneur* schumpeteriano.
- b. Cuentan, dentro de su personal, con una proporción muy alta (cerca de la mitad, o más, del total) de científicos de alto nivel.

Cuadro 3. Patentes mundiales en ingeniería genética registradas en Estados Unidos, 1963-1986.

	1963-1972	1973-1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	Total
Total de patentes	20	72	20	39	110	65	69	84	116	595
Originadas en Estados Unidos	5	32	11	27	70	40	53	66	91	395
Originadas fuera de Estados Unidos	15	40	9	12	40	25	16	18	25	200
Japón	8	9		3	16	12	9	10	13	80
República Federal de Alemania	2	5	1	3	3	3		3	4	24
Francia	1	6	2		4	2	1			16
Reino Unido		2	1		6	2	1	1	4	17
Israel		1	2	1	4	1		1		10
Suiza		4		1		1		1		7
Bélgica		5					1			6
Holanda	1				1	1	2			5
Canadá	1	2			2	1				6
Suecia		2	1		1	1				5
Unión Soviética		1	1	1	1					4
Italia		1		1	1				1	4
Austria		1	1							2
Dinamarca	1			1			1	2	2	7
Finlandia							1		1	2
Hungría				1						1
India		1								1
España					1					1
Bulgaria						1				1
Originadas en Estados Unidos	5	32	11	27	70	40	53	66	91	395
Poseción corporativa	2	31	9	22	57	33	48	62	76	340
Poseción gubernamental	2			2	1	2	4	2	9	23
Poseción individual	1		2	3	11	3	1	2	5	28
Poseción foránea					1	2			1	4
Originadas fuera de Estados Unidos	15	40	9	12	40	25	16	18	25	200
Poseción de Estados Unidos	1	4		1	4		1	2	2	15
Poseción foránea	14	36	9	11	36	25	15	16	23	185
Poseción corporativa	13	34	7	9	28	20	15	15	22	163
Poseción gubernamental					2	1				3
Poseción individual	1	2	2	2	6	4		1	1	19

Fuente: United States Patent and Trademark Office, 1986. Office of Technology Assessment. Technology Profile Report: Genetic Engineering. In United Nations 1988.

Cuadro 4. Selección de algunas compañías independientes de biotecnología en los Estados Unidos.

Nombre	Localización	Fecha de fundación	Total ingresos		Venta producto		Ingreso neto	
			1984	1985	1984	1985	1984	1985
Amgen	California	1980	8.5	19.8	0.5	0.6	-7.5	-1.4
Biogen	Massachusetts	1978	21.4	21.5	0	0	-13.1	-19.1
Biotechnica	Massachusetts	1981	1.4	4.9	0	0	-4.4	-3.0
Colgene	California	1980	1.3	1.5	0	0	-3.5	-4.3
California Biotechnology	California	-	-	-	-	-	-	-
Centocor	Pennsylvania	1979	12.8	22.4	3.2	7.0	0.4	2.0
Cetus	California	1972	59.5	45.9	0	0	0.8	1.5
Chiron	California	1981	7.0	7.8	0	0	-2.4	-3.2
DMAP	New Jersey	1981	3.4	4.5	0	0	-0.7	-0.4
Genentech	California	1976	69.8	89.6	0	5.2	2.7	5.6
Genetics Institute	Massachusetts	1980	14.9	21.3	0	0	0.4	-1.7
Molecular Genetics	Minnesota	1979	9.2	8.3	1.1	1.4	-0.6	-2.5

Fuente: Hambrecht and Quist Company. In Hiraoka 1987. Informe Anual de Compañías. Wall Street Journal 1986.

- c. Aparte de lo anterior, muchas de estas empresas se ubicaron cerca de las universidades, hecho que facilitó enormemente la implantación de relaciones formales e informales, muy fluidas, con ellas.
- d. Han prestado particular atención al desarrollo de capacidades en el área de la bioquímica, con el fin de lograr la producción a escala, requisito fundamental para la comercialización de la tecnología.
- e. En gran parte estas firmas se asemejan más a lo que Sábato llamó **empresas de tecnología** que a empresas industriales. Funcionan, para decirlo con palabras más ingeniosas, como **boutiques de investigación** (George 1984). En parte son administradas como empresas y en parte como laboratorios, conforme lo indica su organización y el perfil de personal que trabaja en ellas, el tipo de instalaciones y, sobre todo, la que es en muchos casos una función primordial dentro de su estrategia: vender conocimientos antes que productos. Con el paso del tiempo, y por razones que se expondrán más adelante, se ha consolidado la tendencia de que las pequeñas empresas de biotecnología suscriban contratos de investigación con las empresas más grandes y deriven de allí una parte fundamental de sus ingresos. Dos cifras sirven para ilustrar lo que se viene diciendo. Para el año 1985, estas empresas obtuvieron US\$250 millones por esta vía, monto mayor al correspondiente a la venta de productos. Asimismo, en 1983 Genentech obtuvo a través de diversos contratos el 88% de sus beneficios, o sea US\$32.6 millones (Texera 1984).
- f. El uso de capital de riesgo es, por último, una característica de enorme importancia dentro del perfil básico de estas jóvenes y pequeñas empresas. Tratándose de empresas que invierten sumas de dinero relativamente significativas en actividades que implican

riesgos económicos muy altos, su financiamiento a través de capitales de riesgo resultó un factor clave y, dentro del contexto de la economía norteamericana, casi natural. Así, a través del mercado de capitales, una apreciable inversión privada se hizo presente en estas firmas, cosa que difícilmente hubiese podido ocurrir a través de operaciones de crédito normal suscritas con la banca. Para mediados del año 1985, los recursos así obtenidos sobrepasaron ligeramente los US\$2 500 millones, a partir de las siguientes fuentes: fondos de pensión (34.1%); empresas no norteamericanas (18.0%); empresas norteamericanas, sobre todo las mayores (14.5%); individuos y familias (14.7%); compañías de seguro (13.1%) y recursos provenientes de donaciones y fundaciones (5.6%) (Hiraoka 1987).

Ante la presencia y el vigor de las pequeñas firmas de biotecnología, se llegó a pensar en la posibilidad de que se conformara una industria nueva, estructurada sobre bases distintas de aquéllas que han provocado los grandes niveles de concentración que ostentan la mayoría de las industrias norteamericanas. Muchos llegaron a creer probable el surgimiento de una industria dominada por numerosas empresas pequeñas y medianas, compitiendo de manera abierta en un mercado que principalmente exigiría una alta capacidad innovadora. Entre ellos el presidente de Cetus, una de las firmas más conocidas en el área de la ingeniería genética, quien en 1979 vaticinó, que un buen número de gigantes dormidos serían eliminados.

No obstante, muy rápidamente los hechos le han quitado todo asidero a ese pronóstico. El *crash* de la bolsa de valores de Nueva York puso al descubierto, según algunos autores, la verdadera entidad de estas empresas: sus acciones disminuyeron en un 50%, acelerándose su vinculación con las grandes empresas. En general, todo indica que las pequeñas empresas tienden a disminuir su papel protagónico e incluso muchas de ellas han comenzado a desaparecer: de las 150 empresas de biotecnología norteamericanas existentes hasta 1985, es posible que no sobreviva, en una forma reconocible, más del 10% (BID 1988).

A medida que la industria evoluciona, aparecen nuevas exigencias que las pequeñas empresas de biotecnología difícilmente pueden superar con su sola capacidad inventiva. Se hacen imprescindibles otras capacidades, para poder reducir costos a través del logro de ciertas economías de escala y para acceder a los mercados. Cada día son más numerosas las evidencias que muestran a estas empresas en diversas combinaciones con las empresas grandes, con el fin de acceder a esas otras capacidades. Como ilustración, se ofrece en el Cuadro 5 el caso de la empresa Genentech. Vayan como ejemplo los siguientes casos:

- El 60% de las acciones de Cetus están en manos de la Standard Oil de Indiana, la Standard Oil de California y la National Distillers & Chemical Corporation; adicionalmente, la Shell Oil ha comprometido con Cetus US\$40 millones para la producción de interferón (Texera 1984).
- El 20% de las acciones de Genentech son de Lubrizol y un porcentaje ligeramente mayor de Monsanto. Ambas empresas aportaron además US\$55.6 millones para financiar proyectos que se llevarán a cabo en cinco años y cuyo objetivo es producir una hormona contra el enanismo y gamma interferón. Genentech tiene también contratos de investigación y desarrollo con la empresa sueca Kabi Vitrum para producir hormonas de crecimiento; contratos de cooperación industrial con Eli Lilly para obtener insulina; con Hoffman La Roche, Monsanto y la firma japonesa Takeda para producir nutrientes animales (Texera 1984). Vale la pena mencionar también que Genentech tiene un contrato de licencia con CIBA-Geigy (Suiza) por US\$2 millones.

Cuadro 5. Convenios de investigación de Genentech con corporaciones multinacionales 1982.

Producto	Corporación Multinacional	Origen	Tipo de contrato	Costo
Insulina	Lily	Estados Unidos	Exclusivo (mundial)	Royalties
Hormona de crecimiento	Kabi-Vitrum	Suecia	Exclusivo (excepto EUA)	Royalties
Interferón	Hoffmann-La Roche	Suiza	Exclusivo	Royalties, derecho de suministro
Interferón	Daiichi Seiyaku Toray industries	Japón Japón	Exclusivo (excepto EUA)	Royalties, derecho de suministro
Hormona de crecimiento bovina	Monsanto	Estados Unidos	Exclusivo (mundial)	Royalties
Cultivo de tejido	Mitsubishi Kyowa Hakko	Japón Japón	Exclusivo (Japón)	Royalties
Albúmina humana	Mitsubishi	Japón	Exclusivo (Japón)	Royalties
Interferón bovino	Granada	Estados Unidos	Exclusivo	US\$20 millones

Fuente: Kenney 1986. In De Janvry *et al.* 1987.

- Genex, otra pequeña firma norteamericana, cuenta entre sus accionistas a Monsanto y a Emerson Electric y ha suscrito contratos con Green Cross Co. para producir albúmina de suero humano recombinado, con Mitsui Toatsu para producir urokinasa recombinada y con Bristol Myers para producir interferón (Texera 1984).
- Syntex Corporation participa con US\$40 millones en la propiedad de Genetic Systems y contribuirá con US\$20 millones adicionales para desarrollar un programa conjunto de investigación en el área de diagnósticos de enfermedades infecciosas.

Los casos anteriores no son, en fin, sino una pequeña muestra de lo que está ocurriendo. El *modus operandi* japonés, como se verá más adelante, revela con mayor claridad aún la tendencia hacia una creciente vinculación de estas empresas con las grandes firmas multinacionales.

Como parte del panorama descrito, vale la pena añadir una última referencia: las dificultades en el financiamiento. Por su misma naturaleza, el capital de riesgo de origen privado es, como fuente de recursos, muy volátil. Las pequeñas empresas de biotecnología

son testigo de ello. En 1982 las inversiones alcanzaron la cifra de US\$332.6 millones subiendo hasta US\$849.5 al año siguiente, para caer abruptamente a US\$327.8 en 1984 y a US\$200 millones en 1985 (Hiraoka 1987). Hoy en día el financiamiento por esta vía se ha puesto difícil y el acceso a la banca sólo resulta posible para las pequeñas empresas más consolidadas, en buena parte gracias a sus nexos con las transnacionales. Tal es el caso de Genentech, Cetus y Biogen, entre otras (no muchas) empresas.

En conclusión, a medida que progrese la bioindustrialización, a las empresas de menor tamaño se les hará más difícil la entrada en ciertos espacios del negocio, en los cuales dominan las de mayor envergadura. El control que comienzan a ejercer estas últimas se explica no sólo por sus fuertes inversiones en I y D, sino porque están en condiciones de sacar provecho de ciertas "viejas" capacidades, asociadas con el paradigma tecnológico reemplazado, pero complementarias de las capacidades exigidas para el desarrollo y explotación de la biotecnología.

Así, las firmas pequeñas parecieran estar engranando, poco a poco, en una división del trabajo dentro de la que les corresponde desempeñar funciones que se avienen a los intereses de las más grandes. Siendo ésta la tendencia general, es importante destacar que se trata de eso, de una tendencia general, lo cual significa que hay ciertos grados de libertad dentro de los que es posible contradecirla. Este punto es considerado posteriormente.

El caso japonés

La bioindustria ha seguido en el Japón un camino diferente al norteamericano y al británico. La ausencia de un mercado de capitales de riesgo y la rigidez de la estructura universitaria, con la consecuente dificultad para su vinculación con el sector productivo, y más aún para que los profesores pudieran hacerse empresarios, ayudan a explicar la presencia de un patrón diferente para la bioindustria japonesa, el cual representa una vía que se parece mucho a la que va a tomar de manera definitiva el proceso de bioindustrialización de los próximos años.

En el surgimiento de la biotecnología en el Japón, las grandes empresas de los sectores químico, farmacéutico y alimentario han sido las protagonistas fundamentales. Aunque en algunos casos ello pudiera traducirse en una menor flexibilidad organizativa y, en consecuencia, una menor propensión a innovar, se ve ampliamente compensada por la posibilidad de disponer de grandes recursos para desarrollar y mercadear nuevos productos. En el mismo sentido, la capacidad financiera les ha servido para poner en marcha su ya clásica política de buscar por diversos medios la tecnología disponible en el mundo. Así, en el National Institute of Health, en Maryland, principal centro de investigación biomédica en el mundo, hay 311 investigadores japoneses; igualmente, entre 1980 y 1983, las compañías japonesas suscribieron la asombrosa cantidad de 188 acuerdos de colaboración con las pequeñas empresas de biotecnología americanas (Fortune 1988) y entre 1984 y 1986, de las 74 empresas mixtas constituidas entre estas últimas y diversas empresas extranjeras, 31 fueron con firmas niponas (Hiraoka 1987). Además, hoy en día Japón invierte enormes recursos para fortalecer su propia capacidad de investigación, recursos que, aunque provienen sobre todo del sector privado, son orientados mediante efectivos esquemas de concertación gestados desde el Ministerio de Industria y Comercio (MITI). Una muestra del empuje y éxito de esta acción se expresa en el número creciente de patentes de propiedad japonesa, según se observó en las cifras ya mencionadas.

En resumen, si bien Japón y sus empresas no destacaban por su fortaleza en algunas ciencias básicas (biología molecular, bioquímica genética), supieron compensar esta circunstancia con su capacidad en el área de bioprocesamiento. Los japoneses son considerados los líderes mundiales en la tecnología de la fermentación, la cual constituye un factor crítico en la manufactura en gran escala de productos de ADN recombinante. Habiendo arrancado un poco más tarde que los norteamericanos, los japoneses están sacando provecho de las ventajas derivadas de los cambios que se vienen operando en el ciclo de vida de la biotecnología. Al moverse ésta del laboratorio a la producción comercial en gran escala, lo que ocurre en algunas de las áreas de la biotecnología, han podido apoyarse en sus capacidades en el campo del diseño de ingeniería y de operación de plantas industriales y remediar su retraso relativo en el campo de las ciencias básicas (Hiraoka 1987).

Adicionalmente, debe llamarse la atención sobre las capacidades de la industria japonesa en lo que concierne a mercadeo, distribución y financiamiento, lo que ayuda a explicar por qué este país ha podido participar de manera tan exitosa en algunos campos de la biotecnología. El caso japonés enseña, con bastante fuerza, que no hay que exagerar en la percepción de oportunidades para la entrada en una industria cuando hay cambio de paradigma tecnológico. Si bien es cierto que puede haber algún ensanchamiento de los espacios, igualmente lo es que una cierta continuidad del progreso técnico (y por ende las complementariedades entre el sistema tecnológico viejo y el nuevo) puede hacer que los "ganadores" sean los de siempre. En otras partes del texto se regresa a esta afirmación, cuyas implicaciones son de mucha envergadura para el diseño de estrategias en los países subdesarrollados.

Las grandes empresas

Las firmas de diversos sectores –farmacéuticas, químicas, petroleras, alimenticias, electrónicas– se han visto fuertemente atraídas por la biotecnología. En el directorio anual de las 500 más grandes compañías norteamericanas, publicado por la revista Fortune, 72 de ellas tenían intereses activos en biotecnología ya en 1982 (Goodman, Sorj y Wilkinson 1987).

Las grandes empresas fundamentan sus ventajas en el desarrollo de capacidades en el área de manufactura y mercadeo, las cuales adquieren un papel crucial a medida que la biotecnología sale del laboratorio y de la planta piloto hacia la explotación comercial. Tales capacidades se convierten en la clave, por encima de otros medios de protección, para asegurar el control sobre las biotecnologías que comercializan y con el tiempo se van constituyendo en la más importante barrera a la entrada. En la industria farmacéutica, por citar un caso, se observa perfectamente cómo su capacidad para la distribución de los medicamentos es un factor determinante en su dominio sobre el mercado, al igual que su experiencia y su destreza en el manejo de los procedimientos burocráticos, mediante los que se consigue la aprobación de las drogas por parte de las autoridades competentes en cada país. Ambas cosas representan una casi insalvable dificultad para las empresas de menor tamaño.

Integración de la industria a partir de la biotecnología

Dada la enorme versatilidad de las biotécnicas, las grandes empresas realizan importantes esfuerzos de integración, esfuerzos que se han venido haciendo evidentes en varios sectores industriales. La referencia a la industria de semillas es particularmente ilustrativa de este aserto.

Hasta los años setenta la mayor parte de los insumos agrícolas se comercializaban a través de distintas firmas. Las semillas, los distintos productos químicos (herbicidas, pesticidas), los productos farmacéuticos, la maquinaria, los insumos energéticos, eran producidos y comercializados por industrias y empresas distintas. Sin embargo, una serie de hechos, cumplidos a lo largo de los últimos años, han contribuido a reestructurar radicalmente esta área industrial por la vía de importantes movimientos de integración (De Janvry *et al.* 1987; IICA 1987). Entre tales hechos cabe mencionar los siguientes:

- a. La aprobación de la "*Plant Breeders Rights*" en Europa a comienzos de la década de los sesenta y, en la década siguiente, de la "*Plant Variety Protection Act*", en Estados Unidos, ambas apuntando hacia la concesión de un mayor grado de apropiación privada sobre la tecnología en sectores como la agricultura, en donde tradicionalmente estuvo más restringido.
- b. La baja rentabilidad de la industria química, que ha venido declinando desde los años sesenta, alcanzando su punto más bajo con el alza de los precios petroleros de comienzos de los setenta. En parecida dirección han operado los controles cada vez más severos que, por razones ecológicas, se han impuesto a las industrias; y, adicionalmente el hecho de que las grandes empresas petroleras hayan entrado en el campo de la petroquímica pesada, limitando en buena parte la actividad de las compañías químicas tradicionales al área de ciertos productos finales especializados (De Janvry *et al.* 1987).
- c. La evolución de los sistemas de propiedad industrial hacia el objetivo de garantizar un mayor control sobre los resultados de la investigación biotecnológica.

A partir de 1980, cuando se hicieron más nítidas las potencialidades de la biotecnología, también se hizo evidente que la combinación de la investigación genética y la estructura disponible para acceder al mercado resultaba altamente necesaria y beneficiosa, de allí la compra de empresas de biotecnología por parte de las grandes firmas de la agroquímica. En efecto, en la medida en que la protección de la cosecha se lleva a cabo no tanto con plaguicidas o herbicidas, sino por semillas genéticamente modificadas, las grandes firmas agroquímicas han procurado la adquisición de las empresas de semillas. Estos movimientos expresan la manera en que se reacomodan los distintos actores económicos, al igual de lo que ocurre también, por citar otro caso, entre las firmas que se mueven en la industria química y en la industria de alimentos. La experiencia en I y D, acumulada por las empresas agroquímicas durante muchos años, facilitó notablemente el paso hacia la I y D relacionada con la biotecnología, bien sea por medio de la ya citada compra de empresas pequeñas, bien por medio de contratos con laboratorios o por la realización de actividades de I y D "intramuros". Por otra parte, los canales de distribución y venta, construidos por la industria de semillas, durante décadas, han podido ser empleados para el mercadeo de productos biotecnológicos. Ambos puntos apoyan un argumento que se expone después: por más grande que sea la ruptura tecnológica, siempre existen continuidades que pueden elevarse como barreras para la entrada de las empresas nuevas.

Como consecuencia de lo apuntado, ha desaparecido el *agribusiness*, en tanto categoría especial de firmas industriales, empezando a darse cambios notables en las relaciones entre la agricultura y la industria. Tales cambios se manifiestan en una cada vez más próxima y honda relación entre la agricultura, la industria de insumos y los usuarios. En particular, la industria de semillas está siendo "diluida" dentro de un conjunto de inversiones cuya fuente ha sido una diversa gama de empresas: no sólo firmas agroquímicas, como se apuntó, o farmacéuticas, sino hasta automotrices (la Volvo, de Suecia, controla hoy en día hasta 47 compañías de semillas).

Se aprecia, así, un movimiento de integración muy importante. Su eje lo constituyen, por supuesto, las grandes empresas. Estas conjugan los primeros logros de la naciente biotecnología con los fuertes intereses que las atan a la vieja industria. Empiezan a darse ya evidencias muy claras de los procesos en gestación: las transnacionales de la agroquímica han iniciado la comercialización de paquetes de semillas y de plaguicidas e insecticidas que se avienen con las variedades creadas a partir de la manipulación genética. Un caso, entre otros muchos, así lo revela: la empresa Monsanto está desarrollando una variedad de soya resistente al producto "Round-Up", un herbicida que ella fabrica. En el sector pecuario puede advertirse una orientación similar: el "empaquetamiento" de líneas raciales y productos veterinarios (Arroyo y Waissbluth 1988).

Internalización de las actividades de investigación y desarrollo

Estos son tiempos de gran turbulencia económica y de muy hondas transformaciones tecnológicas y, por consiguiente, son tiempos de incertidumbre y de riesgo. El modo que asumen las inversiones en investigación y desarrollo lo demuestra fehacientemente. Lo frecuente, hoy en día, es la realización de diferentes tipos de acuerdos en los que se involucran las empresas, las universidades y el sector público, con el fin de promover la asignación conjunta de recursos y por ende, la realización de actividades científicas y tecnológicas de interés común. El creciente costo financiero y el carácter interdisciplinario, rasgos ambos que también hacen más perentorios los acuerdos, caracterizan el nuevo modelo de asociación.

Las grandes empresas son, en la mayoría de los casos, el centro de apoyo de distintos convenios, cuya existencia se puede observar en todas las industrias, incluyendo por supuesto a la bioindustria. Disponen de una estructura industrial y comercial que les permite producir en la escala requerida y dominar los circuitos de distribución para la venta de sus productos, tratando de obtener capacidades científicas y tecnológicas a través del desarrollo de variadas actividades: la investigación "intramuros" la firma de contratos de diverso tipo (financiamiento, explotación conjunta de patentes, licencias) con centros de investigación, tanto universitarios como estatales o con empresas pequeñas de biotecnología; o, por citar un último ejemplo, la constitución de empresas mixtas de diverso tipo con otras compañías grandes (tanto de su propio sector como de otro), con centros de investigación o con pequeñas firmas de biotecnología. En tal sentido, la empresa Monsanto (Cuadro 6) brinda una muy buena ilustración.

La internacionalización de la bioindustria a partir de la biotecnología

Desde el año 1950 se inició un proceso mediante el cual la industria se fue haciendo cada vez más internacional. Hoy este es un hecho cumplido: son pocas las industrias que no dependen del extranjero, bien sea por razones financieras, bien para obtener materias primas o tecnología o para acceder a determinados mercados.

En el caso de la biotecnología se observan, con mucha frecuencia, múltiples arreglos que involucran a empresas o centros de investigación de varios países, con el propósito de desarrollar y comercializar resultados obtenidos a partir de la biotecnología. Se insinúa así la conformación de una industria cuya estrategia establece, en algunos sectores, la integración internacional de actividades. La vieja agenda de trabajo de las grandes compañías giraba en torno a cómo resolver los problemas derivados de la realización de negocios en un mercado extranjero; la nueva, plantea cómo coordinar actividades realizadas en diversos sitios, de manera de diseñar redes manejables de acuerdo con los intereses de una única y superior instancia gerencial (Porter 1986).

Cuadro 6. Monsanto: anatomía de una empresa biotecnológica.

Inversión propia	
US\$185 millones invertidos en un centro de investigación en ciencias biológicas	
Compañías farmacéuticas	
Compra de G.D. Searle Compañía por US\$2.8 mil millones	
Compañías biotecnológicas (inversiones y contratos)	
Collagen	Polvo artificial de hueso
Biogen	Activador de tejidos
Genentech	Hormonas de crecimiento de bovino
Genex	Capital de riesgo
Biotechnica International	Expresión de la proteína B. subtilis
Contratos con universidades	
Harvard University	Investigación biomédica (US\$23 millones)
Washington University	Investigación biomédica (US\$23 millones)
Rockefeller University	Investigación de fotosíntesis (US\$4 millones)
Oxford University	Cadena de azúcares (US\$1.5 millones)
Compañías subsidiarias de semilla	
Jacob Hartz	
Hubritech Seed Co.	
Monsanto Seed	
Farmers Hybrid Co.	
Fertilizantes	
El quinto mayor productor de fertilizante nitrogenado en los Estados Unidos	
Pesticidas	
58% del mercado de herbicidas para maíz (1978)	
Roundup	Ingresos de US\$500 millones
Lasso	Ingresos de US\$200 millones

Fuente: Kenney 1986. In De Janvry *et al.* 1987.

El costo creciente de las actividades de I y D, la necesidad de tener acceso al estado del arte de la tecnología y la entrada a nuevos mercados son los factores que han internacionalizado el proceso de bioindustrialización. Las empresas de Japón son, sin duda, las que mejor han entendido esto: ya han dado comienzo a un proceso orientado a crear empresas mixtas en otros países; crear subsidiarias; financiar investigaciones en centros académicos extranjeros; suscribir contratos de licencia, explotación conjunta de patentes y otros. Así, por ejemplo, organizaciones japonesas compraron parte de las acciones de Genentech Inc, en 1981; Takeda Chemical Industries Ltd. y Morchida Pharmaceutical firmaron un contrato de

licencia con Hoffman-La Roche para usar el interferón desarrollado por éste; Sumitomo Chemical Co. creó una empresa mixta con Genentech con el objeto de desarrollar hormonas para el crecimiento; Green Cross Corporation de Osaka ha suscrito acuerdos de diversa naturaleza con Genex y Biogen (Dembo y Morehouse 1987).

Hay, aparte del caso de las empresas del Japón, otros hechos que ilustran con bastante claridad cuanto se viene diciendo, entre los cuales vale la pena citar, a simple título ilustrativo, los siguientes (Dembo y Morehouse 1987):

- Novo Industri, una compañía danesa, obtuvo en Londres más de US\$100 millones, lo cual no es sino un reflejo de la tendencia a acudir al mercado internacional de capitales por parte de las empresas más involucradas en el negocio de la biotecnología, con el fin de obviar las limitaciones de los mercados financieros domésticos.
- Monsanto ha entrado a participar en la propiedad de varias empresas de biotecnología fuera de los Estados Unidos y además ha suministrado capitales de riesgo a empresas extranjeras.
- El Gobierno belga ha financiado a la empresa americana Hybritech, con el propósito de llevar a cabo investigaciones conjuntas con la Universidad de Lieja y ha constituido una empresa mixta con la firma Chiron, también estadounidense, para desarrollar vacunas.
- Hoechst, trasnacional alemana, otorgó US\$50 millones al Hospital General de Massachusetts para realizar actividades de I y D en biotecnología.
- Bayer suscribió un acuerdo con la Universidad de Ginebra para el desarrollo de procesos microbiológicos en la purificación de agua.
- Genentech y Cetus, ambas norteamericanas, convinieron con una empresa del estado holandés en la creación de una subsidiaria en Holanda.
- Lafarge Coppee, grupo económico francés que se mueve internacionalmente en el negocio del cemento -a través de Orsan, su subsidiaria en el área de la biotecnología (uno de los líderes en la producción de glutamato monosódico)-, colabora conjuntamente, desde el año 1974, con la firma japonesa Ajinomoto en el desarrollo y comercialización de la lisina.
- Celltech, la empresa británica, creó una subsidiaria en los Estados Unidos para mercadear sus productos en este país.

No obstante, si hubiese que tomar un solo ejemplo del proceso de globalización, éste sería sin duda el de Biogen, empresa radicada en Suiza, financiada con capitales de riesgo aportados por Inco, compañía minera canadiense, Schering- Plough, firma farmacéutica norteamericana, la ya citada Monsanto y Grand Metropolitan, un grupo británico que abarca actividades hoteleras, agrícolas y ganaderas. Biogen tiene también laboratorios en Boston y una subsidiaria en Holanda para actividades de licenciamiento y mercadeo. Adicionalmente ha suscrito acuerdos de diverso tipo con empresas de diferentes nacionalidades, particularmente japonesas y alemanas.

En fin, a propósito de la biotecnología comienza a darse un proceso de internacionalización por la vía de un complejo y muy variado conjunto de acomodados institucionales

realizados en un nivel internacional, envolviendo empresas grandes, medianas y pequeñas (tanto privadas como estatales), laboratorios universitarios (privados y del sector público) y entidades gubernamentales. Dicho proceso se ha ido concretando en mecanismos de variada índole, tales como licencias, inversiones directas, creación de empresas mixtas, contratos de investigación, financiamiento, acuerdos para la explotación de mercados y demás. Esta dinámica de globalización plantea, obviamente, serios problemas a los gobiernos, los que encaran la tarea de localizar cuál es el punto razonable de equilibrio entre la tendencia hacia la internacionalización (y la conveniencia de la misma, por otro lado) y la necesidad de regular los mercados locales para proteger ciertas áreas de la bioindustria, que desaparecerían de exponerse a la competencia mundial (Derian 1986). Como se verá posteriormente, este es un tema de particular relevancia para los países del Tercer Mundo, puesto que se relaciona con la que ha sido la esencia de su política industrial desde hace varias décadas.

La internacionalización y los países subdesarrollados

El proceso descrito resulta de mucha importancia para los países subdesarrollados, puesto que deja ver un cierto patrón de difusión y al mismo tiempo muestra un menú de vías e instrumentos a través de los cuales se podría acceder a la biotecnología. Si bien parece prematuro sacar alguna conclusión definitiva, dado lo incipiente de la bioindustria y la relativamente limitada información disponible sobre el punto, la naturaleza y el objetivo de la internacionalización de la bioindustria difieren en su apariencia cuando el proceso envuelve a los países subdesarrollados.

Ciertas evidencias indicarían que, en el área de la biotecnología, las relaciones Norte-Sur son mucho menos frecuentes y mucho más limitadas. En algunos casos, tales vínculos implican un flujo de tecnología más bien restringido; y la motivación central del acercamiento por parte de las empresas de los países desarrollados usualmente no consiste en compartir tareas dirigidas al desarrollo y comercialización de productos, sino en probar resultados obtenidos en el laboratorio, proveerse de materia prima, escapar de la severidad de las normas que regulan el uso de la biotecnología, acceder a mercados, etc. Algunos casos sirven para mostrar lo señalado (Dembo y Morehouse 1987):

- Biogen firmó un contrato con el Shaanzi Pharmaceutical Bureau en la República Popular China, con el propósito de hacer ensayos clínicos con el interferón producido en los laboratorios de la empresa suiza.
- International Plant Research Institute, una empresa privada americana, constituyó una empresa mixta con Sime Darby, de Malasia, para introducir variedades genéticas en Malasia, Filipinas, Singapur y Tailandia, países donde la última de las empresas nombradas es propietaria de tierras.
- La firma japonesa Orsuka llegó a un acuerdo con el Gobierno chino para crear una empresa mixta, destinada a analizar 5 000 hierbas chinas y estudiar la posibilidad de su comercialización en el mercado internacional.

Sin embargo, también se dan, aunque con menos frecuencia, situaciones en las que el acuerdo entre las empresas o laboratorios de los países industrializados implica actividades de transferencia de tecnología. Algunos casos sirven para ilustrar la citada modalidad:

- En 1985, China formó una empresa mixta de biotecnología con empresas norteamericanas y canadienses para la realización de actividades relacionadas con la investigación, la manufactura y la formación de recursos humanos de alto nivel (Dembo y Morehouse 1987).
- El Centro Chino de Desarrollo de la Biotecnología suscribió un contrato de investigación con la empresa japonesa Nippon Zeon Co (Dembo y Morehouse 1987).
- Biotica C. A. de Argentina e International Cattle Embryo Inc de los Estados Unidos están en vías de constituir una empresa mixta para la aplicación de técnicas de transferencia de embriones, congelamiento, sobreovulación y división de embriones (BID 1988).
- Miles, trasnacional americana, y Arcor, de Argentina, crearon una empresa mixta para la producción de enzimas microbianas (BID 1988).
- Biobrás del Brasil suscribió un acuerdo con Elly Lilly para acceder a su tecnología.

Los productores de equipos

Es sabido que la industria de bienes de capital desempeña un papel primordial dentro del desarrollo tecnológico. En esta industria reside una buena parte de la clave de los procesos de generación y difusión de tecnología. En última instancia, todo cambio técnico, bien sea de producto o de procesos, requiere de la creación o modificación de maquinarias, equipos y diversas clases de componentes. Allí radica la clave del éxito técnico de un invento. Los cuadernos de Leonardo da Vinci, señala Rosenberg (1976), estaban repletos de ideas para las cuales no existían las maquinarias necesarias, ni las habilidades requeridas para construirlas. Se adelantaban a su época, porque la industria de bienes de capital, más que ningún otro factor, es la que determina si una determinada invención está o no fuera de su tiempo y hasta qué punto. Todo invento importante, reitera dicho autor, pasa por un período de gestión de distinta duración, mientras la industria de bienes de capital se adapta a las exigencias de la nueva técnica.

A partir de la biotecnología va tomando cuerpo una importante industria suplidora de maquinarias y equipos, la cual se convertirá muy pronto en una de las condiciones esenciales de acceso a la bioindustria. Tal hipótesis se razona en los próximos párrafos, aun cuando no hay mucha información al respecto:

- a. Todavía se ve la coexistencia de equipos viejos (los que sirven para desempeñar funciones que no son particulares de la biotecnología como cromatógrafos, microscopios y otros) y nuevos (los que han sido expresamente diseñados en función de la biotecnología, como sintetizadores de ADN, secuenciadores de proteínas, etc.). Sirva lo dicho para insistir de nuevo en la necesidad de las complementariedades, no obstante la ruptura tecnológica que la bioindustria plantea con respecto a la industria precedente.
- b. El desarrollo de la industria suplidora de equipos está directamente vinculado con la industria electrónica, gracias a la cual se mejoran constantemente las posibilidades de medición, de diseño, de control. Se hace evidente que la biotecnología depende en alto

grado de la computación y de los sistemas de información. Aún más, se piensa que la evolución de ambos sistemas tecnológicos se podrá hacer interdependiente, en la medida en que cobren cuerpo las ideas asociadas a los biosensores y la inteligencia artificial. Pero no sólo se trata de que la bioindustria haga uso de los avances de la microelectrónica y la informática, mediante la fabricación de equipos cada vez más precisos, tanto en el área de investigación como en la industrial, sino de que se están forjando ciertos arreglos entre empresas de una y otra industria, lo que implica grados diversos de integración. Un hecho ilustrativo de ello es la creación, en 1985, de una empresa mixta por parte de Genentech y Hewlett Packard para la fabricación de instrumentos biotecnológicos.

En relación con el mismo punto, vale repetir una reflexión expresada en páginas anteriores. Por ahora, el mundo de las empresas proveedoras es bastante variado, conforme lo atestigua para los Estados Unidos la publicación *Guide to Scientific Instruments*, de 1986, de la American Association for the Advancement of Science, señalando 21 secciones con más de 200 categorías de equipos e instrumentos (tanto para investigación como para uso industrial) y más de 1 800 proveedores (BID 1988; Dembo y Morehouse 1987). Entre los proveedores hay pequeñas empresas privadas; empresas filiales de grandes corporaciones como DuPont, Hewlett Packard; pequeñas empresas de biotecnología tales como Biogen y Genentech; empresas mixtas constituidas entre pequeñas empresas y empresas multinacionales.

Sin embargo, y aun cuando en el mejor de los casos llegue a ser solo una mera hipótesis, no debe descartarse la posibilidad de que las grandes empresas decidan fabricar algunos de los equipos, por sí mismas o mediante asociaciones de propiedad con determinados productores, asegurando un control que no tendrían (o al menos no en el mismo grado) si contrataran su producción con terceros. Este mecanismo forma parte del régimen de apropiación sobre la tecnología y servirá, obviamente, para acrecentar el dominio de las grandes empresas sobre el negocio de la biotecnología.

- c. Sobre la base de la anterior es posible también prever que, en alguna medida (variable según las áreas y las tecnología envueltas), las posibilidades y condiciones para la entrada a la bioindustria estarán vinculadas con las posibilidades y condiciones de acceso a la industria microelectrónica. Para decirlo más claramente, las oportunidades de los países latinoamericanos y del Caribe, estarán influenciadas por las capacidades con que cuenten para adquirir, usar, diseñar y fabricar equipos electrónicos muy sofisticados, indispensables en el campo de la biotecnología, tanto para la investigación como para la producción industrial. En tal sentido, la industria microelectrónica puede suponer algunos obstáculos para el desarrollo de la bioindustria, debido al alto costo de muchos de los equipos, a su complejidad (la falta de dominio tecnológico puede llevar a un uso inadecuado) y, por último, a la imposibilidad de adquirir algunos de los equipos (las causas fueron expuestas en el punto anterior).
- d) En parte, y como conclusión de lo indicado, los avances de la biotecnología, su orientación y la velocidad de su difusión, dependerán no sólo de los progresos que se hagan en los predios de las llamadas biociencias, sino también de los que se hagan en la industria electrónica. En otras palabras, **una parte importante de la evolución y difusión del "paradigma biotecnológico" estará supeditada al "paradigma microelectrónico"**. La afirmación es consistente con el papel crucial que juega la industria de bienes de capital en el progreso tecnológico. La disponibilidad de ciertos equipos e instrumentos suministrados por la industria electrónica está determinando la factibilidad de las biotecnologías, contribuyendo a determinar cuáles de ellas están "adelantadas a su tiempo" y en qué grado.

BASES PARA UNA INTERPRETACION

En las páginas que siguen se expone un cuerpo de ideas, a través del cual se busca establecer un esquema capaz de sustentar una interpretación de la biotecnología y de su naturaleza, en tanto nuevo sistema tecnológico, y de sus implicaciones económicas e industriales, todo ello a partir de los planteamientos y los datos expuestos en las páginas anteriores. Además, se trata de que la explicación que aquí se logre hilvanar sirva también para determinar los rangos dentro de los que quedan ubicadas las posibilidades de los países de ALC para acceder a este conjunto de tecnologías, cuyo origen se halla primordialmente en las naciones avanzadas.

La biotecnología como nuevo paradigma tecnológico

La biotecnología apunta hacia la conformación de un nuevo sistema tecnológico, integrado por tecnologías radicalmente nuevas, relacionadas entre sí y cuyos efectos abarcan un amplísimo radio de la actividad económica. Aquí se tratará de sustentar esta afirmación y de examinar sus implicaciones. Para ello se hacen, en primer término, algunas consideraciones teóricas que posteriormente serán “aplicadas” a la biotecnología y a la bioindustrialización.

Taxonomía del cambio técnico

De acuerdo con su importancia, alcance y repercusiones, el cambio técnico puede adoptar diversas formas. Un trabajo de Freeman *et al.* (1982), el cual expresa una línea de investigación teórica desarrollada por él y otros autores a lo largo de los últimos años, entre los que cabe destacar particularmente a Pérez (1986, 1989), provee un marco adecuado para tratar de entender el significado de la nueva biotecnología. En efecto, Freeman ha elaborado una taxonomía que distingue entre distintos tipos de innovación:

- a) *Innovaciones incrementales*, las cuales ocurren continuamente, dependiendo de las presiones del mercado y de las oportunidades tecnológicas. Tales innovaciones mejoran procesos y productos a través de cambios menores que en buena medida vienen sugeridos por las mismas tecnologías. Rosenberg (1976) habla de “imperativos tecnológicos”. En otras palabras, desde su nacimiento, la tecnología ostenta un formato que pauta su evolución, de manera que las innovaciones incrementales lo que hacen es llevar una tecnología dada hasta el máximo de sus posibilidades. Obviamente, tal evolución no obedece sólo a razones puramente ingenieriles, sino que también recibe influencias económicas de diverso tipo (movimientos en el precio de ciertos insumos, cambios en las preferencias del consumidor y otros) En general, estas innovaciones son más bien el resultado de las tareas que se realizan dentro de la producción y de las relaciones con los usuarios, y no de la actividad formal de I y D, sin que se descarte por supuesto el papel desempeñado por esta última.

- b) *Innovaciones radicales*, las cuales se expresan a través de eventos discontinuos que significan rupturas significativas con respecto a la tecnología precedente y que usualmente aparecen como fruto de la actividad de I y D. No pueden ser vistas, por tanto, como el resultado de pequeñas y continuas mejoras a productos o procesos ya existentes. Como lo apunta Freeman, nadie puede decir que los reactores nucleares emergen del perfeccionamiento de los generadores iniciales de electricidad, ni que el nylon haya emergido de las mejoras realizadas en los textiles de origen natural. Se trata, por el contrario, de productos y procesos ostensiblemente distintos que además suelen darse relacionados con cambios de carácter organizativo; y, conforme a los escritos de Schumpeter, lejos de ser introducidos por empresarios "racionales", sobre la base de su detallado conocimiento de la demanda y de los consumidores, con frecuencia son concebidos y lanzados a un mercado desprevenido y hasta reacio por empresarios más bien heterodoxos en su aproximación a los negocios.
- c) *Cambios de sistema tecnológico* son aquellas transformaciones tecnológicas que afectan uno o varios sectores de la economía e, incluso, dan lugar a la aparición de sectores enteramente nuevos. Están basados en una combinación de innovaciones radicales e incrementales, tanto de productos como de procesos, al igual que organizacionales, y se manifiestan a través de "constelaciones" de innovaciones interrelacionadas. Un ejemplo claro al respecto lo constituyen, según Freeman, el "racimo" de innovaciones introducidas en el área de materiales sintéticos o de la petroquímica durante las décadas de los treinta, cuarenta y cincuenta.
- d) *Cambios en el paradigma tecnoeconómico* son aquéllos que tienen lugar en los sistemas tecnológicos y afectan el comportamiento de toda la economía. Se trata de "revoluciones tecnológicas" y, de acuerdo con Freeman (1988) y Pérez (1985, 1986), están en el corazón de la visión schumpeteriana de la teoría económica de los ciclos largos. Ejemplos obvios son, en este caso, la creación y difusión de la máquina de vapor o de la energía eléctrica y, más recientemente, de la microelectrónica. Dado que se pretende sostener que la biotecnología conforma un nuevo paradigma, es preciso una explicación un poco más larga sobre este concepto.

El concepto de paradigma tecnológico

Fue acuñado por Dosi (1986) y es análogo al que elaboró Kuhn para interpretar el desarrollo de la ciencia. El paradigma constituye un modelo dentro del cual se solucionan los problemas tecnológicos. Opera como un patrón que establece la manera en que se seleccionan, se analizan y se resuelven los problemas tecnológicos. Más allá de las críticas que se le han hecho (algunos autores sostienen que Dosi lleva muy lejos el parecido de la ciencia con la tecnología), la noción resulta una herramienta útil para explicar las grandes "rupturas" en la tecnología, su papel en la aparición de diferentes "racimos" de innovaciones y la forma en que se difunden.

Estos **racimos** o **agrupaciones** de innovaciones, a pesar de estar asociados en sus inicios con el surgimiento de una determinada rama industrial, tienen luego enormes repercusiones sobre otras. Dentro de la tradición schumpeteriana, esto es lo verdaderamente importante en términos económicos; lo crucial no es, por tanto, la fecha de una innovación básica, sino su difusión, el proceso de "avalancha" dentro del cual los imitadores comienzan a percibir el potencial de los nuevos productos y procesos e invierten fuertemente en ellos.

Para que tal proceso se cumpla, en el nuevo conjunto de tecnologías que perfilan la aparición de un paradigma tecnoeconómico distinto, deben cumplirse al menos cuatro condiciones básicas (Freeman *et al.* 1982):

- a) Generar una amplia reducción de costos en la producción de un rango bastante diverso de productos. Por ejemplo, la implantación y difusión de las tecnologías microelectrónicas se explica por el grado en que las mismas han permitido el ahorro, tanto de trabajo como de capital, así como de otros insumos (algunos materiales, energía, etc.).
- b) Generar la posibilidad de producir una extensa gama de nuevos productos y una significativa mejora en la calidad de productos y procesos ya existentes. Ambas cosas se asocian, lógicamente, con la apertura de nuevos mercados, ligados a nuevos patrones de inversión y al surgimiento de nuevas industrias.
- c) Generar una amplia vinculación intersectorial. El impacto de las nuevas tecnologías, en tanto que conforman un paradigma tecnoeconómico, se deja sentir sobre muy diferentes tipos de industria y en muchos sentidos borra las fronteras tecnológicas existentes entre unas y otras; dicho en otras palabras, constituyen una suerte de "piso común" tecnológico que relaciona y aproxima los sectores, haciendo fácil y frecuente el movimiento de las empresas de un sector a otro, o su desempeño en varios de ellos, gracias en buena parte al dominio del conjunto de tecnologías básicas que constituyen el corazón del paradigma. Lo dicho se cumple en el caso de la microelectrónica y, como se verá, también (en menor grado) en el de la biotecnología.
- d) Ser socialmente aceptado, lo cual supone vencer obstáculos de diversa naturaleza. Puede haber reticencia por razones políticas, morales, religiosas o ambientales con respecto a un conjunto nuevo de tecnologías (la tecnología nuclear es, en especial, un ejemplo muy claro).

En un sentido un poco más preciso, la aceptación social del paradigma depende de las modificaciones de carácter organizativo que se requieren para que el nuevo paradigma tecnológico "funcione" cabalmente. Pérez (1989) ha insistido en este punto, a propósito de la microelectrónica. Hay que poner a tono las instituciones, los esquemas educativos y, en general, un conjunto muy amplio de regulaciones de muy diversa naturaleza con el fin de que el nuevo paradigma pueda implantarse. Se trata de la adopción de innovaciones "blandas", que deciden la efectividad con que se puede adoptar el nuevo paradigma tecnológico. El Japón, según se ha demostrado, es el país que más lejos ha podido llevar la explotación de las nuevas tecnologías microelectrónicas, gracias a los sistemas de organización adoptados, tanto en el Estado como en la empresa privada. Hay, pues, factores económicos, políticos e institucionales que van siendo modificados a la par de la introducción del nuevo paradigma. Son, al mismo tiempo, la condición para que se de el proceso de implantación y su lógica consecuencia.

A medida que se configura y difunde, el nuevo paradigma genera cambios sustanciales en la estructura socioeconómica, los cuales pueden apreciarse claramente en varios aspectos:

- se crean nuevos mercados;
- se altera la estructura interna de los sectores industriales al crear nuevas formas de competencia;

- se redefinen las relaciones interindustriales;
- varía el papel relativo de los sectores industriales dentro de la economía global;
- se propicia la transformación de las capacidades y destrezas de distintos tipos y niveles en el personal empleado en determinadas industrias;
- se afecta la composición de la demanda agregada al alterar el patrón de distribución del ingreso;
- cambia la división internacional del trabajo al afectar los patrones de intercambio entre los países;
- se inducen cambios en el sistema financiero (desarrollo de mercado de capitales, de capital de riesgo y otros).

Las transformaciones mencionadas se manifiestan en un proceso de destrucción creativa en el sentido que Schumpeter le da a la expresión. Autores posteriores (por ejemplo, Rosenberg 1976) conciben la difusión de tecnologías como un proceso tendiente a restablecer el equilibrio económico, el cual nunca se logra, dado que la introducción de nuevas tecnologías es constante. Este aspecto es considerado un poco más adelante.

Obviamente, el proceso de desarrollo e implantación de un sistema tecnológico, cuya aplicación implica tantas y tan hondas consecuencias económicas y sociales, no puede tener lugar en períodos cortos de tiempo, sino como la microelectrónica misma lo revela, requiere varias décadas. Resulta muy importante poder anticipar ese proceso y seguirlo de cerca en su evolución. No se trata, sin embargo, de una tarea fácil. Por el contrario, siempre resulta difícil visualizar cuáles son los usos y las ventajas de un nuevo invento. Rosenberg (1976) refiere que Edison siempre pensó que el fonógrafo sería útil principalmente para grabar los deseos y recuerdos de los ancianos en su lecho de muerte. Mirar con antelación las posibilidades y consecuencias, no de un invento particular sino de un paradigma tecnológico, es mucho más complicado. Pero hay que hacer el esfuerzo. En la medida en que un país o una empresa lo intenten, pueden lograr una mejor posición en términos de su estrategia de desarrollo económica a largo plazo.

El concepto de “trayectorias naturales”

El nuevo paradigma se desenvuelve con una dinámica propia, representada por ciertas trayectorias naturales (Nelson y Winter 1977). Estas no son otra cosa que la definición de las direcciones hacia donde se mueve la actividad normal de solución de problemas, (concepto equivalente al de “ciencia normal” de Kuhn 1972). Las trayectorias naturales son la expresión de ciertas pautas ingenieriles y de ciertas condiciones económicas que determinan la orientación del cambio técnico, tanto en lo referente a productos como a procesos. Representan una suerte de “sentido común” tecnológico para una generación de científicos, ingenieros y gerentes (Pérez 1986), fijando las posibilidades, el ritmo y la orientación de las “innovaciones menores”.

En los comienzos de una nueva tecnología puede haber varios competidores, pero gradualmente el campo se estrecha en términos de una trayectoria más definida, una suerte de agenda que pauta la evolución de esa tecnología. Las unidades productivas empiezan a

concentrarse y competir dentro de un rango mucho más estrecho de productos y procesos (y, por supuesto, de opciones tecnológicas). Dentro de tal contexto, factores económicos tales como la reducción de costos, la calidad del producto y la penetración de mercados juegan un papel de creciente importancia.

Puestas así las cosas, el progreso sobre una misma trayectoria tecnológica pareciera presentar características acumulativas (no aleatorias). En vista de ello, hay logros pasados que fundamentan logros futuros, capacidades existentes que apoyan el desarrollo de nuevas capacidades. Toda "innovación mayor" (un cambio tecnológico importante) tiene mucho que ver con las tecnologías existentes y, a lo largo del proceso mediante el cual es asimilada, guarda un estrecho contacto con el *stock* tecnológico ya disponible. De aquí algunos autores (Gold 1980; Dosi 1986; Pavitt 1983) han sacado la conclusión de que las probabilidades de progreso futuro están directamente relacionadas con la posición que ocupa un país (o una empresa) con respecto a la frontera tecnológica. En otras palabras, esta característica hace que, por regla general, avancen más los que más han avanzado. Hay una cierta continuidad tecnológica que así lo determina. Sin embargo, cada vez que hay un cambio en el paradigma (como se supone que ha ocurrido con la irrupción de la nueva biotecnología), la acumulación previa de capacidades pierde, obviamente, algo de su peso. No hay en este caso una trayectoria establecida dentro de cuyos límites tenga lugar la "actividad normal de solución de problemas" y, por ende, la experiencia cuenta menos. Pero debe tenerse muy en cuenta que esa experiencia, los conocimientos, las destrezas que conforman la capacidad tecnológica asociada al paradigma anterior, representan, en diverso grado, **capacidades complementarias**, necesarias también en el desarrollo del nuevo paradigma. Así se entiende porqué no pocas de las empresas que ocupaban posiciones de vanguardia tecnológica dentro del viejo paradigma, las siguen ocupando en el nuevo. Lo que sirve también para advertir el peligro que se corre con la formulación de cierto planteamiento que exagera las discontinuidades entre el viejo y el nuevo sistema y, consecuentemente, también exagera las oportunidades de entrada al nuevo sistema por parte de las empresas o países que se encuentran en situación de rezago en el paradigma anterior.

Como prolongación del argumento, la característica acumulativa del desarrollo tecnológico tiene otra implicación importante, esta vez en relación con el proceso de difusión de tecnologías. En la medida que la experiencia tecnológica juegue un papel importante, bien sea en términos de un país o de una empresa, la difusión de tecnologías es más lenta entre aquellas empresas o países que carecen de ella. Esto resulta muy importante para descifrar el proceso de difusión de las biotecnologías.

La biotecnología: un paradigma en ciernes

Se puede hablar de la existencia de un cuerpo de conocimientos científicos, organizados y compartidos que sirven de soporte a la biotecnología y se organizan principalmente en torno a los radicales avances experimentados en el campo de diversas especialidades que, de una u otra manera, confluyen en la genética. La importancia de la nueva base científica deviene de la aparición de la biología molecular, la cual representa una discontinuidad en la evolución de la biología, al trascender el enfoque evolucionista y abrir paso al enfoque reduccionista que trata de ver lo que hay en común entre los seres vivos, en vez de tratar de explicar las razones de su multiplicidad (Silveira y Salles s.f.).

De acuerdo con lo anterior, la biotecnología ciertamente podría integrar un nuevo paradigma tecnológico, posibilitando un conjunto de avances y cambios que no pueden verse sino como rupturas notables en relación con los desarrollos tecnológicos previos, esto es,

como discontinuidades importantes. Sin embargo, para su consolidación como paradigma, así como para su difusión, la biotecnología aún tiene por delante serios problemas:

- a) Todavía hay lagunas científicas notables que impiden la comprensión (y por supuesto el manejo) de diversos fenómenos. Por ejemplo, la base de conocimientos actualmente disponible es insuficiente para permitir el uso de técnicas del ADN recombinante para mejorar funciones determinadas por grupos de genes. Esto hace pensar que, durante varios años más, el laboratorio será un escenario primordial en el progreso de la biotecnología.
- b) No alcanza a representar un conjunto establecido de tecnologías, ni éstas han pasado a evolucionar a través de determinadas trayectorias naturales que pauten la actividad normal de solución de problemas. Es decir, no ha cuajado un formato que indique los límites técnicos dentro de los que se da la evolución de la tecnología. No hay, así, un diseño dominante con referencia a la mayoría de los productos y procesos hoy en día existentes. No hay un "sentido común" tecnológico que indique una manera "lógica" de hacer las cosas y que se haya generalizado entre los empresarios. Hay limitaciones técnico-científicas referidas a los conocimientos exigidos para la aplicación de los mecanismos de aislamiento, transferencia y expresión de genes; y la convicción inicial de que pudieran lograrse a corto plazo se ha moderado. También son palpables las limitaciones para el manejo de sistemas biológicos complejos en escala industrial (Silveira y Salles s.f.). En general, en buena parte de las áreas de la biotecnología, siguen estando presentes muchas y muy serias dificultades para llevar los resultados del laboratorio a la producción comercial en gran escala, hecho que no solo se explica por las citadas lagunas en el dominio científico sino, sobre todo, por la incapacidad para solucionar problemas de ingeniería.
- c) No está clara la superioridad económica de las nuevas tecnologías con respecto a las que eventualmente podrían reemplazar. Son claras las posibilidades de reducción de costos que implica el empleo de biotécnicas en determinadas áreas (algunos productos farmacéuticos y agrícolas, por ejemplo). Pero en la mayoría (extracción mineral, energía) su utilización aún no resulta competitiva frente a los costos asociados con las tecnologías "viejas".
- d) Potencialmente hay una gran variedad de nuevos productos, pero no un concepto dominante de mercado, a excepción de algunos productos ya disponibles (insulina, interferón, edulcorantes) que pueden ser producidos de manera novedosa por procesos biotecnológicos.

En síntesis, estos cuatro aspectos indican que, por ahora, los mercados no están definidos, se ignora cuáles son las características deseables de los productos y quedan graves problemas tecnológicos pendientes. En particular, como ya se ha dicho, se trata de problemas relacionados con la conversión de los resultados obtenidos en el nivel de laboratorio en innovaciones susceptibles de ser comercializadas. Hay, pues, una doble incertidumbre (técnica y comercial) que no ha dejado que se configure un patrón claro de inversión². Esto se pone de manifiesto con mucha claridad en el sector farmacéutico, el

2 A mediados de los años setenta prendió en los medios industriales de los países avanzados (en particular norteamericanos) un gran optimismo con respecto a las posibilidades de desarrollo de la biotecnología y sus aplicaciones comerciales. Señal de lo dicho es que en 1974 se invirtieron, sólo en los Estados Unidos, más de US\$3 mil millones en biotecnología. Pero las expectativas no se cumplieron: no se apreciaron en su debido tamaño algunos problemas técnicos y en general se desestimó el tiempo de llegada al mercado de los resultados obtenidos en el laboratorio. Como consecuencia, después de 1984 se ha abierto campo una cierta mesura en los pronósticos (y se han recortado algo las inversiones, por supuesto).

sector en donde la biotecnología ha avanzado más y en donde, a pesar de que para el año 1987 más de cien productos estaban en fase de desarrollo, sólo muy pocos habían logrado alcanzar el nivel de producción masiva.

- e) El debate público sobre la biotecnología presenta varios planos. Sobresalen el plano ético, relacionado con la utilización de la ingeniería genética en la modificación de algunas características de los seres vivos, siendo la mayor preocupación su empleo en seres humanos y el plano ecológico, referido a las posibles repercusiones que la aplicación de la biotecnología podría tener en el ambiente y, consecuentemente, en la salud de las personas. La discusión sobre los beneficios y los perjuicios de las nuevas tecnologías sigue planteada y ha sido, desde luego y en medida variable según cada país, un factor que ha ocasionado algún retardo en la difusión de la biotecnología, aunque en una proporción que no puede compararse con la que ha tenido lugar en el campo de la energía nuclear. Además, en el caso de la biotecnología se da la circunstancia más bien excepcional de que la discusión pública se ha dado antes de que pueda decirse que haya comenzado a aplicarse. Así las cosas, la polémica en torno a estas nuevas tecnologías está afectando más bien su “arranque” y no su difusión.

En relación con lo anterior, el hecho de que no se tengan todavía, con respecto a muchas áreas, normas que regulen la generación y aplicación de las biotecnologías puede verse, en cierto grado, como un factor que retarda la difusión³.

Pese a lo indicado en los cuatro puntos precedentes, la biotecnología va en camino de constituirse, a mediano y largo plazo, en un nuevo paradigma, en la medida que la base de conocimientos disponibles permita ir pasando de la identificación y uso industrial de determinados procesos naturales, a la posibilidad de producir nuevas combinaciones genéticas en función de un espectro muy amplio de aplicaciones comerciales. En consecuencia, la biotecnología está llamada a ser el fundamento de un importante y masivo proceso de reestructuración económica, al inducir cambios en los mercados, en las estructuras industriales, en los esquemas de competencia, en las formas de consumo, en la división internacional del trabajo. Tal proceso ha empezado a cumplirse en algún grado, según se apuntó en la sección anterior.

Ciertamente, al aludir de manera genérica a la biotecnología, se hace referencia a un conjunto de tecnologías diversas en cuanto a su importancia económica, su nivel de complejidad y, lo que más interesa destacar ahora, su grado de madurez⁴. Sin embargo, las consideraciones anteriores valen como apreciación de la situación “promedio” de la bioindustria. Por tanto, y a riesgo de simplificar y separar en demasía los elementos constituyentes de un mismo sistema de capacidades, pudiera decirse que por ahora hay bastante menos desarrollo industrial de lo que tecnológicamente cabría esperar y bastante menos desarrollo tecnológico visto el avance logrado por la ciencia. En otras palabras, ya hay un cúmulo importante de conocimientos científicos, el cual ha dado origen a un conjunto

3 La situación es diferente en cada sector y las consecuencias también. Este factor ha incidido más en el retardo de la biotecnología agrícola que en la relacionada con la industria farmacéutica.

4 En general se coincide en apreciar que el sector farmacéutico es el más avanzado, seguido del agrícola y del químico. Asimismo, se aprecian grandes desniveles dentro de cada sector. En el agrícola, por ejemplo, se ha progresado más en el “diseño” de plantas resistentes a herbicidas que en la producción de bioplaguicidas.

relativamente reducido de invenciones que, a su vez, sólo en una pequeña parte han logrado convertirse en innovaciones. Esta apreciación permea algunas consideraciones posteriores.

La difusión de la biotecnología

Hay una estrecha vinculación entre invención (la idea y su prototipo), innovación (la utilización industrial y comercial del invento) y difusión (el proceso mediante el cual la adopción de la tecnología se extiende a empresas distintas e incluso ramas industriales diferentes de aquélla en que tuvo su origen). La difusión de tecnologías es un tema que reviste mucho interés para este documento. En efecto, si se tiene en mente que casi todos los recursos destinados a la biotecnología tienen su origen en los países avanzados –alrededor de US\$5 000 millones en los países de la OECD (Kenney 1986)– se hace preciso conocer cómo pueden los países subdesarrollados intervenir en tal proceso: saber por qué, cómo y cuándo se difunden las tecnologías entre las empresas y, sobre todo, entre los países.

Aspectos generales de la difusión de tecnologías

El tema de la difusión ha tenido menos importancia que otros temas en el tratamiento del desarrollo tecnológico. El estudio formal de la difusión de nuevas técnicas es una actividad que no tiene más de quince años. En general, tanto desde el punto de vista teórico, como desde el punto de vista del diseño de políticas, su tratamiento ha sido dominado abiertamente por la idea de la “divulgación”. ¿Qué debe hacerse para que el usuario potencial de las tecnología conozca las tecnologías disponibles en el mercado y pueda usarlas?. En definitiva, una visión “extensionista” que simplifica muchas cosas y que, a la postre, no ha permitido obtener los resultados esperados en cuanto a elevar el nivel de desempeño tecno-económico de los productores.

La perspectiva anterior tuvo su asidero en la convicción de que el proceso de difusión se explica en términos de los siguientes aspectos:

- la rentabilidad esperada por parte de quienes podrían adoptar la nueva tecnología;
- la escala de la inversión requerida para hacer uso de la nueva tecnología;
- la complejidad del proceso de aprendizaje que debe tener lugar para que la innovación pueda ser empleada adecuadamente.

A partir de allí pudo colegirse, entonces, que el proceso de difusión tiene lugar con mayor rapidez cuando las empresas están más plenamente convencidas de las ventajas de la nueva tecnología y cuando son menores tanto los montos de las inversiones vinculadas a su adopción como la complejidad de su uso. En esta hipotética situación, el proceso de difusión tenderá a restaurar más rápidamente el equilibrio económico alterado por la introducción de innovaciones. Si ello no ocurre, habrá que atribuírselo sobre todo a los empresarios, por no ser lo suficientemente hábiles y arriesgados en la adopción de nuevas tecnologías.

Estas ideas, que durante cierto tiempo configuraron una suerte de lugar común para interpretar los procesos de difusión de tecnologías, han sido objeto de varias críticas⁵. En efecto, algunos trabajos recientes (Dosi 1986; Arcangelli *et al.* 1988; McFetridge 1985; Metcalfe 1981) cambian el énfasis de un modelo que toma las innovaciones como aisladas e invariables a otro que considera la difusión como una sucesión de innovaciones interconectadas y vinculadas con la emergencia, crecimiento, maduración y (algunas veces) declinación de una industria. En síntesis, abogan por una explicación mucho más compleja de estos procesos.

El proceso de difusión sólo puede ser comprendido si se examina tomando en cuenta aspectos como los siguientes:

- Las características de la nueva tecnología, tales como grado de complejidad y monto de las inversiones asociadas con su utilización.
- Las características de la tecnología que va a ser reemplazada en comparación con las de la nueva.
- Las características del entorno económico (como ejemplo cabe decir que, si hay bajos salarios, las innovaciones ahorradoras de mano de obra tienden a adoptarse más tardíamente).
- Las características del entorno científico-tecnológico del país donde esté situada la empresa que va a adoptar la nueva tecnología (obviamente, una infraestructura científico-tecnológica débil dificulta la difusión de las nuevas tecnologías, sobre todo de las más complejas).
- El universo de empresas que podría adoptar la innovación no es, como ya se dijo antes, homogéneo. Las empresas difieren con respecto a su tamaño, su posición en el mercado, su capacidad tecnológica, sus estrategias, sus posibilidades de acceder al financiamiento, todo lo cual determina que sus oportunidades y sus intereses en la adopción de nuevas tecnologías difieran en grado más o menos apreciable. En otras palabras, los usuarios potenciales no se encuentran en las mismas condiciones económicas y técnicas.
- La información disponible sobre las innovaciones también difiere en cada caso. En general, no puede asumirse que haya un conocimiento perfecto (y correcta y uniformemente disseminado) acerca de ellas.

-
- 5 En particular, y a resguardo de lo que más adelante se señala, estas son las más importantes:
- a) suponen que los potenciales usuarios de la innovación constituyen una población homogénea;
 - b) suponen que la nueva tecnología es un producto perfectamente terminado, listo para ser usado, ignorando los cambios que se dan en ella a medida que se difunde;
 - c) asumen que por ser un producto totalmente acabado, a la unidad productiva le basta con los conocimientos necesarios para saberlo usar;
 - d) suponen que la información sobre la nueva tecnología está disponible para quien lo desee y que el problema tecnológico de la unidad productiva comienza y termina con la "selección de técnicas";
 - e) ignoran los cambios en el entorno dentro del que ocurre el proceso de difusión de la innovación, cambios que afectan su velocidad y orientación.

- La capacidad tecnológica de las empresas adoptantes (la poca capacidad dificulta la adopción de las tecnologías más sofisticadas).
- A lo largo de la vida de una innovación son necesarios cambios y ajustes (innovaciones menores) que gradualmente permiten explotar a plenitud la innovación inicial. Tales cambios, en los cuales están involucrados quienes adoptan la tecnología, ocurren en el proceso de difusión considerado a través del tiempo.
- Los procesos de difusión están muy lejos de implicar, simplemente, una decisión de comprar y usar. La adopción de tecnologías envuelve procesos importantes de aprendizaje y, como parte de ellos, cambios más o menos significativos que mejoran la tecnología y la ajustan a las condiciones de la empresa que la adopta. El tiempo y la calidad del aprendizaje dependen de muchos factores (la complejidad de la nueva tecnología, el grado de conocimientos y capacidades disponibles en la empresa o en el país y el grado en que pueden ser transferibles).
- Este proceso coincide con el de maduración industrial: a medida que la capacidad se expande (como consecuencia de la utilización de las nuevas tecnologías), llega un punto en que el crecimiento empieza a declinar; se saturan los mercados y el avance técnico topa con ciertos límites. Los efectos competitivos resultantes de la presencia de varias empresas reducen la tasa de beneficios y, por ende, la propensión a invertir.
- Los beneficios esperados de la difusión por parte del innovador.
- Los beneficios esperados por el usuario de la nueva tecnología.
- Las expectativas de futuros desarrollos tecnológicos.
- Los cambios de precio de los productos asociados con la innovación afectan la decisión de adoptarlos.
- Los costos vinculados con la adopción de innovación.
- Los procesos de difusión abarcan más aspectos de los que parecieran tomar en cuenta los clásicos programas de extensión agrícola. La decisión de adoptar una tecnología es esencialmente una decisión de inversión y, como tal, se halla críticamente influenciada por políticas económicas de variada índole (políticas de inversión extranjera y de transferencia de tecnología, por ejemplo).
- Los procesos de difusión son más rápidos en las economías abiertas que en las cerradas.
- El régimen de apropiación de la tecnología y de los conocimientos complementarios requeridos para su uso.

Las últimas páginas muestran que la difusión de tecnología es un proceso bastante más complicado de lo que algunos estudios y algunas políticas (alimentadas por aquéllos) han supuesto. Tan solo cabría reiterar que el grado de complejidad es aún mayor si, en vez de tecnologías asociadas con un sólo producto o proceso, se trata de conjuntos de tecnología que constituyen un paradigma tecnoeconómico enteramente nuevo, cuyas aplicaciones potenciales abarcan un rango extenso de ramas industriales. En este caso, el proceso schumpeteriano

de “destrucción creativa” toma mucho más tiempo, porque remueve mucho más intensamente las estructuras económicas y sociales.

La difusión de la biotecnología en los países subdesarrollados

El desarrollo de la biotecnología está en un punto donde pesa mucho la capacidad científica y donde aún quedan pendientes muchos problemas tecnológicos, cuya solución estriba en un aumento de la base científica disponible para convertir los inventos en innovaciones, lo cual, a su vez, atañe directamente a los esquemas institucionales a través de los cuales se pretende encarar la relación entre la actividad científica y la actividad industrial. Hay, igualmente, problemas relacionados con el mercado, los que sumados a los anteriores explican que la biotecnología se esté difundiendo muy lentamente en las mismas naciones industrializadas (más adelante se detalla este punto).

En lo que atañe a los países subdesarrollados, la difusión de la biotecnología tendrá, presumiblemente, muchos más tropiezos que en los industrializados. Algunas estimaciones plantean que el impacto de la biotecnología en la industria de los países subdesarrollados tendrá lugar entre diez y veinte años después de ocurrido en las naciones avanzadas (Cuadro 7). En la línea de argumentar esta apreciación deben tomarse en cuenta diversos factores, los cuales se suman, lógicamente, a los expuestos en el apartado anterior.

Cuadro 7. Fecha del primer impacto significativo.

Industria	Estados Unidos	CEE	Japón	Unión Soviética	China	Países en desarrollo
Química-farmacéutica	1990	1990	1990	1998	2002	2005
Agricultura	1996	1996	1998	2002	2005	2008
Forestal	2008	2209	2011	2013	2017	2020
Alimentos (aditivos)	1997	1997	1998	2005	2007	2010
Química	1999	2000	1997	2006	2011	2016
Energía	2010	2010	2008	2014	2016	2020
Control de la contaminación	2002	2002	2002	2015	2018	2023
Minería	2009	2012	2015	2016	2017	2021
Bioelectrónica	2010	2011	2007	2019	2023	2029

Fuente: Quintero 1989.

Sin hablar, por ahora, del caso específico de la biotecnología, los países de la región no cuentan con una estructura bien conformada para llevar a cabo su desarrollo científico y tecnológico. Poco dinero, poco personal, políticas inadecuadas, instituciones débiles, falta de vínculos, parecen ser rasgos comunes de la situación existente en gran parte de la región. No puede hablarse, en términos generales, de la existencia de un sistema nacional de innovación que establezca los esquemas organizativos y los mecanismos de funcionamiento para que se den, de la manera más eficiente posible, los procesos de generación, difusión y utilización de tecnología. Aquí reside una de las mayores diferencias con respecto a las naciones avanzadas.

Estas cuentan con un contexto mucho más propicio, con un mejor "piso" para poder emprender con éxito una estrategia. En América Latina, ese "piso" no es muy firme y hace que un investigador trabaje en condiciones muchísimo más difíciles y desventajosas que su colega europeo o japonés. Algo similar ocurre con las empresas latinoamericanas, las cuales se desempeñan en un entorno industrial ineficiente, donde las cosas no "caminan" y la competencia con empresas de países industrialmente más organizados suele ser, desde un principio, guerra perdida.

Además de lo anterior, en el caso concreto de la biotecnología, los países latinoamericanos también deben enfrentar carencias más o menos graves. Diversos trabajos detectan debilidades importantes en varias de las disciplinas básicas asociadas con la biotecnología. A simple título ilustrativo, cabe referir que México, uno de los países más grandes de la región, dispone de 200 biotecnólogos, mientras que solo el Centro de Biotecnología de la Universidad de Wisconsin cuenta con 240 (Otero 1989). En el mismo tenor Quintero (1989) muestra las notables deficiencias de las naciones latinoamericanas en el área de la ingeniería genética vegetal⁶.

Por otro lado, el proceso de difusión de la biotecnología también se ve entorpecido en los países subdesarrollados debido a las dificultades para el acceso a la información, lo cual se explica no sólo por lo dicho hasta ahora, sino también por las restricciones que están siendo impuestas como consecuencia de la privatización de la investigación en este campo. Las transformaciones que se intentan llevar a cabo en el régimen de protección de los derechos de propiedad industrial e intelectual, son vistas por muchos estudiosos como una de las más serias amenazas para la difusión de las biotecnologías en las naciones del Tercer Mundo (consultar, por ejemplo, Arroyo y Waissbluth 1988). A ello debería sumarse el hecho de que la biotecnología tiende a ser un negocio dominado, en muchas de sus áreas, por las grandes corporaciones multinacionales, lo cual determina que éstas se conviertan en administradoras del progreso técnico y de su difusión y que no puede resultar extraño a nadie que los intereses de aquéllas sean muchas veces diferentes y hasta opuestos a los de los países subdesarrollados.

El universo productivo es, asimismo, muy heterogéneo. La debilidad del sistema nacional de innovación perjudica en especial a las pequeñas y medianas unidades de producción (empresas o fincas), a las cuales se les vuelve mucho más difícil acceder a los desarrollos recientes de la biotecnología y llevar a cabo los procesos de aprendizaje que les permitan, si disponen de la tecnología, asimilarla y dominarla; las posibilidades más claras están, por lo general, del lado de las unidades de mayor tamaño, algunas de las cuales podrían remediar por su cuenta la deficiencia de tal entorno. Esta idea asoma como hipótesis y volverá a ser considerada cuando se examinen los criterios en los que podría fundamentarse una estrategia para el desarrollo de la bioindustria en los países de la región.

Por último, en los países de la región todavía no pareciera haber un convencimiento general muy fuerte sobre los beneficios derivados de la biotecnología, aparte de que se piensa, cosa que por lo demás es muy cierta en varias áreas, que las inversiones requeridas tanto en lo que se refiere a la parte industrial como a la más específicamente ligada a las actividades de I y D, son muy altas y suponen en gran parte la obsolescencia de inversiones previas.

6 Sin embargo, hay que matizar estos señalamientos, pues se trata de afirmaciones que recogen una "situación promedio" y por lo tanto esconden las diferencias existentes entre los países de la región y a la vez dentro de cada país. Adicionalmente, es preciso reconocer que en los últimos años, sobre todo en algunos países, se han hecho esfuerzos importantes que han mejorado la situación y podrían, a mediano plazo, revertir las condiciones hoy en día imperantes para el desarrollo de la biotecnología.

Lógicamente, estos factores deben ser percibidos como obstáculos serios para la difusión de estas tecnologías en los países de ALC, en la medida que dificultan el conocimiento de las mismas, su selección y evaluación, su uso adecuado y su adaptación y mejora.

El proceso de transferencia de la biotecnología

Se trata de un tema muy cercano al anterior y de crucial importancia en los países latinoamericanos. Para hacer funcionar su aparato productivo, éstos dependen en gran parte de los conocimientos y tecnologías que adquieren de los países industrializados. La política en relación con la transferencia de tecnología debiera ocupar, consecuentemente, un lugar central dentro de la estrategia de desarrollo económico. Sin embargo, ello no ha sido así en términos generales. Es más, ni siquiera se la ha sabido ubicar de manera adecuada dentro del conjunto de políticas científicas y tecnológicas. Varias razones permiten entender porqué.

El proceso de transferencia de tecnología hacia los países subdesarrollados: una visión general

Hay algunas ideas que han circulado en los países latinoamericanos en relación con la transferencia de tecnología. A los efectos de este trabajo vale la pena considerar de manera sucinta tres de ellas:

1. La idea de que **los procesos de transferencia de tecnología y los procesos de generación endógena de tecnología son mutuamente excluyentes**, es decir, que la adquisición de tecnología en el extranjero es, en toda circunstancia, un desestímulo para el desarrollo científico y tecnológico propio (puesto que se propicia el uso de tecnologías no generadas por el propio aparato científico). De aquí derivó una concepción de las políticas de transferencia de tecnología que acentuó el carácter regulador, estableciendo limitaciones y condiciones de diversa índole a la compra de tecnología foránea. En la práctica, su *desiderátum* fue la firma de “buenos” contratos de tecnología que no incluyeran las famosas “cláusulas restrictivas” y representaran el pago más bajo posible.
2. La idea de que **la compra de maquinarias y equipos equivale a la adquisición de tecnologías**, es decir, la confusión entre “capacidad de producción” (las instalaciones físicas a través de las cuales se produce) y “capacidad tecnológica” (los diversos tipos de conocimientos, informaciones, destrezas que sustentan la capacidad de producción y permiten usarla adecuadamente, adaptarla, mejorarla, cambiarla). En general, en las empresas de la región, privó el interés por adquirir el primer tipo de capacidad y no el segundo. Hubo “industrialización”, pero no “tecnologización”, para decirlo con las palabras de Halty (1986).
3. La idea de que **la unidad productiva es mera receptora del paquete tecnológico que utiliza**. Desde este punto de vista, la gerencia de los aspectos tecnológicos quedó circunscrita a la compra de tecnologías, para lo cual se supone que la empresa posee toda la información necesaria para tomar la decisión más conveniente a sus intereses. Una vez seleccionada la tecnología y escogido el proveedor, la empresa hace uso de la tecnología adquirida.

Sin embargo, en los últimos años se ha ido fraguando un esquema distinto con respecto a la transferencia de tecnología, esquema que ya ha empezado a tener repercusiones concretas,

tanto en el diseño de políticas públicas como en los esquemas de gerencia de tecnología dentro de las empresas. Con respecto a los tres aspectos recogidos arriba, los cambios pueden resumirse de la manera siguiente:

- a) Diversos trabajos demuestran que la transferencia de tecnología desde el exterior es muchas veces **la única vía que tiene un país subdesarrollado para crear capacidades tecnológicas propias**. A partir de esta conclusión, las políticas latinoamericanas han iniciado un viraje hacia un enfoque que pone el acento en el escogimiento de las modalidades de entendimiento con el proveedor, que mejor sirvan para **estimular un proceso de acumulación de capacidades tecnológicas en la empresa local**. Dentro de este contexto, el mejor contrato no es ya aquel que resulte más “barato”, sino aquél que detalle de la manera más precisa las maneras como se ha de dar el proceso de transferencia de conocimientos desde el proveedor hacia el usuario.
- b) En consecuencia, hoy en día se ha abierto paso un enfoque diferente, dentro del que la **asimilación y el aprendizaje** son los componentes esenciales de la estrategia de desarrollo tecnológico endógeno.
- c) Tanto en la teoría como en la práctica se ha puesto de manifiesto que la unidad productiva (la empresa, la finca) es el lugar donde fundamentalmente se da la acumulación de capacidades tecnológicas, o sea, que no es un ente que se limita a escoger y recibir la tecnología que va a emplear⁷. Por el contrario, la empresa receptora deberá crear y desarrollar conocimientos e informaciones adicionales que le permitan usarlos cotidianamente. El desempeño de la empresa depende vitalmente de la introducción continua de cambios técnicos “menores” que optimizan, adecúan, cambian y mejoran el sistema tecno-productivo utilizado. Tales cambios provienen, en buena medida, de las inadecuaciones del paquete extranjero con respecto a las condiciones reales dentro de las que debe funcionar para la empresa adquiriente (Avalos y Martel 1988).

Principales modalidades de la transferencia de tecnología

Pueden distinguirse tres vías para la transferencia de tecnología, las cuales admiten diversos tipos de mezcla que, dada la naturaleza de este trabajo, no serán consideradas aquí. Estas son: la inversión a través de la constitución de empresas subsidiarias, la inversión a través de la constitución de empresas mixtas de diversa naturaleza con socios locales y, por último, la firma de contratos de tecnología, que también pueden ser de distinta clase. Cada

⁷ Esto no es así por lo menos por tres motivos. En primer lugar, y por razones que no cabe explicar aquí (pero que en todo caso se asocian con la naturaleza misma de la tecnología), no existe tal cosa como un “archivo” de tecnologías disponibles en un momento dado, al cual se pueda acceder para escoger la que más convenga. Esto significa que inclusive el acto de adquisición, el cual envuelve la selección, la evaluación y la negociación es difícil, dado que se hace a partir de grados más o menos apreciables de desinformación con respecto a lo que se quiere comprar. En segundo término, porque el proveedor no suministra un paquete tecnológico absolutamente acabado, listo para ser usado –tal cual y como está– por el comprador. Dicho de otra manera, no es frecuente que exista de antemano el paquete que el comprador necesita, el que se acopla a sus condiciones y propósitos; lo habitual es, por el contrario, que dicho paquete tenga que ser construido “a la medida”, lo cual sólo puede lograrse si el comprador asume un papel activo en la determinación de sus requerimientos tecnológicos. En tercer lugar, porque desde ningún punto de vista debe entenderse que la empresa compradora recibe un paquete, cuyo diseño puede prever la mayor parte de las contingencias que debe enfrentar a lo largo de toda la experiencia de producción.

una de las vías tiene tras sí motivaciones y estrategias diferentes e, igualmente, supone formas y grados de transferencia de tecnología distintos. También implican, por supuesto, esquemas variados de negociación y su factibilidad depende de un conjunto de factores en relación con los cuales no se pueden establecer recetas generales, por cuanto responden a numerosas variaciones vinculadas al país receptor de la tecnología, a las empresas envueltas en la transacción y al tipo de tecnología que se pretende negociar. A continuación, se hace una breve exposición de los aspectos involucrados en la transferencia de tecnología, útil para ilustrar las complicaciones del tema y dar algunas bases al diseño de políticas más realistas y efectivas en la región.

Inversión o contratos de tecnología

Los costos y beneficios derivados de una y otra modalidad dependen de diversos aspectos. Entre los más importantes se pueden destacar los siguientes:

- a) Aspectos asociados con el país receptor de la tecnología. Respecto de este punto es preciso indicar varios hechos:
 - En general se ha establecido que, mientras mayores sean las capacidades tecnológicas e industriales del país receptor, más fuerte será la tendencia a emplear los contratos de tecnología e incluso contratos de licencia exclusivamente (ver distinción más abajo). De hecho, se puede observar que, en las transacciones entre los países desarrollados, el contrato es un recurso que se emplea mucho más que en situaciones en las que están involucrados países subdesarrollados. La desproporción es aún más notable cuando se toman en consideración, dentro de estos contratos, los llamados contratos de licencia (ver más abajo).
 - Cabe advertir, sin embargo, que lo anterior tiende a no cumplirse si la empresa propietaria de la tecnología percibe que el país receptor de la tecnología puede representar una competencia importante en terceros países.
 - Asimismo, cuanto más grande sea el mercado del país receptor de la tecnología, el proveedor de la misma tiende a preferir alguna forma de inversión por sobre alguna forma de contrato.
 - Por otra parte, es obvio que la legislación económica del país receptor (normas laborales, sobre inversiones extranjeras y demás) influye de manera apreciable en el modo en que se transfiere la tecnología. Un marco legal que puede ser percibido como restrictivo y poco estable propicia la selección del contrato, en lugar de la creación de subsidiarias o de empresas mixtas.
- b) Aspectos asociados con la empresa dueña de la tecnología. En relación con este punto caben dos comentarios:
 - El tamaño de la firma juega un papel muy importante en la propensión a celebrar contratos de tecnología. Así, las firmas pequeñas y medianas son más proclives a vender la tecnología que a efectuar inversiones. Ello porque, en general, no pueden asumir los costos que implican éstas y, además, es menor su temor a crearse competidores, dado que su porción de mercado es lógicamente pequeña.

- Si el dueño de la tecnología es una firma de ingeniería o un centro de investigación que no explota por cuenta propia la tecnología, está más dispuesto a celebrar contratos de licencia que aquellas empresas que, siendo también propietarios de la tecnología, la comercializan por sí mismas.
- c) Aspectos asociados con el grado de novedad de la tecnología. En este caso procede señalar lo siguiente:
- Mientras más nueva sea la tecnología y mayor el grado de exclusividad, el proveedor preferirá no cederla por vía contractual. Incluso cabe observar que, en caso de que la cesión de la tecnología sea la modalidad de transferencia seleccionada, el proveedor procurará que la cesión se de en los términos más costosos y restrictivos posibles.
 - No obstante lo anterior, si la empresa tiene una gran capacidad innovadora y se mueve en un sector con una alta tasa de cambio técnico, manteniéndose en la frontera tecnológica, el miedo a la competencia por el hecho de ceder su tecnología disminuye y, consecuentemente, puede mostrar mayor inclinación por la firma de un contrato de tecnología que por la inversión.
 - Lógicamente, los costos de transacción son menos altos cuanto menos nueva y menos compleja sea la tecnología.
- d) Aspectos asociados con el régimen de apropiación de la tecnología. Como resulta fácil suponer, si el régimen de apropiación de la tecnología (ver próximo apartado) no ofrece al proveedor las suficientes garantías de control sobre su tecnología, éste preferirá el canal de la inversión al del contrato.

Subsidiaria o empresa mixta

En forma muy general se puede establecer que la empresa propietaria de la tecnología prefiere la constitución de empresas mixtas en situaciones similares a las que, como se dijo arriba, la llevan a preferir los contratos de licencia con respecto a las inversiones. Tales situaciones se dan: 1) cuando el país receptor cuenta con un buen nivel de desarrollo tecnológico e industrial y con un mercado grande; 2) cuando el proveedor es una empresa pequeña o mediana; y 3) cuando la tecnología ha madurado (aunque este factor pesa ostensiblemente menos en este caso).

Los contratos de tecnología

Los contratos de tecnología regulan su compraventa cuando ésta tiene lugar entre la empresa propietaria y una empresa independiente. Según la gama de conocimientos que se transfieren, pueden distinguirse tres tipos distintos de contrato:

1. Contrato de cobertura limitada. Dentro de esta clase se ubica el contrato de licencia, el cual se suele usar, erróneamente, como término genérico para designar todos los contratos de tecnología. Mediante el contrato de licencia se establecen las condiciones a través de las cuales se ceden los derechos para usar patentes y marcas de los que es titular la empresa proveedora; igualmente, se regula la transmisión de cierto *know how* que se requiere, la mayoría de la veces, para poder emplear los conocimientos cedidos. La celebración de este contrato implica que la empresa receptora tiene suficiente capacidad tecnológica.

2. Contrato de cobertura media. Este contrato incluye, además de los elementos mencionados en la categoría precedente, un conjunto de servicios técnicos que complementan los conocimientos cedidos a través de patentes, marcas y *know how*. Tales servicios incorporan conocimientos e informaciones sobre los que no hay derecho de propiedad (aunque sí puede haber obligaciones de confidencialidad), los cuales se transmiten a través de actividades como las siguientes: suministro e instalación de equipos, arranque de planta, entrenamiento, control de calidad, mantenimiento y otros.
3. Contrato de cobertura ampliada. Este contrato suele estar vinculado con nuevos proyectos de inversión o proyectos importantes de ampliación. Por su intermedio se transfieren paquetes integrados de tecnología que incluyen toda la gama de informaciones y conocimientos que el receptor requiere para hacer uso de una o varias patentes. Incluye los elementos contemplados dentro de las categorías precedentes, más todos aquellos que resulten imprescindibles para el comprador, con el fin de que pueda poner en marcha el nuevo proyecto (construcción y montaje de planta, arranque de planta, construcción y suministros de maquinarias, equipos y demás). En general, y si se lo compara con los precedentes, puede afirmarse que este contrato tiende a suponer menos capacidad tecnológica por parte del comprador, costos de transacción más elevados e, igualmente, un mayor grado de control de la empresa propietaria de la tecnología sobre la empresa compradora.

Rasgos básicos del régimen de apropiación de la tecnología

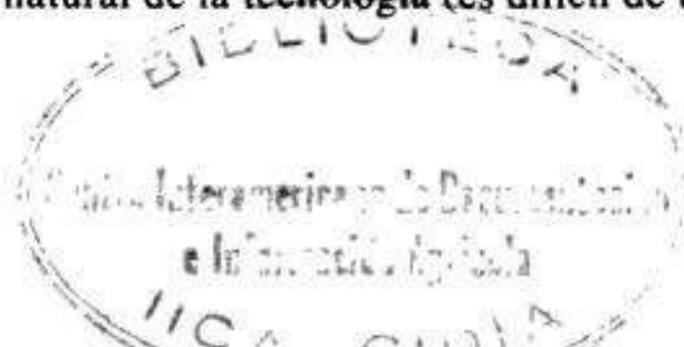
Se trata de un aspecto fundamental para explicar la difusión y la transferencia de tecnologías y, como parte de ello, la imitación tecnológica.

En los textos de economía industrial suele asumirse que las diferencias en el grado de apropiación de la tecnología se dan en función del tamaño de la empresa y de la estructura del mercado. Así, queda establecido de manera general que las grandes empresas, operando en mercados concentrados, logran un margen alto de "apropiabilidad". La literatura sobre difusión de tecnologías y cambio técnico contribuye a explicar esa apreciación.

El régimen de apropiación cubre diferentes aspectos que, al margen de la estructura del mercado, establecen la posibilidad de que la empresa innovadora pueda mantener el control sobre la explotación de la tecnología que ha generado. El régimen de apropiación se sustenta en cuatro aspectos básicos: la naturaleza de la tecnología, el sistema legal, el secreto industrial y las capacidades complementarias, indispensables para el uso de la nueva tecnología.

En relación con la naturaleza de la tecnología, el régimen de apropiación varía de acuerdo con los siguientes aspectos:

- a) El hecho de que las tecnologías sean de productos o de proceso. En líneas generales éstas son más fáciles de resguardar que aquéllas.
- b) El grado de organización y de codificación que tenga el conjunto de conocimientos que las sustenta. Hay tecnologías en las que el conocimiento tiene un alto componente "tácito" (Nelson y Winter 1977), es decir, tiene un nivel bajo de codificación, lo cual constituye de por sí una protección natural de la tecnología (es difícil de transmitir y de copiar).



- c) Por último, hay que considerar si la tecnología ya está implantada y constituye un diseño dominante o si, por el contrario, se está al comienzo de una nueva tecnología y existen diversos diseños que compiten entre sí. La naturaleza y efectividad de los mecanismos de protección es diferente en cada caso (mayor en la primera situación que en la segunda).

Por otra parte, el sistema legal se basa principalmente en tres mecanismos:

- a) patentes
- b) derechos de propiedad intelectual
- c) marcas

La efectividad de cada uno de ellos depende, en buena parte, de la naturaleza de la tecnología. Así, en principio, son mucho más efectivos para garantizar la apropiación de las tecnologías de producto que las tecnologías de proceso.

El **secreto industrial** es un mecanismo que, en cierta forma, pudiera catalogarse de "para-legal". En muchos casos, es un mecanismo de protección más efectivo que el sistema legal y suele ser más eficaz para resguardar las tecnologías de proceso.

Las llamadas **capacidades complementarias** son aquellas capacidades que resultan indispensables para el uso comercial exitoso de la innovación. Principalmente, hay que hacer referencia a capacidades relacionadas con la manufactura y la comercialización. Tales capacidades pueden ser genéricas (no son particulares de la nueva tecnología) o específicas (necesitan ser desarrolladas para la explotación de una determinada innovación). Algunas son comercializables, otras no. El que se trate de una clase u otra de capacidades y la circunstancia de que estén o no a disposición de la empresa innovadora, afecta de manera muy importante el grado de control que esta última puede ejercer sobre su nueva tecnología y, por supuesto, su grado de difusión. En principio, estas capacidades son relativamente más importantes, como medio de protección, a medida que madura la tecnología. Lógicamente, según se verá después, cabría suponer que este último no es el caso de la bioindustria.

La transferencia de biotecnologías

Los procesos de transferencia de tecnología dependen, pues, de muchos factores. En lo que concierne a la biotecnología esos procesos son más difíciles de entender, dado que las cartas aún no han sido echadas y, por lo tanto, queda mucho espacio para la especulación. No obstante, vale la pena el esfuerzo de ensayar algunas hipótesis que muestren dentro de qué condiciones es probable que se den.

Según lo indicado en los dos apartados anteriores, cabría hacer una afirmación global: el mecanismo predominante para la transferencia de biotecnologías hacia los países de la región será el de la inversión (incluyendo la constitución de empresas mixtas) y no el contrato de tecnología. En su favor podrían argüirse tres razones principales:

1. La biotecnología agrupa tecnologías muy nuevas y relativamente poco resguardables, lo cual hace pensar que la empresa eventualmente interesada en transmitir las lo querrá hacer por la vía que le garantice mayor control sobre los conocimientos que posee.

2. Usualmente son las grandes corporaciones las que, de una u otra manera, controlan la biotecnología (sea por medio de la propiedad legal, sea por medio de la disponibilidad de las capacidades complementarias que permiten la explotación comercial de un invento, aun cuando no sean titulares de la patente).
3. Los países subdesarrollados carecen, en general, de las capacidades científicas, tecnológicas e industriales suficientes para hacer uso de los contratos de tecnología (en particular los llamados de cobertura limitada), como medio para que se de el proceso de transferencia de tecnología.

Tanto la afirmación como su soporte son, no obstante, demasiado generales. Hacen falta algunas consideraciones adicionales que permitan apreciar con un poco más de exactitud cuáles son, en concreto, las condiciones dentro de las que podría ocurrir la transferencia de biotecnologías hacia países como los de la región.

En esta dirección, hay que considerar, por un lado, las llamadas biotecnologías básicas (ADN recombinante, anticuerpos monoclonales, inmovilización de enzimas), aplicables en diversas áreas productivas (propagación de plantas, uso de *kits* de diagnóstico para control de calidad, ingeniería de proteínas para mejorar productos alimenticios), las cuales integran un conjunto de conocimientos, en su mayor parte bien organizados y codificados y por ende transmisibles. Tales conocimientos se hallan estrechamente vinculados con la actividad científica y se expresan fundamentalmente en tecnologías de proceso, razones ambas que hacen que, por lo general, sean de difícil protección desde el punto de vista legal. Además, su alto componente científico tiende a hacerlas más o menos divulgables, a pesar de las restricciones ya mencionadas. En lo que se refiere a estas tecnologías básicas pareciera más adecuado hablar de transferencia de conocimientos científicos, en vez de transferencia de tecnología, siendo la vía de acceso a ellos no tanto la contractual (bajo el esquema típico de los acuerdos para la transferencia de tecnología), sino más bien el convenio para la preparación de recursos humanos y la disponibilidad de mecanismos de monitoreo que permitan saber qué información hay, donde está y cómo se puede conseguir.

Una situación distinta a la anterior es la que plantean los productos logrados a partir de la aplicación de las biotecnologías básicas. Su desarrollo (se está haciendo referencia a variedades vegetales, *kits* de diagnóstico, microorganismos) supone la creación de conocimientos más específicos (es decir, asociados con productos determinados), menos divulgables y desde luego susceptibles de mayor protección. Los instrumentos legales, en particular la patente, tienen cierta efectividad; pero lo más importante (y ésta es la tendencia en la medida que la bioindustria madure), las capacidades complementarias en el área de la manufactura y del mercadeo se hacen mucho más importantes como medios de apropiación. Por tanto, obviados otros elementos, el proveedor preferirá como vías de transferencia aquéllas que le permitan mayor control (exportaciones directas, creación de subsidiarias, creación de empresas mixtas).

Lo anterior no tiene que ser necesariamente válido en todas las situaciones. No lo es, ciertamente, para las empresas de menor tamaño. A éstas les resulta complicada la inversión fuera de su país e incluso la exportación directa de sus productos y, por tanto, la negociación directa de su tecnología, por la vía de un contrato de licencia, puede verse como una alternativa plausible, a la cual han recurrido en muchas ocasiones ante la presión por parte de las grandes empresas trasnacionales, hecho que muy bien pudiera repetirse en su relación con las empresas de países subdesarrollados.

Para que los países subdesarrollados puedan hacer uso del contrato de tecnología como medio de adquirir capacidades en el área de la biotecnología, habrá que tener en cuenta dos factores que han sido varias veces aludidos en el presente documento: la debilidad del aparato científico-tecnológico en casi todas estas naciones y, en el mismo sentido, la escasa capacidad tecnológica de la mayoría de sus empresas. Siendo esto así, la transferencia vía contractual tenderá a ser más probable con las empresas más capaces (en general las más grandes) y por medio del tipo de contrato que se denominó de **cobertura media**, el cual podría obviar las carencias anotadas. Los contratos de **cobertura limitada** no serían procedentes debido a esto último; tampoco los de **cobertura ampliada** porque, dado lo incipiente del desarrollo de la biotecnología, el proveedor no dispone todavía de paquetes tecnológicos completos y transferibles.

Otra vía, disponible aunque quizá menos posible para los proveedores no muy grandes, es la creación de algún tipo de **empresa mixta**, modalidad que se ha puesto en práctica primordialmente mediante arreglos con firmas trasnacionales, aun cuando se citaron algunos ejemplos que involucraban acuerdos con empresas de países subdesarrollados. En el primer caso, la iniciativa de constituir la empresa mixta es tomada por la gran corporación y, en la mayoría de los casos, "impuesta" a la pequeña empresa; la segunda ha sido poco explorada pese a que pudiera representar una alternativa mucho más ventajosa tanto para estas últimas como para los países subdesarrollados (los casos conocidos así lo evidencian).

Igualmente, debe considerarse la opción de la transferencia de tecnología cuando el proveedor es un **centro de investigación** o una **firma de ingeniería**, entidades que usualmente no explotan por cuenta propia el conocimiento que desarrollan. También esta circunstancia se ha presentado frecuentemente en los países avanzados y podría ser una posibilidad relevante para empresas de países subdesarrollados que cuenten con cierta capacidad científica y tecnológica (de hecho ya hay bastantes casos en América Latina). El acuerdo contempla diversas modalidades (transferencia de conocimientos, explotación conjunta de patentes, contratos de investigación, contratos de comercialización y otros).

En cuanto a la asimilación como una forma (esencial por lo demás) de crear y fortalecer las capacidades tecnológicas endógenas, en el caso de la biotecnología sólo va a ser posible si se dispone de una importante capacidad de I y D. Las vías del aprendizaje, basadas en esquemas tales como el monitoreo de la experiencia de planta o el de la "ingeniería al revés", no serán suficientes (y mucho menos en la fase actual de evolución de las biotécnicas).

La biotecnología: ¿Nuevo paradigma y viejos actores?

Interesa determinar cuál es el grado de desarrollo de la bioindustrialización, cuáles las barreras a la entrada y cuáles, por tanto, las oportunidades de entrar en el negocio de la biotecnología para los países de ALC. Aun cuando sólo es posible moverse dentro de meras suposiciones, vale la pena iniciar una tarea que sin duda resulta indispensable para el diseño de estrategias y de políticas. Conforme se ha procedido en relación con otros aspectos, también en este caso se procurará introducir el tema haciendo algunas consideraciones teóricas, con la idea de que puedan servir de orientación en el análisis de la situación que encara la región.

La teoría del ciclo de vida del producto

Se trata de un tema que se relaciona con el de la difusión y, por tanto, con el de la transferencia de tecnologías. La teoría del ciclo de vida del producto fue concebida para

destacar los cambios que se producen en la tecnología, la demanda y la estructura industrial en el marco de la evolución de un producto⁸. Postula la existencia de tres fases a lo largo de las cuales tiene lugar dicha evolución, cuyas características son, en esencia, las siguientes:

1. **Primera fase: introducción.** No hay un concepto tecnológico dominante, la capacidad científica y tecnológica es decisiva, prevalece la producción en pequeños lotes, no hay un mercado definido (ni en cuanto a su volumen ni a sus preferencias), la demanda es poco elástica con respecto al precio y la industria es marcadamente monopólica.
2. **Segunda fase: crecimiento.** Se establece la tecnología y se producen innovaciones menores constantes (sobre todo de proceso), aparecen las economías de escala, se conforma un mercado, bajan los precios, la demanda se hace más elástica y la industria más competitiva.
3. **Tercera fase: madurez.** La tecnología se estabiliza y se difunde ampliamente, las economías de escala aumentan, el mercado se hace más exigente, aumenta la elasticidad de la demanda, la capacidad de comercialización se vuelve crucial y la industria tiende nuevamente a concentrarse.

Dados los fines del texto, interesa señalar principalmente que toda innovación tiende a cambiar desde los productos a los procesos (éstos últimos fuertemente asociados con las economías de escala) y, finalmente, desde las innovaciones mayores (radicales) a las innovaciones menores, tanto de productos como de procesos. Este patrón de evolución implica, asimismo, un cambio en la naturaleza y la importancia de las barreras a la entrada (patentes, marcas, economías de escala, costos, niveles de calidad, mecanismos de distribución, precios), indicando que las mismas son menores en las fases tempranas del ciclo.

Este planteamiento puede ser una ayuda valiosa para la determinación de estrategias de desarrollo industrial, y de hecho así ha sido tomado, sobre todo para precisar cuáles son las oportunidades de entrada en una industria. Sin embargo, se corre el peligro de convertirlo en un recetario, cuya aplicación mecánica puede llevar a errores. Para su mejor comprensión y para evaluarlo justamente se precisan, pues, algunas consideraciones.

La teoría del ciclo del producto, en buena medida inspirada en las estrategias de mercadeo de las empresas, es en esencia una teoría de comercio internacional y ha servido, entre otras cosas, para explicar la posición y las oportunidades de los países subdesarrollados con respecto al desarrollo industrial. En un principio, reza el planteamiento medular, las nuevas tecnologías son incorporadas a los productos de exportación del país innovador; posteriormente, a medida que la tecnología madura y se hace más conocida, es transferida por la vía de subsidiarias, empresas mixtas y contratos de tecnología. Ello se explica porque, en esta última situación, la tecnología es más difícil de proteger y al mismo tiempo hay, por lo general, menos interés en hacerlo. Dentro del conjunto de barreras a la entrada, la tecnología pierde importancia relativa.

En su versión más clásica, la teoría del ciclo del producto sustenta un punto de vista fuertemente difusionista. En efecto, Dosi (1986) sostiene que, de acuerdo con ella, todo tiene un lugar que ocupar en la división internacional del trabajo, puesto que las ventajas

⁸ Naturalmente hay diversas versiones de la teoría. Aquí se recoge el cuerpo básico de ideas, su "común denominador", pues es lo que resulta pertinente para estas páginas.

comparativas basadas en cierta superioridad tecnológica tienden a seguir un ciclo y desaparecer. Así, los países de industrialización tardía pueden alcanzar a los países más avanzados en sectores basados en tecnologías maduras. Desde esta perspectiva podría, entonces, suponerse que hay una tendencia a la reducción de las desigualdades tecnológicas, capaz de establecer al cabo del tiempo un emparejamiento industrial.

Pero esto no es inexorablemente cierto. Una empresa o país puede mantener su superioridad tecnológica a través de una tasa muy alta de cambio técnico (tal y como se observa en las nuevas tecnologías), la cual hace difícil hablar de un ciclo (en todo caso se trata de un ciclo demasiado corto). Si a lo señalado se suma el carácter acumulativo del progreso tecnológico, podría concluirse que las oportunidades de los países subdesarrollados no pueden mirarse como algo más o menos automático, simple consecuencia de la evolución de la tecnología. En otras palabras, es perfectamente posible mantener para un país y para una empresa una ventaja tecnológica por largo tiempo, sin seguir ningún ciclo. El caso de los semiconductores es claro en este respecto: se observa una tasa muy alta de cambio técnico, lo cual impide que los productores sigan un ciclo porque son rápidamente sustituidos por productos nuevos.

No debe caerse, pues, en una interpretación simplista de la teoría. Hay que hacer a un lado la idea de que a los países subdesarrollados sólo les corresponde entrar a partir de cierto nivel de evolución de la tecnología, ni que esa entrada es automática. La puesta en práctica de ciertas políticas puede hacer posible la entrada en otra fase de evolución de la tecnología (aunque sea difícil); y por otro lado una falta de política puede hacer imposible la entrada en la fase que, desde el punto de vista de la teoría, lucía como posible (y hasta fácil). El caso japonés demuestra que las ventajas o desventajas comerciales y tecnológicas pueden ser aceptadas como resultado de los mecanismos endógenos del mercado o, por el contrario, pueden ser deliberadamente conquistadas por medio de políticas e instituciones adecuadas, si existe un sistema nacional de innovación bien constituido y con un buen nivel de desempeño.

La bioindustrialización y las oportunidades de entrada para los países subdesarrollados

Como apreciación global cabe afirmar que se está delante de un proceso reciente, lo que no permite hablar de un paradigma tecnológico definido (mucho menos consolidado) y de una presencia determinante de las biotécnicas dentro de la industria. En este sentido conviene, pues, volver sobre algunas de las ideas ya esbozadas en torno a la biotecnología:

- Existencia de una alta incertidumbre tecnológica, debido a la ausencia de un diseño dominante en relación con la mayoría de los procesos y productos hoy en día existentes.
- Existencia de una alta incertidumbre comercial, como consecuencia de la falta de un concepto dominante de mercado.
- Falta de un patrón de inversión claramente establecido, en buena parte como consecuencia de la doble incertidumbre mencionada.
- Una relativamente lenta tasa de difusión de las biotécnicas.

- La posibilidad de surgimiento de **empresas nuevas**, basadas primordialmente en su habilidad para anticipar nuevos mercados y su capacidad para innovar.
- La **competitividad** entre las empresas dependientes sobre todo de las características de los productos y no tanto de la reducción de costos (salvo, por supuesto, en el caso de productos biotecnológicos que compiten con productos “viejos”, disponibles en el mercado).
- La presencia de **oligopolios nacionales inestables**, según la expresión de Dosi (1986), como característica de la estructura industrial.

A partir de este retrato que, vale la pena reiterarlo, describe una **situación promedio**, se podría llegar a pensar que la principal barrera a la entrada la constituye el acceso a ciertas capacidades científicas y tecnológicas. Sin embargo, puesta así, ésta es una conclusión simplista que podría dar lugar a la elaboración de estrategias y políticas equivocadas⁹. Hay, pues, que examinarla.

En diferentes páginas quedó dicho que las biotecnologías no constituyen, empíricamente hablando, una realidad homogénea. Se advirtió cómo dentro de la nueva biotecnología se ubican tecnologías muy distintas en cuanto a su nivel de complejidad y grado de desarrollo. Se señaló, incluso, que una parte importante de la vieja biotecnología coexiste con la nueva y, más aún, ésta cambia a aquélla en muchos de los aspectos. En fin, se tiene un cuadro variado de tecnologías básicas, en relación con las cuales las posibilidades de acceso oscilan entre límites que van desde condiciones de escasa dificultad (cultivo de tejidos, por ejemplo) hasta las de extrema dificultad (ingeniería genética). Como complemento de lo señalado, la magnitud de las inversiones guardan, por lo general, correlación directa con el rango de la dificultad científico-tecnológica.

Por tanto, las aplicaciones desarrolladas a partir de estas tecnologías básicas también muestran oportunidades de entrada muy disímiles: altas, como la obtención de proteínas microbianas mediante desechos agrícolas; intermedias, como la producción de algunos biofertilizantes; y bajas, como en el caso de las vitaminas o los antibióticos. También aquí cabe observar una correlación con respecto al tamaño de las inversiones que se necesitan.

Pero aún tendría que hacerse otra consideración, estrechamente vinculada con lo apuntado arriba: **una parte significativa del desarrollo inicial de la biotecnología ha empezado a tener lugar dentro de una estructura industrialmente madura, altamente concentrada y globalizada, cuyos actores dominantes son las grandes empresas que controlan el negocio de los agroquímicos, de los alimentos y de los fármacos.** De esta manera se regresa al argumento de que si bien se trata de un nuevo sistema tecnológico, no pareciera correcto hablar de una nueva estructura industrial. En otras palabras, el desarrollo de la biotecnología, o mejor el proceso de bioindustrialización, está teniendo lugar fundamentalmente en el seno de una industria ya consolidada, a la cual no resulta fácil acceder. Así las cosas, el conocimiento científico no es, a pesar de su importancia, la principal barrera a la entrada¹⁰. Pareciera condición necesaria, pero no suficiente. La presencia de las grandes

9 Pero aun aceptándola se trataría de una barrera formidable de por sí, debido a la necesidad de inversiones elevadas y de recursos humanos altamente calificados.

10 Además, la teoría del ciclo del producto no puede ser tomada al pie de la letra. Por ejemplo, los costos que teóricamente no debieran pesar tanto en las fases iniciales del desarrollo tecnológico, sí importan con respecto a no pocos productos biotecnológicos que deben competir con productos ya existentes en el mercado. Son entonces una barrera a la entrada desde el comienzo.

empresas y su control sobre ciertas áreas del negocio de la biotecnología son, al mismo tiempo, causa y consecuencia de ello. Las empresas transnacionales han pasado a controlar de diversas maneras la investigación y a sacar provecho de sus resultados a partir del dominio que tienen sobre el mercado. En especial, están comenzando a dominar áreas de la biotecnología relacionadas con productos de carácter "universal" (vacunas, antibióticos, por ejemplo), destinados a mercados grandes y en los que a muy corto plazo serán imprescindibles las economías de escala. Igualmente, se encuentran en la vía de "universalizar" productos que, en principio, podrían ser de carácter específico. Ciertas variedades de plantas, por ejemplo, están siendo diseñadas genéticamente en función de los agroquímicos y no de condiciones ecológicas particulares. Todo lo anterior se traduce en un aumento en las barreras a la entrada para las empresas de los países subdesarrollados, al conspirar, incluso, contra las ventajas derivadas de la localización.

En suma, hay rasgos oligopólicos que resultan de las ventajas que tienen las grandes firmas para controlar la investigación, convertir los inventos en innovaciones, desarrollarlas y comercializarlas. Esas ventajas se potencian, además, por la estrategia de "internalización" de capacidades científicas y tecnológicas puestas en práctica por las grandes corporaciones, a través de diferentes mecanismos que les dan pie para controlar la tecnología. O sea, y apelando a la jerga de los textos de economía industrial (Williamson 1983; Naim 1984), prefieren la jerarquía al mercado, es decir, la realización por cuenta propia de actividades de investigación (aquí se incluye la creación de empresas mixtas) y no la contratación a terceros. O quizá sea más exacto decir que prefieren esquemas intermedios entre uno y otro, pero que, en todo caso, dan pie para asegurar el dominio sobre la biotecnología. Son variantes de la "jerarquía" (Goto, citado en Freeman 1988). Esta circunstancia contribuye, desde luego, a privatizar aún más esta última y también a supeditar más su difusión a los intereses de las compañías grandes.

La firma transnacional se ha convertido así, en el eje de distintos procesos (investigación, desarrollo experimental, manufactura, mercadeo) y en el punto de encuentro para la participación de distintos actores (laboratorios, fabricantes de equipos, pequeñas empresas, proveedores de insumos), a partir de lo cual construye su hegemonía económica en la bioindustria. Son particularmente notables los esfuerzos conjuntos que realizan entre ellas, con el fin de enfrentar los riesgos inherentes al desarrollo de tecnologías tan radicalmente nuevas como las que integran la biotecnología y los costos cada vez más elevados que comportan las tareas de I y D en esta área. Se están dando así acuerdos muy variados que, en términos generales, quedan ubicados dentro de los siguientes esquemas de relación:

- Financiamiento conjunto, por parte de varias empresas, de proyectos de investigación que son llevados a cabo en las universidades. Dentro de este esquema puede o no haber participación del sector público.
- Creación de centros de investigación a través del financiamiento suministrado por varias empresas, las cuales se desempeñan como socios propietarios.
- Financiamiento de pequeñas empresas innovadoras, a través del capital de riesgo aportado por las grandes corporaciones.
- Creación de consorcios cuya finalidad es crear, producir y comercializar un producto a través de la realización conjunta de actividades de I y D, ingeniería, manufactura y mercadeo.
- Sociedades entre proveedores y clientes para el desarrollo o mejoramiento de productos o procesos.

Estas son, apenas, modalidades generales, las cuales se multiplican en infinitas posibilidades de convenio, cuya finalidad es integrar esfuerzos y recursos para atender objetivos comunes. Plantean, si cabe la expresión, la manera moderna de emprender las actividades de I y D. Constituyen esquemas de colaboración imprescindibles, para que las empresas, inclusive las grandes, puedan desempeñarse en un mundo crecientemente exigente y complejo desde el punto de vista productivo. Por encima de su paradoja, cooperar para competir parece ser el lema de la actualidad.

El problema de las pequeñas y grandes empresas

Se regresa aquí a un punto aludido en diversas ocasiones a lo largo de este capítulo, de evidente relación con el punto anterior. Dado que debe suponerse que las pequeñas y medianas empresas son la nota dominante de la realidad industrial latinoamericana, la consideración acerca de la relación entre el tamaño de las empresas y las oportunidades de entrada a la bioindustria se hace inevitable.

En la bibliografía especializada es posible encontrar una interesante discusión acerca de la propensión a innovar de las empresas, de acuerdo con su tamaño. En medio de diferencias más o menos apreciables, emerge de allí una conclusión que parece gozar de bastante apoyo: las empresas de menor tamaño tienen mayor capacidad para inventar que para innovar, en tanto que en las grandes sucede a la inversa. Aquéllas tienen mayor flexibilidad estratégica, pueden anticipar mercados, ubicar nichos a través de nuevos desarrollos tecnológicos; las grandes tienen más recursos para convertir los inventos en innovaciones y, sobre todo, más recursos para mantenerse en el mercado. No obstante –y aun cuando es fácil encontrar infinidad de situaciones y de casos en donde las características de la rama industrial, de la empresa o de la innovación fijan un comportamiento completamente distinto al señalado–, vale la pena mantener, con las salvedades de rigor, la afirmación apuntada.

Con respecto al desarrollo de la biotecnología se ha podido observar, según lo señalado en páginas anteriores, que en sus comienzos el papel central lo llevan a cabo las pequeñas empresas. Sin embargo, hay que ubicar a éstas en dos grupos distintos. El primero está compuesto por las nuevas empresas (*start-up companies*), creadas expresamente para producir y comercializar productos derivados del desarrollo de nuevas tecnologías. Como ya se dijo, éstas tuvieron un papel protagónico en el despegue de la bioindustria norteamericana, pero con el paso de los años (muy pocos, por cierto), su destino ha sido llegar a algún tipo de vinculación con las grandes empresas, las cuales cuentan con más recursos y capacidades para la explotación industrial de inventos e innovaciones.

El segundo grupo está compuesto por las pequeñas empresas que existen al margen de la biotecnología, pero que de alguna manera deben vincularse con ella. El acceso a las biotécnicas y la participación en su desarrollo presentan severos obstáculos, entre los que se pueden citar las dificultades para crear y mantener capacidades de I y D internas (“intramuros”), al igual que para conocer y hacer uso de las capacidades existentes en el entorno; los problemas para encarar las exigencias financieras asociadas con el desarrollo y comercialización de muchas de las biotécnicas; la imposibilidad para contar con los recursos humanos en la cantidad y variedad (interdisciplinarietà) requerida, la existencia de patentes y el establecimiento de normas de seguridad rigurosas y costosas. Obviamente, estas empresas se encuentran en una posición mucho más difícil que las del primer grupo.

En definitiva, la situación evoluciona más favorablemente para las empresas grandes que para las pequeñas, en lo que pudiera calificarse como la tendencia dominante de la

bioindustrialización. En general, y esto parece ser lo determinante, las grandes corporaciones muestran una capacidad mucho mayor para controlar la tecnología, hecho que rebasa la cuestión puramente legal, es decir, la referida a la propiedad sobre la tecnología. Como ya se señaló, las grandes corporaciones controlan su propia tecnología y además la de empresas pequeñas o laboratorios, en la medida que, en virtud de otras capacidades (en manufactura, en mercadeo), pueden hacer uso comercial de ella.

Sin embargo, hay que reiterar las diferencias apreciables que existen según la rama industrial y según el producto de que se hable. Así es evidente que, en el campo farmacéutico o en el de las semillas, las condiciones apuntan a que el negocio de la biotecnología quede reservado sólo para las firmas de mayor tamaño; pero no ocurre lo mismo en el área de cultivo de tejidos o de los anticuerpos monoclonales, en donde las empresas pequeñas están jugando un papel relevante, sin que nada indique que se vaya a producir algún cambio a corto o mediano plazo.

Habrà que esperar, pues, para ver cómo madura el proceso de bioindustrialización, aunque se puede sostener como hipótesis que tenderá a reforzar la concentración industrial, a hacer que las grandes firmas dominen la escena, constituyéndose en el centro en torno al cual van a orbitar pequeñas y medianas empresas, en su gran mayoría funcionando a partir de algún tipo de vinculación con aquéllas.

BASES PARA DISEÑAR UNA ESTRATEGIA

La ciencia y la tecnología evolucionan a un ritmo sorprendente y modifican acelerada y profundamente la posición competitiva de países e industrias. Hoy en día el desarrollo económico depende, como en ninguna otra época de la historia, del desarrollo científico y tecnológico. Las evidencias estadísticas disponibles muestran que los países que tienen mejor estructurado su sistema nacional de innovación y que invierten mayores recursos en él, son los que tienen un mayor crecimiento económico¹¹. Las ventajas comparativas de los países se relaciona cada vez menos con la disponibilidad de recursos naturales o mano de obra barata y cada vez más con la generación de nuevos conocimientos convertidos en tecnologías. La capacidad de innovar se ha convertido en el factor más importante para participar en el comercio internacional. A través de ella se modifica constantemente la estructura del comercio internacional, bien sea mediante la creación de productos enteramente nuevos, bien sea mediante la desaparición de productos existentes o la introducción de procesos nuevos que alteran la proporción en que se utilizan los diversos insumos productivos (materias primas, capital, trabajo). Así las cosas, la inversión en I y D y la formación de recursos humanos son, desde luego, ingredientes centrales. Las llamadas nuevas tecnologías, entre ellas la biotecnología, han puesto aún más claramente de manifiesto esta situación.

Objetivo general de la estrategia

La biotecnología estará a mediano plazo en el centro de los procesos de reacomodo de la industria en un nivel mundial. De hecho ya ha empezado a dejar sentir sus efectos. A título meramente referencial, en el Cuadro 8 se muestra una lista de los productos que dejarán de ser exportados por el Tercer Mundo como consecuencia de desarrollos biotecnológicos llevados a cabo en los países industriales.

En función de lo anterior, los países de la región deben llevar a cabo esfuerzos importantes que les permitan desarrollar y consolidar su proceso de bioindustrialización, lo cual supone crear las condiciones para que se de un proceso de acumulación de capacidades de diversa índole que les permitan generar, adquirir y usar la biotecnología. Se hacen imprescindibles algunas consideraciones al respecto.

11 Japón es la demostración más clara. Las cifras señalan que, en los últimos 10 años, es el país donde porcentualmente ha crecido más la inversión en I y D, al igual que el número de patentes y, paralelamente, es la nación que más ha hecho crecer sus exportaciones, en particular en los sectores intensivos en tecnología. El caso español es también un ejemplo nítido, como lo son, aunque en sentido inverso, la Gran Bretaña y los Estados Unidos, ambos con un bajo desempeño en sus indicadores de I y D y patentes e, igualmente, con una caída significativa de su participación en el mercado mundial en los sectores aludidos.

Cuadro 8. Estimación de sustitución de exportaciones de productos agrícolas de los países en vías de desarrollo (años).

Productos	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Edulcorantes	XXXXXXXX						
Saborizantes/fragancias		XXXXXXXXXX					
Plantas medicinales		XXXXXXXXXX					
Bebidas tropicales			XXXXXXXXXXXXXXXXXX				
Fibras naturales					XXXXXXXXXX		

Fuente: Quintero 1989.

En primer término, hay que subrayar que no se trata sólo de aumentar las inversiones en I y D con el fin de disponer de una mayor capacidad científica que, a su vez, permita la generación y utilización comercial de biotecnologías. Con todo lo importante que esto pueda ser, lo es igualmente desarrollar las capacidades que permitan adoptar las biotecnologías generadas en otros países. En este sentido tienen un papel decisivo, además de la capacidad científica y en general la calidad del sistema educativo, la información sobre el estado del arte de la biotecnología, sobre los proveedores y sobre los movimientos del mercado internacional en este campo, así como las capacidades con que cuentan las empresas. De todo ello se habla en este capítulo.

En segundo lugar, el proceso de bioindustrialización debe propiciarse sólo en aquellas áreas donde se puede ser eficiente y competitivo, lo cual implica un grado muy alto de selectividad, vale decir, la identificación de ventajas comparativas dinámicas, basadas en buena medida en el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas¹².

En tercer lugar, la factibilidad de la bioindustrialización en los países subdesarrollados debe tomar en cuenta que se trata de un nuevo paradigma tecnológico. Como consecuencia de ello, las barreras a la entrada pueden presumirse todavía relativamente bajas, representadas sobre todo por el acceso a ciertas capacidades tecnocientíficas, para lo cual la disponibilidad de recursos humanos de muy alto nivel es una condición esencial. Como se ha dicho, en ciertas zonas de la biotecnología, la clave de la rentabilidad no ha llegado todavía a la fase de explotación de las economías de escala, donde las ventajas relacionadas con manufactura y mercadeo son vitales. Asimismo, y particularmente en lo que respecta a los sectores agrícola y agroindustrial, las economías de localización pueden jugar un papel muy importante. Muchas investigaciones sólo pueden hacerse *in situ* (dada la disponibilidad del material genético) y muchas de las biotécnicas están vinculadas a determinadas condiciones ecológicas y a determinados cultivos. Adicionalmente, la propia naturaleza de la biotecnología, su amplia versatilidad tecnológica, su cualidad para hacer converger actividades productivas disímiles, sus innumerables campos de aplicación, permiten la creación de

12 En tal sentido debe adoptarse una "filosofía" distinta, así como políticas y esquemas operativos también diferentes a los seguidos bajo el modelo de sustitución de importaciones.

amplios espacios para las economías de especialización. Estas surgen de la posibilidad de generar muchos y muy variados productos para mercados numerosos y muy amplios, en los que la entrada no se halla tan supeditada a la reducción de costos derivada de las economías de escala. Estas circunstancias se conjugan, pues, para crear ciertas oportunidades claras (no automáticas) para la entrada de los países subdesarrollados. Sin embargo, hay factores que desde luego no son tan favorables y oscurecen la imagen descrita anteriormente. Por una parte, hay que recordar que, aunque de reciente data, el **proceso de bioindustrialización se viene abriendo espacio dentro de la estructura industrial madura** que le trasmite en alguna medida parte de sus rasgos (concentración, globalización), tal y como ya se aprecia en algunas áreas de la biotecnología. El hecho, obviamente, reduce las oportunidades de entrada a los países del Tercer Mundo y a sus empresas. Por otro lado, los países de la región no disponen, en un grado suficiente, de los diferentes tipos de capacidades exigidas para incorporarse al uso industrial de la biotecnología. Esta doble circunstancia condiciona en alguna medida la factibilidad de la estrategia a dos factores: a) la posibilidad de que se puedan establecer **acuerdos con los países y empresas extranjeras** que cuentan con mayores capacidades en el área de la biotecnología; b) la posibilidad de establecer **acciones conjuntas** entre los países de la región o, en términos más amplios, la constitución de un sistema nacional de innovación.

Por último, la viabilidad de la estrategia de bioindustrialización en los países de ALC depende (tanto en lo que concierne a la generación local como a la adopción de biotecnologías foráneas) de la capacidad que se tenga para remozar sustancialmente la **estructura institucional**. Se trata de establecer actitudes, rutinas, reglas, normas y leyes que permitan nuevos esquemas organizativos y nuevos modos de desempeño que, a su vez, hagan posible una más eficaz vinculación entre ciencia, tecnología, producción y mercado. El surgimiento de las llamadas nuevas tecnologías hace perentoria la realización de esta tarea. Si se mira la experiencia de los países avanzados con respecto a la implantación del paradigma microelectrónico, se hace evidente cómo los cambios tecnológicos y las modificaciones institucionales van apareados. El caso del Japón es, en este sentido, el más claro. Numerosos trabajos enseñan cómo este país ha sido capaz de sacar mayor provecho de la informática (y al mismo tiempo llevar más lejos el progreso tecnológico en este campo), gracias a las transformaciones institucionales emprendidas en diversos planos. En particular, en el seno de la empresa y en las formas de intervención del sector público.

Los cambios institucionales deben afectar al Estado, a los laboratorios, a las empresas y en general a todas las organizaciones que de alguna forma tienen que ver con los procesos mediante los cuales se generan, difunden y usan las tecnologías. De esto se dan algunos detalles en lo que resta del documento.

El papel del Estado

En los países avanzados la biotecnología ha sido entendida como un sector estratégico y el Estado ha asumido la colocación de inversiones cuantiosas en actividades que, como la investigación científica, comportan un alto grado de incertidumbre y de riesgo. Por añadidura, si éstos resultan rentables no suelen serlo a corto plazo. De hecho, y aunque una gran parte de la investigación en biotecnología se lleva a cabo bajo el control de las empresas (investigación "intramuros", contratos con las universidades), el sector público es el que más invierte en la actividad científica básica, actividad cuyos resultados pueden usar libremente las empresas. Pero el subsidio estatal no viene sólo por ese lado, sino además por la puesta en marcha de un conjunto de medidas de índole fiscal que sirven para estimular el desarrollo de la biotecnología en la industria.

Además, en estos países el Estado ha venido interviniendo por otras vías: el diseño de programas nacionales y supranacionales, la modificación de los sistemas de propiedad industrial e intelectual, la creación de normas que regulan la generación y uso de productos biotecnológicos, etc. Hay también un aspecto que vale la pena mencionar, en vista de lo que se ha dicho en el presente texto: se han tomado varias iniciativas orientadas a cambiar las leyes antimonopolio, con el fin de hacerlas más flexibles y así facilitar la celebración de distintos tipos de convenio entre las empresas y entre éstas y la universidades (BID 1988). Son, como se aprecia, iniciativas convergentes con los movimientos de integración, tanto horizontal como vertical, que se dan en ciertos sectores de la bioindustria.

Japón es ejemplarizante con respecto a la función que desempeña el sector público. Allí, el Estado ha hecho de la biotecnología una prioridad nacional, siendo su interés la reducción, mediante su desarrollo, de las importaciones de materias primas y la búsqueda simultánea de mercados de exportación basados en la generación de nuevos productos. El MITI, ha sido, sin duda, el artífice en la concepción y puesta en práctica de la estrategia de desarrollo de la biotecnología y lo ha hecho dentro del típico esquema japonés de la concertación entre el Gobierno y la industria, conforme a objetivos nacionales establecidos también de manera concertada. Un aspecto digno de resaltar es la intervención estatal dirigida a hacer posible la realización conjunta de actividades de investigación entre empresas¹³. Recientemente, por ejemplo, el MITI reunió a los miembros de la Bioindustry for Economic Development Association (BIDEC), una cooperativa de investigación que agrupa a las 130 principales firmas químicas, y acordó medidas para que no se duplicaran los esfuerzos de investigación y para compartir los resultados de I y D reforzando igualmente la comercialización de productos obtenidos a partir de la biotecnología (Prestowitz 1986).

Con referencia a los países subdesarrollados, la participación estatal varía mucho de país a país. Pero, en general, dista de tener la fuerza y los alcances que se aprecian en el mundo industrializado, pese a que en su caso la necesidad resulta mucho más perentoria. Hay más cosas que hacer y se arranca desde un nivel visiblemente inferior y, por otra parte, el resto de los actores sociales cuenta con menos recursos y condiciones. Así las cosas, el proceso de bioindustrialización de los países de la región dependerá, en proporción decisiva, de lo que haga o deje de hacer el Estado, lo cual no implica –ni mucho menos– acogerse a una visión estatizante. De lo que se trata es de que el sector público sea capaz de dibujar las políticas adecuadas y, algo de suma importancia, de idear y poner a funcionar mecanismos de intervención diferentes. En particular, debe insistirse en la importancia de su papel dentro de la creación de un sistema nacional de innovación, el cual dista bastante de las concepciones burocráticas tan familiares, por recurrentes, en América Latina. Se trata, por el contrario y como se apuntó antes, de nuevos modos institucionales que permitan la imprescindible comunicación entre los diferentes actores de la innovación con el fin de que se produzca el flujo de los distintos conocimientos que es necesario hacer coincidir en el proceso innovativo. Si se considera el carácter de las nuevas tecnologías (la biotecnología entre ellas), las cuales implican cambios muy rápidos, gran complejidad e inversiones en general elevadas (bien sea por el lado de la actividad de I y D, bien por el de la manufactura y mercadeo de nuevos productos), puede desprenderse que en buena medida el Estado debe ser el gestor de acuerdos de diversa naturaleza para integrar recursos alrededor de objetivos comunes. El cooperativismo parece ser, desde el punto de vista institucional, la nota dominante de las políticas de promoción del desarrollo científico y tecnológico.

13 Esta modalidad recuerda las “asociaciones de investigación” (*research associations*) nacidas en Inglaterra al término de la Primera Guerra Mundial.

A continuación se exponen los términos de referencia generales, dentro de los que podría discutirse la concepción de las políticas públicas requeridas para el desarrollo de la bioindustria en los países de ALC.

Política científica

Se ha dicho repetidamente que la bioindustria está fuertemente enlazada con la actividad científica. La biotecnología disponible en la actualidad ha salido de los laboratorios, sean estos de las universidades, del sector público o de las mismas empresas. De este hecho, y no obstante las observaciones que en su oportunidad se hicieron a la conexión entre ciencia e industria, deriva el papel crucial que desempeña la política científica. Pero, en términos más concretos, ¿qué significa esto para los países subdesarrollados?

La respuesta es complicada, desde luego. Pueden, sin embargo, mencionarse algunas cuestiones que quizá sirvan para aclarar la pregunta y acotar la respuesta.

A grandes rasgos, la política científica debe propiciar el dominio sobre un conjunto de informaciones, teorías y métodos, a partir de los cuales se pueden generar y validar conocimientos de carácter científico. Con respecto a la biotecnología se estaría haciendo referencia a la creación de capacidades en dos niveles (muy difíciles de separar en la práctica):

1. Dominio sobre ciertas **disciplinas básicas** (biología molecular, biología celular, ingeniería bioquímica, bioinformática, microbiología y otras).
2. Dominio sobre las **biotecnologías básicas** (ADN recombinante, fusión celular, etc.) que se fundamentan en las disciplinas mencionadas.

Se trata, pues, de acceder al conocimiento disponible, de crear y consolidar un depósito de capacidades básicas que sean de dominio público y sustenten la posibilidad de desarrollo de capacidades específicas que propicien el surgimiento de la bioindustria. Dado el carácter genérico de la biotecnología y su amplio potencial de aplicaciones, lo aconsejable pareciera, desde el punto de vista estratégico, acceder a las capacidades básicas antes que establecer prioridades que delimiten, desde ya y prematuramente, las áreas de atención para los países subdesarrollados. Concebida así, la política científica cuenta con cuatro elementos imprescindibles:

- **La investigación científica.**
- **La formación de recursos humanos** en calidad y cantidad suficiente. Resulta esencial la integración de equipos multidisciplinarios con las destrezas requeridas para vincular la investigación con la industria. Asimismo, es impostergable la transformación del sistema de enseñanza de pregrado y postgrado (reactualización de los programas, vinculación de las disciplinas ligadas con la biología a las ingenierías, etc.).
- **Definición y puesta en práctica de esquemas organizativos y operacionales** que permitan una relación fluida entre los centros de investigación y las empresas, a los efectos de realizar programas de investigación, asistencia técnica, consultoría y formación de recursos humanos.

- El establecimiento de **sistemas de información**. En pocas áreas es esto tan importante como en la biotecnología, para la investigación como para la industrialización. La dependencia de los países europeos con respecto a los bancos de datos norteamericanos, así lo ha puesto de manifiesto. Los países de la región habrán de estudiar cuál es la mejor vía para disponer de la información necesaria.

Política tecnológica

En su esencia, la política tecnológica está dirigida hacia el desarrollo de las aplicaciones que encierra la biotecnología. Someramente, la capacidad tecnológica puede entenderse como el dominio sobre ciertos principios científicos, diversas clases de *know how* y determinadas destrezas y rutinas, a partir de los cuales se pueden generar, adquirir, usar y modificar productos y procesos. En función del objetivo de estas páginas, la capacidad tecnológica supone, de manera más específica:

- La capacidad para convertir los conocimientos científicos en **inventos**.
- La capacidad para lograr la conversión de los inventos en innovaciones, esto es, en tecnologías utilizables desde el punto de vista industrial, lo cual incluye aspectos tales como escalamiento de procesos, diseño de plantas industriales, separación y purificación de productos, modelaje y control de procesos biotecnológicos.
- La capacidad para **adquirir** (seleccionar, evaluar, negociar) biotecnologías en el exterior.
- La capacidad para **diseñar, adquirir, asimilar, adaptar, mejorar** la tecnología de fabricación de ciertos equipos (reactores, purificadores, etc.).

Con respecto a la capacidad de asimilar y adaptar biotecnologías es preciso hacer un comentario que subraya de nuevo el papel de la ciencia en el desarrollo de la biotecnología y deja claro que el dominio científico es mucho más importante en la transferencia de biotecnologías de lo que puede ser, por ejemplo, en la transferencia de tecnologías metalmeccánicas. En éstas, es posible la **ingeniería al revés**, realizando adaptaciones y mejoras a las tecnologías a partir de cierto conocimiento tecnoingenieril y la experiencia acumulada en planta, sin que necesariamente se dominen los principios científicos en que se basan. En el caso de la biotecnología, en cambio, el desconocimiento de tales principios convierte a la tecnología, dada su complejidad y su muy cercana conexión con la ciencia, en una caja negra: allí todo se desconoce y, por consiguiente, poco se puede cambiar. En términos prácticos, de aquí deriva al menos una conclusión importante: en los contratos de tecnología con proveedores extranjeros es preciso incluir la transferencia de conocimientos científicos.

Política industrial

La posibilidad de usar las innovaciones está supeditada a la existencia de una política industrial adecuada. Si cabe la expresión, sólo así puede haber, además de ciencia y además de tecnología, industria. La política industrial se conforma a partir de aspectos como los que se mencionan a continuación.

Protección industrial

Si alguna conclusión puede sacarse de los estudios realizados sobre el proceso industrial llevado a cabo en los países de la región, bajo los cánones de la sustitución de importaciones, es la de que no cualquier industria tiene sentido. Aquella premisa, nunca abiertamente expresada, pero de la que hay suficiente huella, según la cual todo esfuerzo de industrialización a la corta o a la larga paga dividendos, ha revelado toda su inconsistencia. Además de los aspectos positivos que, desde luego existen, es evidente que muchas de las industrias sólo pudieron nacer y sobrevivir gracias a la protección que, por diversas vías y formas, les brindó el Estado. Los que se han ocupado del tema han demostrado que en muchos casos no existían en general las condiciones (materias primas, mercados, capacidad tecnológica) para que pudieran ser viables. Y de allí se ha sacado una deducción ampliamente compartida: de ahora en adelante la política industrial debe ser cada vez más selectiva, con el fin de que los márgenes de protección sean cada vez menores y al mismo tiempo menos necesarios. Debe impulsarse aquella industria que sea competitiva, lo cual tendrá que determinarse apelando a parámetros internacionales. Dentro de las lógicas variaciones a que obligan las circunstancias concretas, pareciera que éste es el principio general que debe orientar la política de bioindustrialización (Avalos y Martel 1988).

La competitividad como criterio de política trae consigo una consecuencia: la política industrial sólo tiene sentido si cuenta con el respaldo de políticas científicas y políticas tecnológicas. El argumento de la "industria infantil", asumido como de hecho se lo asumió en la experiencia industrial latinoamericana, debe ser revisado a fondo. El régimen de protección no puede concebirse al margen de la maduración tecnológica de la industria, lo cual significa que las medidas proteccionistas, en los casos que ameriten, deben ser decrecientes y finitas y, además, supeditadas a la decisión de lograr una acumulación progresiva de capacidades de diferente índole por parte de la empresa. En el caso de la bioindustrialización, el régimen de protección deberá resolver un problema adicional, como es el de conciliar el resguardo de las capacidades locales con una altísima tasa de cambio técnico, lo que torna particularmente peligrosas las medidas que de una u otra manera aíslan los mercados nacionales.

Finalmente, una aclaración con el fin de impedir alguna mala interpretación. Lo señalado no significa que la sustitución de importaciones deba dejar de ser un criterio de política. Lógicamente puede convenir la utilización de alternativas biotecnológicas para generar internamente productos finales o insumos biológicos para los cuales un país disponga de ventajas específicas, e incluso donde no exista la posibilidad de sustitución económica por métodos convencionales. Tales serían los casos, por ejemplo, de la sustitución del componente proteico de la alimentación animal, algunas semillas, enzimas y otros.

Inversiones extranjeras y contratos de tecnología

En páginas anteriores se ha hablado de la internacionalización de la biotecnología, de la red de vinculaciones que –más allá de los espacios nacionales– las empresas van tejiendo con el fin de llevar a cabo las actividades de investigación, de manufactura y de comercialización. Se ha señalado, también, cómo dentro de este proceso las grandes firmas llevan a cabo su doble estrategia de diversificación e integración, en tanto respuesta a los avances de la biotecnología. Ambas cosas rematan en un pronóstico: en algunos sectores de la biotecnología, a los países subdesarrollados les será cada vez más difícil entrar en el negocio y tendrán que prestar cada vez mayor atención a algún tipo de asociación con el capital foráneo y, en función de ello, afinar sus políticas de inversiones extranjeras. En términos generales, éstas

deben expresarse a través de un sistema legal que recoja debidamente la amplia gama de acuerdos posibles, en función de propiciar la acumulación de capacidades en la empresa local. Una particular atención debe prestársele, en este sentido, a la constitución de empresas mixtas (a efectos de realizar investigaciones, explotar patentes, comercializar productos).

Todo lo indicado debe ser pensado, también, en términos de los distintos acuerdos a que se pueden llegar, tanto en materia de inversión extranjera como de transferencia de tecnología entre empresas de los mismos países de la región. Este punto es absolutamente crucial.

En lo que se refiere a los contratos de tecnología, en el caso de las transacciones que se den en el área de la biotecnología, debe existir un cuerpo de normas particulares, distintas a las que por lo general existen actualmente en materia de transferencia de tecnología. La razón principal estriba en que los contratos de licencia, en el área de la biotecnología, involucran la cesión de derechos sobre organismos vivientes que son capaces de reproducirse. Este solo hecho plantea condiciones inéditas que transforman radicalmente la elección entre el que solicita la patente y el licenciador. En este mismo sentido, opera la circunstancia de que en un contrato se pueden ceder derechos muy disímiles en cuanto a su naturaleza y su cobertura, dependiendo de si el objeto del contrato está representado por productos finales, productos intermedios, procesos para la mejora de productos o tecnologías básicas. Fácilmente se advierte que la situación es distinta si se trata de variedades vegetales que si se trata de *kits* de diagnóstico o del diseño de un equipo.

En síntesis, las particularidades inherentes a la biotecnología cambian las bases sobre las cuales se han determinado los acuerdos de transferencia de tecnología. Nuevamente, sin intención de presentar un examen hondo del tema, salta a la vista que las reglas establecidas en la legislación prevista en la mayoría de los países latinoamericanos para el tratamiento de aspectos tales como la confidencialidad, las mejoras, las sublicencias, por citar sólo algunos, deben ser modificadas si se quiere enfocar de manera adecuada el problema. Esto resulta vital, tanto para los intereses de las empresas latinoamericanas que deseen adquirir tecnología, como de las extranjeras que estarían dispuestas a cederlas.

Un aspecto adicional lo constituye la contratación de servicios de investigación, los cuales plantean diferencias en relación con los contratos clásicos de transferencia de tecnología. En aquéllos, el objeto de la negociación radica en el desarrollo de ciertas actividades, con el afán de conseguir determinados resultados (que todavía no se tienen). Eso plantea problemas particulares que deben ser contemplados con urgencia, dado que se empiezan a ver casos de empresas latinoamericanas que contratan en tales términos con laboratorios o empresas de biotecnología de los países avanzados.

Propiedad industrial

Este tema empieza a cobrar importancia en los países subdesarrollados. Las preguntas de fondo son las siguientes: ¿le conviene a los países subdesarrollados implantar un régimen que proteja, en parecidos términos al concebido en las naciones industrializadas, los resultados obtenidos por la biotecnología?; ¿cómo debe quedar recogido en ese régimen el hecho de que nuestros países serán, sobre todo, importadores de biotécnicas?; ¿cuáles serían las ventajas y desventajas derivadas de un sistema que no admitiera la concesión de patentes en esta área? Por ahora no hay respuestas. En la mayoría de los casos las leyes siguen sin considerar, en forma expresa, los adelantos que vienen ocurriendo en el campo de la biotecnología.

La nueva ley mexicana es una experiencia que vale la pena referir. Se promulgó en 1987 y no permite patentar plantas, animales, ni los alimentos para humanos. Sin embargo, a partir

del año 1997, autoriza la concesión de patentes referidas a procesos biotecnológicos de toda índole, procesos genéticos para obtener especies vegetales o animales, productos químicos y farmacéuticos, alimentos para animales, fertilizantes agroquímicos y productos con actividad biológica. El mayor impacto de esta normativa recaerá sobre los fabricantes nacionales de medicamentos y agroquímicos, quienes se verán impedidos de fabricar sin licencia los nuevos insumos que se descubran en un nivel mundial. En el terreno propiamente biotecnológico el impacto será algo menor, por cuanto es más difícil vigilar las patentes de proceso. Sin embargo, ya que esta normativa es en parte producto de la presión de los Estados Unidos, todo hace prever que la misma continuará hasta imponer la patente de variedades vegetales y animales (Arroyo y Waissbluth 1988).

En todo caso, el hecho de no tener actualizado el régimen de propiedad industrial, como ocurre en muchos de los países del Tercer Mundo, pareciera, según algunos autores, que tiene efectos negativos. Ello es así porque limita el acceso a los nuevos desarrollos de las biotecnologías a través de los diferentes arreglos de transferencia de tecnología desde el exterior.

Asociado con el tema de la propiedad industrial, se ha planteado la necesidad de desarrollar políticas y mecanismos dirigidos a la protección del germoplasma disponible en los países del Tercer Mundo (Arroyo y Waissbluth 1988; Quintero 1987).

Política financiera

Las necesidades de financiamiento de la bioindustria están referidas a tres ámbitos que, aunque estrechamente vinculados, pueden ser diferenciados:

1. El desarrollo científico, con el propósito de estimular el desarrollo de las disciplinas directamente asociadas al desarrollo de biotecnologías en las áreas prioritarias.
2. El desarrollo tecnológico, con el propósito de generar, adquirir, adaptar y usar las biotecnologías más adecuadas.
3. El desarrollo industrial, con la finalidad de estimular el desarrollo de la bioindustria. En este aspecto, debe adoptarse un esquema flexible y amplio que permita el financiamiento de actividades tales como: creación de empresas, formulación de proyectos, estudios de prefactibilidad, estudios de mercado y otros.

Desde el punto de vista operativo, el esquema de financiamiento debe prever la posibilidad de usar las siguientes modalidades: capitales de riesgo, créditos blandos, créditos ordinarios.

Aparte del financiamiento de la bioindustria a partir de recursos que, bajo distintas modalidades, provienen del sector público, el Estado debe desempeñarse como gestor de acuerdos que permitan la conformación de un *pool* de recursos provenientes de las empresas (sobre esto se ha de volver más adelante).

Política de exportaciones

La literatura evidencia que los países industrializados pequeños son más dependientes del comercio exterior que los grandes. Un trabajo muy reciente, referido a una muestra de países de la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), señala que estos

países exportan, en promedio, 37.3% del PNB, en tanto que para las naciones más grandes la cifra ronda el 20% (Kristensen y Levinsen 1988). De hecho, pareciera haber una relación inversa entre el tamaño de la economía y su dependencia del mercado internacional, lo cual es fácil de entender: en el caso de los países de menor tamaño, el mercado limita los beneficios que pudieran derivarse de las tradicionales políticas de protección, en tanto la posibilidad de obtener beneficios de las economías de escala descansa principalmente en la apertura al mercado externo.

Asimismo, y como ya se dijo antes, investigaciones igualmente recientes ligan de manera muy convincente el desempeño exportador con índices de "producción tecnológica". Un estudio de Soete (1988), por ejemplo, muestra tal vinculación en varios países de la OECD, a través de un análisis de la actividad realizada en cuarenta sectores industriales, aproximadamente.

Se tiene entonces que, por un lado, los países pequeños necesitan imperiosamente de las exportaciones y, por otro, la tecnología se ha convertido en un factor determinante de la competitividad en el mercado internacional. Esta doble consideración constituye el marco general dentro del cual se debe examinar la política de exportaciones con referencia a la bioindustria latinoamericana. A tal tema se dedican los párrafos siguientes.

Una parte importante de la bioindustrialización deberá estar concebida en función de la exportación. La capacidad para identificar mercados (nuevos, maduros, masivos, "nichos"), de establecer redes de distribución y ventas, de fijar precios competitivos, de establecer relaciones con los clientes son, entonces, ingredientes indispensables. Lo dicho contradice la teoría neoclásica del comercio internacional, según la cual los países subdesarrollados se deberían especializar en la producción y exportación de *commodities* intensivas en mano de obra, confirmando, por el contrario, teorías más recientes que explican las ventajas comparativas, al tomar en cuenta el tipo de imperfecciones del mercado ignoradas por los neoclásicos: diferencias de capacidad tecnológica entre los países, economías de escala o diferenciaciones de producto.

La biotecnología está exigiendo grandes mercados. En la medida que se torna más compleja, se hace más costosa la investigación y, en general, la formación de recursos humanos especializados. Sumado a ello, se impone la necesidad de contar con economías de escala. La búsqueda de mercados internacionales se vuelve una condición imprescindible para la viabilidad económica. En los países de la región esto es particularmente cierto.

En forma muy esquemática, la estrategia de exportación tiene sentido en las siguientes situaciones:

- Cuando haya la posibilidad de competir abiertamente con las empresas que actúan en ese mercado, dado que se tienen las condiciones (disponibilidad de capitales, capacidad tecnológica e industria, materias primas, circuitos de distribución).
- Cuando haya la posibilidad de acudir a ciertos mercados particulares que, por diversas razones, resultan menos exigentes. Piénsese, por ejemplo, en las exportaciones a otros países subdesarrollados, realizadas en el marco de ciertos acuerdos (bilaterales, de integración regional); o también en mercados que, por algún motivo, no interesen a las grandes transnacionales.
- Cuando haya la posibilidad de identificar ciertos "nichos", en los cuales pueda actuarse en condiciones casi monopólicas, en ocasión por ejemplo de que las grandes corporaciones no tengan interés en participar o carezcan de la suficiente flexibilidad para hacerlo.

Como estrategia, esta tercera alternativa no está exenta de riesgos, pues puede dar lugar a negocios sumamente volátiles.

- Cuando haya la posibilidad de explotar algún recurso local.

Con referencia a cada una de las alternativas mostradas, un aspecto relevante es el de los costos asociados con el mercadeo. Estos son muy altos en algunos sectores, por regla general aquellos de productos más homogéneos (estandarizados) y de mayor demanda. En tales sectores, y esto se observa ya con respecto a la biotecnología, las grandes empresas tienen sus mayores ventajas (la industria farmacéutica, por ejemplo) y las empresas de los países subdesarrollados encuentran sus mayores dificultades. Por otro lado, en aquellos productos donde se pueden hacer valer las economías de especialización y de localización, los costos pueden ser menores y las posibilidades de acceso mayores.

En la consideración de la factibilidad de la exportación, habrá que pensar en la conveniencia y posibilidad de:

- a) **Crear empresas multinacionales en y/o entre los países de la región.** Las tendencias de evolución de la bioindustria, de acuerdo con lo expresado en este documento, le dan base a la necesidad de considerar seriamente este punto como parte de la estrategia de desarrollo de la bioindustria en los países latinoamericanos y del Caribe. Se trata de un asunto de primera importancia dentro de la agenda de discusión de los acuerdos de carácter regional.
- b) **Concebir esquemas de vinculación con empresas extranjeras para lograr la participación en otros mercados.**

Política de integración regional

De alguna manera este tema ha salido a relucir en varios de los puntos anteriores. Por los motivos varias veces enunciados, el desarrollo de la biotecnología y de la bioindustria suponen una tarea demasiado complicada y costosa como para que sea desarrollada por un solo país, con prescindencia de la colaboración de otros países. El logro de acuerdos, tanto con gobiernos como con centros de investigación y empresas, en los países subdesarrollados y en los países industrializados, se presenta como algo imprescindible. Lamentablemente, en la región no pareciera existir todavía ni la convicción ni la fuerza política capaces de trascender la retórica. La experiencia europea, por el contrario, demuestra la posibilidad y el éxito de las acciones conjuntas. EUREKA, SPRITE, CUBE, ARIANE, AIRBUS, ESPRIT son nombres que representan, en distintos campos, ensayos de cooperación que, cada uno en su medida, revelan una manera moderna de hacer las cosas.

En América Latina ha predominado una concepción de la cooperación de naturaleza no comercial, dentro de la que los actores principales (y en la mayor parte de las veces, únicos) son los gobiernos y los organismos multilaterales, los cuales fijan las áreas de encuentro, programan las actividades y eligen los canales de interacción. Todo pareciera indicar que ha llegado la hora de insistir más en las fórmulas de cooperación de carácter comercial, estructuradas alrededor de las empresas (públicas y privadas), firmas de ingeniería y consultoría, fabricantes de bienes de capital, entidades financieras y laboratorios con los gobiernos y los organismos internacionales en plan de promotores, de creadores de las condiciones para que puedan darse las cosas. Creación de mercados integrados de tecnología, creación de empresas multinacionales, favorecimiento de la constitución de

diferentes tipos de arreglos (*joint ventures*) entre empresas de la región, constitución de *pools* financieros para estimular las exportaciones de tecnología, son ejemplos de las iniciativas dentro de las que debe transcurrir primordialmente la cooperación latinoamericana de ahora en adelante. Algo ya se ha hecho, pero deberá hacerse mucho más.

Política de regulación

El Estado debe establecer ciertas regulaciones tendientes a proteger, de una u otra manera, al público (seguridad industrial, preservación de la salud pública y otras). Este es un tema sensible, como ya se vio. El sector público debe ser capaz de conciliar las necesidades de protección con las de inversión.

El papel de las empresas

Representan, según se dijo, el eje central de la estrategia bioindustrial. Alrededor de ellas debe girar el proceso de acumulación de las capacidades en juego en esta clase de industria.

Si se piensa en función del largo plazo y se toman en cuenta las tendencias probables de evolución de la biotecnología la estrategia debe apoyarse, esencialmente, sobre las **empresas de mayor tamaño** existentes en los países de la región, dado que cuentan con más oportunidades para participar en un negocio que empieza a adquirir fuertes trazos oligopólicos. Estas empresas que, dicho sea de paso, no pueden considerarse grandes si se las mide con el rasero empleado en las naciones avanzadas, se encuentran en mejores condiciones para la realización de actividades científicas, el desarrollo de nuevos productos y procesos, la producción y la comercialización. De hecho, algunas experiencias ocurridas en países subdesarrollados parecen darle algún asidero a esta hipótesis. Empresas más o menos consolidadas en ciertos sectores (farmacia, agroindustria, por ejemplo) han iniciado proyectos importantes, empleando mecanismos variados para la acumulación de capacidades. En función de ese propósito no sólo cuentan con recursos financieros, sino con un acopio de conocimientos –tecnológicos, industriales y comerciales– que, aunque ligados al viejo paradigma, se deben visualizar como importantes, y hasta decisivas, complementariedades en relación con la biotecnología.

Para la realidad de casi todos los países subdesarrollados, el hecho de que la bioindustrialización sea un proceso reciente y que, por tanto, amplíe los espacios posibles de participación, debe entenderse primordialmente en términos de las momentáneas oportunidades que se les puedan abrir a través de sus empresas más grandes. **Sólo sobre éstas puede descansar una visión estratégica concretada a través de ciertos programas claves, relacionados con los procesos de reconversión industrial y agrícola y dirigidos a crear nuevas (y dinámicas) ventajas comparativas que permitan nexos distintos y más beneficiosos con el mercado internacional.**

Lo anterior no significa, ni mucho menos, desestimar el papel de las pequeñas y medianas empresas. Estas naturalmente tienen su lugar, muy importante además, bajo las nuevas realidades económicas que traerá consigo la biotecnología. El hecho de que se esté ante el desarrollo aún incipiente de un conjunto de tecnologías, abre la posibilidad de que se puedan constituir nuevas empresas, cuya fortaleza inicial radica en su capacidad innovadora y su habilidad para vislumbrar nuevos mercados. Pero debe tenerse presente que, más que entrar, lo difícil en muchos casos (no en todos) va a ser permanecer en el negocio, a medida que la tecnología madure. En tal caso, la perspectiva de estas empresas es la siguiente: muchas

desaparecerán; otras, las menos, lograrán desempeñarse de manera independiente en virtud de las características de sus productos y del mercado; y otras, finalmente, podrán quedar jugando un papel complementario con respecto a las empresas más grandes (ejemplo: pequeñas empresas de investigación, como se observa en algunos países avanzados).

Hay, aparte de lo anterior, otros dos aspectos dignos de mención en relación con las empresas. Uno de ellos ya ha sido varias veces tocado: los acuerdos entre las empresas con el objetivo de llevar a cabo actividades conjuntas relacionadas con las investigaciones y, en general, con las diversas actividades del proceso innovador. El otro tiene que ver con la relación de las empresas y los centros de investigación, algo muy importante en vista de que la biotecnología es intensiva en ciencia. Este punto se aborda en el próximo segmento.

El papel de los laboratorios

Las estadísticas muestran que una parte importante de la capacidad científica de los países de la región está ubicada en los **laboratorios universitarios**. Ello le da vigencia a un tema que comienza a generar bastante discusión en el medio académico: la vinculación comercial de las universidades con la industria.

El aspecto central de la polémica ha sido puesto en la misión de la universidad: ¿desvirtúan esos acuerdos los objetivos inherentes a la misión universitaria?; ¿actúan en detrimento de la investigación básica?; ¿supeditan la lógica de la investigación a la lógica del negocio?; ¿disminuyen la independencia académica?. El debate recién ha empezado y no hay, desde luego, conclusiones. Sin embargo, la opinión mayoritaria pareciera inclinarse por un cambio en las modalidades tradicionales del trabajo universitario. La imagen de la "torre de marfil" tiene cada vez menos adeptos. En 1986 la revista *Science* publicó un informe realizado en torno a las relaciones universidad-industria, en el que se recogía el parecer de 1 300 investigadores en el área de biotecnología, pertenecientes a 40 universidades norteamericanas. Para sorpresa de sus autores, las respuestas pusieron de manifiesto que los biotecnólogos que trabajan dentro del marco de algún tipo de convenio con empresas, publicaron más y participaron en más actividades académicas, además de obtener mayores beneficios económicos (Folgarait 1987). Otros informes de alguna manera ratificaron ésto y con ello la idea de que a las universidades les conviene transformar su patrón de desempeño. Lógicamente, en los países avanzados los nexos de la universidad con la industria han sido más fuertes durante mucho más tiempo; pero, desde luego, constituyen una experiencia que también puede ser reveladora en los países de la región. En efecto, también con respecto a éstos, e incluso con más razón, el problema estriba menos en la afirmación de que la universidad y la industria deben vincularse que en la profundidad de tal simbiosis y la forma que ha de tomar.

En ALC, la necesidad de una reflexión en el plano conceptual (¿cuál es, en definitiva, el propósito de la universidad moderna y cómo se preserva dentro de ella la búsqueda desinteresada de la verdad?), deberá correr junto a la necesidad de amoldar los esquemas universitarios con la idea de encarar situaciones casi inéditas en la región: cómo conciliar la confidencialidad requerida en el medio productivo con la publicación exigida en el académico; cómo crear empresas conjuntas; cómo celebrar contratos de licencia; cómo compartir derechos sobre una patente; cómo dar con el justo balance entre los diferentes tipos de investigación; cómo establecer un patrón de remuneración para los profesores; cómo distribuirles su tiempo entre actividades académicas y productivas. (Avalos y Martel 1988).

Los **laboratorios del sector público** comparten estos problemas de manera bastante parecida, aunque quizá los mecanismos de conexión con el sector productivo puedan variar. En todo caso, está planteada una discusión importante en torno a ellos, particularmente relevante para los países de la región, dadas las tendencias privatizadoras de la biotecnología en las naciones más avanzadas.

Visto desde el ángulo de la **empresa**, el problema asume otro cariz: ¿cómo hacer para que las empresas puedan hacer uso de la capacidad científica disponible en el país, tanto en los centros de investigación de las universidades como en los del sector público?. Esta parece ser una vieja pregunta de la política científica latinoamericana.

Hasta no hace mucho la investigación se realizaba dentro de un espacio que sólo ocasionalmente entraba en contacto con el medio productivo. Sin embargo, de cuatro o cinco años para acá, se ha iniciado un proceso de acercamiento detonado por la situación económica de la región. Por un lado, los centros científicos confrontan problemas para la obtención de sus recursos financieros por la vía del erario público; y por otro, las empresas tienen cada vez mayores dificultades para acudir al mercado internacional de tecnología. En vista de las circunstancias, aquéllos y éstas han empezado a transitar el camino de la búsqueda mutua con algunos progresos, pero sin que hasta la fecha, en la mayoría de los países, los resultados hayan alcanzado un "promedio" satisfactorio. Sin duda, ello se explica por muchos motivos. Pero hay uno crucial: no se dispone de los esquemas adecuados para que la relación entre las organizaciones científicas y las económicas se den en términos de negocio.

En efecto, en los centros de investigación, incluso en muchos de los que se dedican al desarrollo tecnológico, hay escasa evidencia de su orientación hacia la actividad comercial. Es difícil observar en ellos cómo puede darse la conexión de la actividad científica con el mercado, bien para tratar de identificar una oportunidad económica y en torno a ella llevar a cabo alguna investigación, bien para tratar de explotar algún resultado ya obtenido en el laboratorio. Hay un desentendimiento casi total con respecto a lo que ocurre después de que el científico "termina" su trabajo, desentendimiento que no sólo abarca a los asuntos de índole económica (como los estudios de mercado para una innovación), sino que incluso se extiende a todas aquellas tareas destinadas a "poner a tono" un invento ("escalamiento" de la tecnología, por ejemplo).

En medio de tales circunstancias es poco probable, por decir lo menos, que en estas instituciones pueda desarrollarse la capacidad para pensar en negocios y, menos aún, para hacerlos. Cómo buscar financiamiento para realizar investigaciones, cómo contratar investigadores, cómo explotar patentes, cómo suscribir acuerdos de licencia, cómo vender servicios (control de calidad, ensayo de materiales) o cómo manejar internamente los recursos obtenidos por cualquiera de estos conceptos, son inquietudes que pocas veces se plantean y mucho menos se responden en los centros nacionales de investigación.

El hecho de que las capacidades científicas locales estén principalmente localizadas en el sector público y en las universidades, hace todavía más difícil que se reconozca el lado comercial del trabajo científico. Hay una cierta "rigidez estructural" que dificulta la identificación de oportunidades económicas y la explotación de las mismas. Resulta difícil pensar siquiera que los centros de investigación puedan llegar a firmar acuerdos, por ejemplo, para la constitución de empresas mixtas, tal y como a menudo han hecho las universidades estadounidenses, europeas y japonesas con empresas vinculadas a la biotecnología.

Es obvio, pues, que la situación debe cambiar. El aparato científico debe ir buscando los modos de establecer una relación permanente, flexible y fluida con el medio productivo y que

simultáneamente, aunque suene paradójico, preserve y resguarde el interés y las características propias de los centros de investigación. Afortunadamente, aun cuando resta mucho por hacer, ya hay un conjunto de transformaciones en camino y hacia esa dirección. Para el desarrollo de la biotecnologización de la industria esto debe mirarse como una condición indispensable.

La aproximación de las organizaciones científicas y empresariales cuenta también, por parte de éstas últimas, con algunas incomprensiones. Hay, en primer lugar un desconocimiento enorme acerca de las capacidades disponibles en los laboratorios nacionales. Cuáles centros de investigación hacen qué cosas, constituyen interrogantes que la mayoría de nuestros gerentes están muy lejos de plantearse. A ello debe sumarse, en una dosis no menor, la desconfianza acerca de si los científicos locales podrán llevar a cabo la tarea, si la harán bien y a tiempo, si sabrán guardar el secreto, aspectos todos muy importantes para quienes sí tienen muy arraigado el enfoque comercial. También cabe mencionar, por último, las dificultades que encaran muchas de las empresas para lograr establecer cuáles son sus requerimientos en materia tecnológica, para decir qué es lo que quieren, cómo y por qué lo quieren, hecho que quizá se deba al hábito de hacer descansar en el proveedor extranjero el grueso de las decisiones asociadas con la determinación y la elección de la tecnología requerida.

Hoy en día, sin embargo, comienzan a operarse cambios que de alguna manera y en grado diverso van limando los entrabamientos señalados. Muchas de las empresas de la región han avanzado considerablemente en la comprensión y el manejo de lo tecnológico. Poco a poco va perdiendo fuerza la idea de que la cuestión tecnológica de la empresa comienza y termina con la compra de maquinarias y equipos a un proveedor, casi siempre extranjero. En sentido inverso, va tomando cuerpo la idea de que la empresa debe "gerenciar" la tecnología, lo cual supone concebir y llevar adelante una estrategia de acumulación de capacidades (informaciones, conocimientos, destrezas) que le permitan un mayor conocimiento acerca de su sistema productivo y, obviamente, un uso más eficiente del mismo. Tal estrategia supone, como es lógico, muchas más cosas que la mera compra de maquinarias y muchas veces puede llevar consigo la posibilidad de un acercamiento a los centros de investigación.

El sistema nacional de innovación

En diferentes oportunidades se ha hecho uso de esta expresión¹⁴. Sirve para designar la existencia de ciertos dispositivos organizativos y de mecanismos de funcionamiento para que se den, de la mejor manera, las necesarias vinculaciones entre ciencia, tecnología, producción y mercado y, a partir de allí, los procesos de generación, difusión y utilización de innovaciones: alude a un esquema de organización institucional que permite juntar distintas capacidades (informaciones, conocimientos, destrezas, equipos, recursos financieros), ubicadas en diferentes instituciones (laboratorios del sector público y del sector privado, centros de I y D universitarios, entidades financieras, empresas de bienes de consumo, de bienes intermedios y de bienes de capital, firmas de ingeniería y consultoría), tanto nacionales como extranjeras, con el fin de hacer posibles los procesos de innovación. En síntesis, el sistema nacional de innovación está constituido por una red de instituciones, tanto públicas como privadas, cuyas actividades e interacciones generan, importan, modifican y difunden

14 Esta sección del texto está basada en Avalos (1989b).

nuevas tecnologías¹⁵. La conformación de este sistema y la creación de las condiciones que lo hagan funcionar adecuadamente es una tarea fundamental del Estado en cualquier caso y, por supuesto, en el específico de la biotecnología.

Dentro de este marco conceptual, la misión gubernamental viene dada por tres funciones principales. La primera consiste en fijar objetivos de carácter global, formulados conjuntamente por los diferentes actores sociales involucrados en el proceso de innovación, sin pensar, desde luego, en una integración mecánica de sus correspondientes puntos de vista. Tales objetivos adquieren visos de proyecto nacional y definen pautas básicas para el desempeño a mediano y largo plazo de dichos actores. La estrategia para el desarrollo de la biotecnología en algunos países avanzados apunta en esa dirección.

Diseñar políticas es la segunda función. El propósito central de las mismas debe ser, de acuerdo con lo sustentado en páginas anteriores, propiciar la combinación de las diferentes capacidades y agentes, tanto nacionales como locales, tanto privadas como públicas, que confluyen en la actividad innovativa. Si se trata de inversiones extranjeras, por ejemplo, procurar el diseño de una política que abra lugar para el uso complementario de capacidades locales y foráneas; si se trata de centros de investigación, una política que diluya la distinción entre "proveedores" y "clientes" y estimule la conformación de esquemas vinculantes que unan a empresas con laboratorios en actividades conjuntas a través de alguna forma de *joint venture*. Y en este tenor, lo demás.

Por último, al Estado le toca un papel activo como gestor de acuerdos básicos, no sólo y como se señaló antes, para definir los objetivos estratégicos, sino también para tejer una red de relaciones que haga posible el flujo de los distintos tipos de informaciones, conocimientos y capacidades que sustentan los procesos de innovación, para patrocinar arreglos y compromisos institucionales entre las empresas ("cooperativas" de investigación para las empresas de menor tamaño, por ejemplo); entre empresas y laboratorios (explotación conjunta de patentes, financiamiento compartido de proyectos de investigación); entre empresas nacionales y laboratorios extranjeros (contratos de investigación, suministro de información); entre empresas, laboratorios e instituciones de crédito (capitales de riesgo para desarrollar y comercializar innovaciones o para adoptar y asimilar nuevos sistemas tecnológicos); entre empresas de bienes de consumo y firmas de ingeniería (para identificar y evaluar tecnologías, para desagregar paquetes tecnológicos); entre fabricantes de maquinaria y equipos y empresas usuarias de los mismos (para establecer programas de desarrollo de proveedores) y tantas otras modalidades de alianza entre agentes de la innovación.

El desarrollo de la biotecnología en los países de la región depende estrechamente de la existencia y el funcionamiento adecuado de un sistema nacional de innovación, quizá más que en otras áreas del desarrollo tecnológico. La versatilidad de la biotecnología en cuanto a su aplicación, la multidisciplinariedad en cuanto a su origen, los elevados costos asociados a las actividades de I y D y el hecho mismo de que estén siendo originadas mayoritariamente en el mundo industrializado hace imperiosa la necesidad de tejer esa red de relaciones que permita integrar actores y capacidades, donde quiera que se ubiquen, con el fin de hacer posible el proceso de bioindustrialización.

15 Este término ha sido acuñado recientemente. Resulta difícil precisar su origen. Ha sido muy utilizado en textos que de una u otra manera se relacionan con el trabajo académico realizado en la *Science Policy Research Unit* de la Universidad de Sussex, en Inglaterra. Una interesante referencia en este respecto es el trabajo de Anderson y Ludvall sobre la estrategia tecnológica de los pequeños países nórdicos en el campo de las nuevas tecnologías (Freeman 1988). El concepto de sistema nacional de innovación ha sido también empleado en diversos análisis sobre el Japón (Freeman 1988; Pérez 1989).

BIBLIOGRAFIA

- ABERNATHY, S.; UTTERBACK, J.M. 1978. Patterns of industrial innovation. *Technology Review* no. 88.
- ARCANGELLI, F.; DAVID, P.A.; DOSI, G. 1988. *Frontiers of innovation diffusion*. Inglaterra, Universidad de Sussex. Borrador.
- ARROYO, G. 1985. *El desarrollo de la biotecnología: Desafíos para la agricultura y la agroindustria*. México. Mimeo.
- _____ ; WAISSBLUTH, M. 1988. *Desarrollo biotecnológico en la producción agroalimentaria de México: Orientaciones de política*. CEPAL. Mimeo.
- ASTUDILLO, F. 1987. *Estudio sobre cuestiones de propiedad industrial en el sector de la biotecnología*. Caracas, Junta del Acuerdo de Cartagena.
- AVALOS, I. 1989a. *Aproximación a la gerencia de tecnología en la empresa*. Caracas, IESA. Colección Papeles de Trabajo.
- _____ 1989b. *El papel del Estado dentro del proceso de innovación tecnológica*. Documento preparado para la Secretaría del Convenio Andrés Bello y el BID.
- _____ ; VIANA, H. 1989. *La gerencia de tecnología: El eslabón perdido de la gerencia venezolana*. In *Las Empresas Venezolanas: Sugerencias*. Ed. por M. Naim. Caracas, IESA.
- _____ ; MARTEL, A. 1988. *Bases para la elaboración de una estrategia de desarrollo de la biotecnología en el sector agroindustrial*. Informe para el Ministerio de Fomento. Caracas.
- BID. 1988. *Progreso Económico y Social en América Latina*. Nueva York.
- BUTTEL, F. 1986. *Biotechnology and the Future of Agricultural Research and Development in Latin America and the Caribbean*. Cali, Col., CIAT.
- BYE, P.; MOUNIER, A. 1984. *Les futures alimentaires et energetiques des biotechnologies*. París, ISMEA.
- COMISION DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. 1988. *Propuesta de decisión del Consejo para adoptar un primer programa plurianual (1988-1993) de investigación agroindustrial y desarrollo tecnológico basados en la biotecnología*. Bruselas.

- DE JANVRY, A.; RUNSTEN, D.; SAUDOULET, E. 1987. Technological innovations in Latin American agriculture. Program Papers Series no. 4. San José, C.R., IICA.
- DEMBO, D.; MOREHOUSE, W. 1987. Trends in Biotechnology Development and Transfer. Nueva York, UNIDO.
- DERIAN, J. C. 1986. The international field of technology. *Technology in Society* 8:229-239.
- DI PRISCO, M.; TEXERA, Y. 1986. Biotecnología: Oportunidades para Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. Caracas.
- DOSI, G. 1986. *Technical Change and Industrial Transformation*. Londres, MacMillan Press.
- FOLGARAIT, A. 1987. Consecuencias de la transferencia biotecnológica. *Argentina Tecnológica* 2(10).
- FORTUNE. 1988. *Technology*, February. p. 47-52.
- FREEMAN, C.; CLARK, J.; SOETE, L. 1982. *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*. Londres, Frances Printer.
- _____. 1988. *Technological Policy: Lessons from Japan*. Londres, Frances Printer.
- GEORGE, S. 1984. *Biobusiness: Life for sale*. Mimeo.
- GOLD, B. 1980. *Evaluating Technological Innovation: Methods, Expectations and Findings*. Mass., USA, Lexington Books.
- GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. 1987. *From Farming to Biotechnology*. Nueva York, Basil Blackwell.
- HALTY, M. 1986. *Estrategias de Desarrollo Tecnológico para Países en Desarrollo*. México, El Colegio de México.
- HERNANDEZ, A. 1987. *La Biotecnología en Venezuela*. Caracas, CONICIT.
- HIRAOKA, L. 1987. *Frontiers of commercial biotechnology*. Futures.
- IICA (C.R.). 1987. *Innovación tecnológica y desarrollo agropecuario en América Latina y el Caribe: Desafíos y oportunidades*. In Conferencia Interamericana de Ministros de Agricultura (9, Ottawa, Can.). San José, C.R., IICA.
- KAYTON, I. 1983. Those copyright laws that apply to genetically engineering cells. *Trends in Biotechnology* 1(1).
- KENNEY, M. 1986. *Biotechnology: The University-Industrial Complex*. New Haven, Yale University Press.
- KLAUSNER, A. 1985. *Biotech's first steps into the business world*. *Biotechnology*.

- KRISTENSEN, L.; LEVINSEN, J. 1988. Technology and the competitiveness of small countries: A review. Citado por Walsh, V. In *Small Countries Facing the Technological Revolution*. Ed. por C. Freeman. Londres, Nueva York, Pinter Publishers.
- KUHN, T. 1972. *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México, Fondo de Cultura Económica.
- McFETRIDGE, D. G. 1985. The timing, mode and terms of technology transfers: Some recent findings. In *Round Table on International Technical Transfers in Advanced Countries: Multinational and National Policies*. University of Paris.
- METCALFE, L. 1981. Impulse and diffusion in technical change. *Futures* 13(5).
- NADAL, A.; SALAS, C. 1988. *Bibliografía sobre el análisis económico del cambio técnico*. México, El Colegio de México.
- NAIM, M. 1984. Posibilidades y limitaciones del funcionamiento de los mercados en los países menos desarrollados: Una aplicación del enfoque de mercados y jerarquías al caso de Venezuela. Caracas, IESA. Colección Papeles de Trabajo.
- NELSON, R.; WINTER, S. 1977. In search of a useful theory of innovation. *Research Policy* 6(1).
- OECD. 1982. *Biotechnology: International Trends and Perspectives*. París.
- OTERO, G. 1989. Análisis de los impactos de la biotecnología en la agricultura: Aspectos conceptuales y metodológicos. In *Seminario Perspectivas e Impactos Generales de las Agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe*. San José, C.R., IICA.
- PAVITT, K. 1983. Technology transfer amongst the industrially advanced countries: An overview. Brighton, Gran Bretaña, Science Policy Research Unit, U. of Sussex. Mimeo.
- PEREZ, C. 1985. Microelectronics, long waves and world structural changes: New perspectives for developing countries. *World Development* 13(3).
- _____. 1986. Las nuevas tecnologías: Una visión de conjunto. In *La Tercera Revolución Industrial*. Ed. por C. Ominami. Grupo Editor Latinoamericano.
- _____. 1989. The present wave of technical change: implications for competitive restructuring and for institutional reform in developing countries. World Bank.
- PORTER, M. (ed). 1986. *Competition in Global Industries*. Boston, Harvard Business School Press.
- PRESTOWITZ, C. 1986. Japanese biotechnology industry development. *Technology in Society* 8:219-222.
- QUINTERO, R. 1987. *La Biotecnología Latinoamericana: Oportunidades y Desafíos*. Caracas, Corporación Andina de Fomento.

- QUINTERO, R. 1989. Perspectivas de la biotecnología en América Latina y el Caribe. In Seminario sobre Perspectivas de las Agrobiotecnologías en América Latina y el Caribe. San José, C.R., IICA.
- RAMIREZ, J. L. 1987. La biotecnología en países en desarrollo. *Interciencia* no. 5.
- RANGEL ALDAO, R. 1987. La biotecnología de punta en un país en desarrollo. *Interciencia* no. 5.
- ROSENBERG, N. 1976. *Perspectives on technology*. Inglaterra, Cambridge University Press.
- _____. 1982. *Inside the Black Box*. Inglaterra, Cambridge University Press.
- SASSON, A. 1984. *Las Biotecnologías: Desafíos y Promesas*. París, UNESCO.
- SCHUMPETER, J. 1942. *Capitalismo, Socialismo y Democracia*. Madrid, Aguilar.
- _____. 1963. *Teoría de Desarrollo Económico*. México, Fondo de Cultura Económica.
- SILVEIRA J., DA; SALLES, S. s.f. *Biotecnología: Conceituação, evolução recente e impactos sectoriais*. Mimeo.
- SOETE, L. 1988. Technical change and international implications for small countries. In *Small Countries Facing the Technological Revolution*. Londres, Pinter Publishers.
- STANKIEWICZ, L. 1982. *Academics and Entrepreneurs: Developing University/Industry Relations*. Londres, Frances Pinter.
- TEXERA, Y. 1984. *Contribuciones al estudio de la biotecnología desde una perspectiva latinoamericana*. Caracas, CENDES, Universidad Central de Venezuela.
- TRIGO, E. 1986. *Agricultural Research Organizations in the Developing World: Diversity and Evolution*. Holanda, ISNAR.
- TOMPKINS, J. S. 1986. *Capitalizing on life. Biotechnology*.
- UNITED NATION CENTRE ON TRANSNATIONAL CORPORATIONS. 1988. *Transnational Corporations in Biotechnology*. Nueva York.
- UTTERBACK, J. 1975. The dynamics of product and process innovation in industry. In *Technological Innovation for a Dynamic Economy*. Comp. por C. Hill; J. Utterback. Nueva York, Pergamon Press.
- WILLIAMSON, H. 1983. *Market and Hierarchies*. Cambridge, Boston University Press.

La edición y publicación de este documento es responsabilidad del Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola (CIDIA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. En la misma participación funcionarios del Servicio Editorial y de la Imprenta del IICA. Esta impresión se terminó en el mes de noviembre de 1990, con un tiraje de 1 200 ejemplares.

PROGRAMA II: Generación y Transferencia de Tecnología

El Programa de Generación y Transferencia de Tecnología fue creado como respuesta a dos aspectos básicos: el reconocimiento por parte de los países y de la comunidad técnica y financiera internacional de la importancia de la tecnología para el desarrollo productivo del sector agropecuario; y la convicción de que el potencial de la ciencia y la tecnología sólo puede ser plenamente explotado a partir del desarrollo de infraestructuras institucionales capaces de generar respuestas técnicas apropiadas a las condiciones específicas de cada país, en un marco de políticas que alienten y faciliten la incorporación de nueva tecnología en el proceso de producción.

En este contexto, el Programa II promueve y respalda acciones en los países miembros para mejorar el diseño de políticas tecnológicas, reforzar la organización y la administración de los sistemas de generación y transferencia de tecnología, y facilitar la transferencia internacional de tecnología.

Se espera que estas acciones conduzcan a un uso más racional de los recursos disponibles y hagan más efectiva la contribución para resolver los problemas tecnológicos de la producción agrícola, dentro de un marco de equitativa distribución de los beneficios y de conservación de los recursos naturales.

De acuerdo con el Plan de Mediano Plazo vigente, el Programa de Generación y Transferencia de Tecnología, para abordar estos problemas, concentra sus actividades en cinco áreas básicas:

- Diseño de una política tecnológica.
- Organización y administración en los sistemas e instituciones nacionales de generación y transferencia de tecnología.
- Desarrollo y/o fortalecimiento de los programas de capacitación de los recursos humanos.
- Cooperación recíproca y coordinación internacional en investigación y transferencia de tecnología.
- Formulación e implementación de proyectos de inversión.

El Programa II busca alcanzar sus objetivos primarios contribuyendo a resolver algunos de los principales problemas que limitan el desarrollo agrícola y el bienestar rural en los países de la región. Para ello impulsa y estimula la vinculación de la política tecnológica del sector agropecuario con otros aspectos de la política económica general; ayuda al fortalecimiento de la organización y la capacidad económica de las instituciones tecnológicas, la consolidación de los recursos humanos calificados, la capacitación y especialización de los nuevos cuadros profesionales; promueve la transferencia internacional de tecnología y la integración de la investigación a nivel nacional e internacional.

Importancia especial se da a los esfuerzos regionales que se espera permitan estrechar la amplia brecha que afrontan la mayoría de los países pequeños en cuanto a sus necesidades de desarrollo tecnológico y la cantidad de recursos que pueden invertir.

**SERIE DOCUMENTOS DE PROGRAMAS
PROGRAM PAPERS SERIES**

- 1 LOS PROGRAMAS DE AJUSTE ESTRUCTURAL Y SECTORIAL: Alcances para la Reactivación y Desarrollo de la Agricultura Agosto 1987/IICA
- 2 FOROS INTERNACIONALES SOBRE PRODUCTOS AGRICOLAS: Situación y Perspectivas Agosto 1987/Haroldo Rodas Melgar
- 3 CAPACITACION CAMPESINA: Un Instrumento para el Fortalecimiento de las Organizaciones Campesinas Octubre 1987/IICA
- 4 TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN LATIN AMERICAN AGRICULTURE: November 1987/Alain de Janvry, David Runsten, Elisabeth Sadoulet
- 5 EXPERIENCIAS EN LA APLICACION DE ESTRATEGIAS PARA COMBATIR LA POBREZA RURAL Diciembre 1987/Fausto Jordán, Diego Londoño
- 6 LAS AGRICULTURAS DE LOS PAISES DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE EN LA CRISIS ACTUAL: Condiciones, Desempeño y Funciones Julio 1988/Mario Kaminsky
- 7 LA NUEVA BIOTECNOLOGIA EN AGRICULTURA Y SALUD Julio 1988/IICA
- 8 AGRICULTURA Y CAMBIO ESTRUCTURAL EN CENTROAMERICA Octubre 1988/Helio Fallas, Eugenio Rivera
- 9 MEXICO EN LA RONDA URUGUAY: El Caso de la Agricultura Enero 1989/Cassio Luiselli Fernández, Carlos Vidali Carbajal
- 10 LA ECONOMIA CAMPESINA EN LA REACTIVACION Y EL DESARROLLO AGROPECUARIO Febrero 1989/IICA
- 11 HUMAN CAPITAL FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN LATIN AMERICA June 1989/G. Edward Schuh, M. Ignez Angeli-Schuh
- 12 RURAL DEVELOPMENT IN LATIN AMERICA: An Evaluation and a Proposal June 1989/Alain de Janvry et al.
- 13 HACIA UNA ESTRATEGIA TECNOLOGICA PARA LA REACTIVACION DE LA AGRICULTURA DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE Julio 1989/Eduardo Trigo, David Runsten
- 14 LAS POLITICAS MACROECONOMICAS Y LA AGRICULTURA Setiembre 1989/Carlos Pomareda, Roger Norton, Lucio Reza, Jorge Torres Zorrilla
- 15 ACCESO A MERCADOS Y COMERCIO INTRARREGIONAL Setiembre 1989/Alvaro de la Ossa, Alfredo Guerra-Borges
- 16 INVERSION Y MECANISMOS PARA LA MOVILIZACION DE RECURSOS FINANCIEROS PARA LA AGRICULTURA Setiembre 1989/Roberto Vásquez, Richard Webb, Carlos Pomareda, Félix Cirio
- 17 AMERICA LATINA Y EL CARIBE: POBREZA RURAL PERSISTENTE Enero 1990/IICA
- 18 BIOTECNOLOGIA E INDUSTRIA: Un Ensayo de Interpretación Teórica Noviembre 1990/Ignacio Avalos Gutiérrez
- 19 TECNOLOGIAS DE AMERICA DEL NORTE PARA EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS Noviembre 1990/Paul G. Muller, René Riel
- 20 NUEVAS ESTRATEGIAS EN LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA PARA EL ISTMO CENTROAMERICANO Noviembre 1990/David Kaimowitz, Daniel Vartanián

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
Apdo. 55-2200 Coronado, Costa Rica/Tel.: 29-02-22 / Cable: IICASANJOSE / Télex: 2144 IICA CR
Correo Electrónico EIES: 1332 IICA SC / FAX (506) 29-47-41, 29-26-59 IICA COSTA RICA