

Oportunidades y desafíos de la biotecnología para la agricultura y agroindustria de América Latina y el Caribe

Walter Jaffé Carbonell
y
Diógenes Infante

Washington, D.C.
Septiembre 1996—Nº ENV-105

Walter Jaffé es vicepresidente del Consejo Nacional de Inversiones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), Caracas, Venezuela (tel. 582-239-6475, fax 582-239-6056, Email: wjaffe@conicit.ve). Diógenes Infante es asistente de investigación en CONICIT. Las ideas y conclusiones presentadas en el documento no reflejan la posición de las instituciones mencionadas. Los autores agradecen el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo. Ruben G. Echeverría de la División de Medio Ambiente del Departamento de Programas Sociales y Desarrollo Sostenible del Banco estuvo a cargo del estudio y coordinó la producción de este informe.

Prólogo

La División de Medio Ambiente del BID, con la colaboración de varias unidades técnicas del Banco, y de otras organizaciones internacionales, regionales y nacionales está elaborando un documento de análisis de los elementos prioritarios para una estrategia sobre el desarrollo tecnológico agropecuario y forestal basado, entre otros aspectos, en la contribución de la biotecnología agrícola al desarrollo de los sistemas agroalimentarios de la región. El documento en preparación pone énfasis en la evolución de los diversos modelos institucionales, los mecanismos de financiamiento y las prioridades de los sistemas nacionales de desarrollo tecnológico.

Los conceptos y recomendaciones incluidos en el documento preparado por el doctor Walter Jaffé y el doctor Diógenes Infante en relación al desarrollo de las biotecnologías agrícolas en la región son parte de la estrategia en preparación mencionada. El documento describe el desarrollo de la biotecnología agrícola en la región, las capacidades científicas y las características de las empresas abocadas al tema, y analiza las estrategias y políticas institucionales para el desarrollo de la biotecnología.

La información presentada en el documento, así como las conclusiones y sugerencias de política para orientar el desarrollo de la investigación sobre agrobiotecnologías proveen una base sólida para la discusión del tema, y en este sentido esperamos que cumpla con el objetivo de mejorar la calidad de los proyectos de inversión en esta área.

Walter Arensberg
División de Medio Ambiente
Departamento de Programas Sociales y Desarrollo Sostenible
BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

Indice

Introducción	1
Situación internacional de la biotecnología agrícola	3
<i>El desafío de las nuevas tecnologías</i>	
<i>La industria internacional de biotecnología agrícola</i>	
<i>Ejemplos de desarrollos en biotecnología agrícola importantes para la región</i>	
Situación de la biotecnología agrícola en la región	9
<i>Modelo de desarrollo de la biotecnología</i>	
<i>Las capacidades científicas</i>	
<i>La industria de biotecnología</i>	
<i>La situación de la biotecnología agrícola</i>	
Estrategias y políticas de desarrollo de la biotecnología	20
<i>Estrategias nacionales y empresariales</i>	
<i>El papel del gobierno</i>	
<i>Los programas de desarrollo de la biotecnología</i>	
<i>Marco legal y regulatorio</i>	
<i>La cooperación internacional</i>	
Aspectos institucionales de la IyD en biotecnología agrícola	30
<i>Requerimientos técnicos y económicos</i>	
<i>Organización</i>	
<i>Recursos humanos</i>	
<i>Planificación y priorización</i>	
<i>Vinculación con la industria</i>	
Necesidades de apoyo al desarrollo de la biotecnología agrícola:	
Conclusiones y recomendaciones	34
Bibliografía	38

Indice de cuadros

1.	Ejemplos de compañías de biotecnología agrícola importantes	5
2.	Artículos de agrobiotecnología publicados en ALC	11
3.	Centros de investigación e investigadores en biotecnología agrícola en ALC	12
4.	Tipos de organizaciones de IyD en biotecnología	13
5.	Inversión en biotecnología agrícola en algunos países	14
6.	Empresas que usan biotecnologías en ALC, 1991-92	16
7.	Algunas características latinoamericanas de empresas de biotecnología	17
8.	Ejemplos de programas gubernamentales de apoyo directo a la biotecnología en América Latina	24
9.	Pruebas de campo con plantas transgénicas en América Latina	27
10.	Programas regionales de cooperación técnica en biotecnología	28
11.	Recursos requeridos para IyD en biotecnología	31

Introducción Introducci—n

Con el invento de la ingeniería genética, que permitió el aislamiento y manipulación de los genes, se empezó a perfilar una profunda revolución técnico-económica en todas las actividades basadas en productos y procesos biológicos. Sus impactos serán especialmente importantes en las industrias relacionadas con la salud humana, la agricultura y agroindustria y, en general, todas aquellas basadas en la utilización de seres vivos o sus productos (OECD 1989). Aun cuando la concreción comercial de la biotecnología ha sido más lenta que las predicciones iniciales, hoy en día, algunos de los impactos y cambios previstos se han hecho realidad.

En el caso de la agricultura y agroindustria, en particular, la biotecnología claramente ofrece la posibilidad de un nuevo crecimiento de la productividad de la agricultura primaria, mediante la superación de limitaciones biológicas básicas de plantas y animales a través de la manipulación de su base genética.

De esta forma, pueden superarse los toques de aumento de la productividad de los principales cultivos que se han venido alcanzando en los últimos años, debido al agotamiento del potencial genético explotable mediante tecnologías tradicionales.

Pero quizá tan o más importante, es la posibilidad que ofrece la biotecnología de desarrollar patrones de producción más sustentables ambientalmente. La reducción del uso de insumos energéticos y químicos manteniendo la productividad, y la posibilidad de extender la agricultura a zonas marginales o de aumentar su productividad en ellas, son algunas alternativas que ilustran este potencial.

La viabilidad de pasar del patrón de producción de la Revolución Verde, basado en la maximización del potencial genético del cultivo de aprovechar nutrientes y otros insumos, a un nuevo patrón agro-ecológico, donde se explota más bien el potencial del sistema de producción en su conjunto, va a depender en gran medida de los avances de la biotecnología.

Uno de los efectos más profundos de la biotecnología es el haber facilitado la

apropiación privada del conocimiento y tecnologías que tradicionalmente eran del dominio público. Ella permite una mayor valorización comercial de la información biológica básica, así como su mayor y mejor control, lo que ha impulsado la extensión de la propiedad intelectual a nuevos ámbitos como, por ejemplo, seres vivos.

La biotecnología, en su acepción más amplia, es un conjunto de técnicas para la utilización productiva de seres vivos y sus productos. Una definición más restringida incluye solo las técnicas basadas en la biología molecular y celular, que es la que se utilizará en este trabajo. Este grupo de técnicas pueden diferenciarse entre aquellas de complejidad intermedia, de carácter más tradicional como serían, el cultivo de tejidos y las técnicas inmunológicas de primera generación, por ejemplo, y las complejas y más modernas, generalmente de base molecular, como son el ADN recombinante, los hibridomas, el uso de enzimas de restricción, etc.

Es importante distinguir entre las *biotecnologías genéricas o básicas* (cultivo de tejidos, ingeniería genética, mapeo genético, hibridomas, etc.) y *biotecnologías específicas*.

Las primeras son técnicas con un amplio espectro de aplicaciones, mientras la segunda es la incorporación de las anteriores en procesos o productos específicos (por ejemplo, una variedad de algodón resistente a insectos producida por ingeniería genética, un protocolo de micropropagación de banano, una vacuna veterinaria por ingeniería genética).

El concepto de biotecnologías específicas destaca el hecho que ellas están incorporadas en productos y procesos. En el caso de la biotecnología agrícola se trata principalmente de insumos para la agricultura y la producción y salud animal, tales como variedades vegetales, semillas, razas animales, biopesticidas, inoculantes, alimentos, vacunas, etc. El carácter biológico de estos productos obliga, en muchos casos, a su adaptación a condiciones ecológicas locales.

Una de las preocupaciones que suscitó la biotecnología desde su nacimiento fue sus impactos sobre los países en desarrollo. A la vez que se reconocían las oportunidades que ofrece para superar problemas básicos de salud y de producción, por ejemplo, se advertían los desafíos que entraña en términos del aumento de la brecha tecnológica entre países desarrollados y países en desarrollo, la dependencia que ello implica, y el peligro de sustitución de exportaciones de países menos desarrollados, debido a la posibilidad de trasladar la producción de algunos productos a países más desarrollados o el desplazamiento de productos tradicionales por otros nuevos. Un ejemplo destacado de esto último ha sido la introducción de la isoglucosa o jarabes de fructuosa, obtenidos por técnicas enzimáticas a partir de almidones, que han desplazado al azúcar en muchos usos en los últimos quince años, con el consiguiente impacto negativo sobre los precios y la economía de muchos exportadores.

El interés en la biotecnología moderna surgió bastante temprano en la región. La razón de ello está seguramente en la tradicional fortaleza de su investigación biológica, médica y agrícola. En el momento de la consolidación definitiva de la biotecnología agrícola (1995), con la introducción comercial de sus primeros productos en los países líderes,

es apropiado un análisis de su estado de arte en América Latina y el Caribe (ALC). Los objetivos del presente trabajo son la determinación de sus avances, la caracterización de su problemática y la identificación de opciones y acciones específicas para su orientación y fortalecimiento.

Para ello se hace inicialmente una descripción de la situación internacional de la biotecnología, con énfasis en las implicaciones sobre las estrategias y políticas posibles en la región. En la tercera sección, se analiza toda la información que fue posible obtener respecto a las capacidades en agro-biotecnología en la región, diferenciadas en capacidades científicas y productivas. Los avances en cuanto a las estrategias y políticas de desarrollo de la biotecnología se presentan en la cuarta sección, con énfasis en los programas gubernamentales de apoyo, la cooperación internacional y el marco legal y regulatorio requerido. En la quinta sección se analiza en más detalle los aspectos organizacionales y gerenciales del desarrollo de la biotecnología en centros de investigación, para finalizar, en la sexta sección, con un conjunto de conclusiones y recomendaciones para el fortalecimiento de este tipo de biotecnología en la región.

Situación internacional de la biotecnología agrícola

Situación internacional de la biotecnología agrícola

La biotecnología moderna surge a comienzos de la década de los años setenta en los Estados Unidos, como consecuencia de una serie de inventos hechos en laboratorios de investigación universitarios. A mediados de la década se inicia la comercialización de productos basados en las nuevas tecnologías por parte de empresas creadas para explotarlas. Luego empiezan a entrar en el nuevo campo compañías establecidas, principalmente corporaciones farmacéuticas, agroquímicas y de energía. Otros países desarrollados, y sus empresas entran en el nuevo campo; sin embargo, los Estados Unidos mantienen su liderazgo indiscutido, gracias a una especial combinación de fortaleza científica, capacidad empresarial y capital de riesgo.

Las posibilidades y perspectivas de la biotecnología en ALC están en lo fundamental determinadas por su situación en los países desarrollados. La correcta conceptualización del reto que ella supone, así como una adecuada comprensión de su dinámica en los países líderes, es el punto de partida para cualquier intento de desarrollar la biotecnología en la región.

El desafío de las nuevas tecnologíasEl desafío de las nuevas tecnologías

La base tecnológica de industrias y otros sectores de producción o servicios generalmente está formada por tecnologías maduras, es decir, tecnologías que tienen una trayectoria de desarrollo más o menos larga. Las alternativas u opciones tecnológicas, de ingeniería u organizativas de los más importantes productos y procesos están definidas y sus ventajas relativas son conocidas. Desarrollar el dominio de estas tecnologías maduras es un proceso de riesgos e incertidumbres bajas, pues las avenidas de innovación básicas o principales están ya establecidas y sus cambios y mejoras serán fundamentalmente de carácter progresivo e incremental.

El surgimiento de un grupo de nuevas

tecnologías, todavía inmaduras, en una temprana fase de desarrollo, afecta este proceso de progresivo dominio directamente, si las nuevas tecnologías modifican o substituyen tecnologías existentes, o indirectamente si forman la base de nuevas industrias. La biotecnología afecta tecnologías existentes y, en consecuencia, industrias establecidas, al permitir superar límites técnicos básicos, haciendo viable nuevos parámetros de productividad y de calidad para productos y procesos existentes. Existe el peligro que industrias tradicionales, y sus procesos de progresivo dominio de tecnologías existentes, se tornen irrelevantes pues las innovaciones radicales establecen nuevas trayectorias de desarrollo tecnológico. Países o empresas que no las tomen en cuenta pueden terminar con actividades productivas incapaces de competir contra rivales que usen las nuevas tecnologías.

La reorientación de las trayectorias tecnológicas es impuesta a los países (o a las empresas) por los creadores de las nuevas tecnologías. En sus fases tempranas, se presentan altos niveles de incertidumbre respecto al tipo y características de la o las trayectorias que se van a consolidar. Muchos desarrollos terminan en callejones sin salida, y deben ser abandonados. Hay una intensa competencia entre diferentes alternativas de tecnologías, que termina definiéndose por factores técnicos, políticos y sociales.

En el caso de la biotecnología, la diferencia básica respecto a tecnologías de bases biológicas más tradicionales, es su basamento directo en la biología molecular y celular de punta. Muchas tecnologías tradicionales, como la fermentación, el mejoramiento genético, la propagación y reproducción vegetal y animal, están fundamentadas empíricamente aun cuando fueron mejoradas por la investigación científica, es decir, no están basadas en una teoría a nivel molecular o celular. Para dominar las nuevas tecnologías se exige, en consecuencia, una sólida comprensión de sus bases científicas. Su innovación se hace mucho más dependiente de

investigación y desarrollo (IyD) formal en las nuevas disciplinas, entre las que destacan la inmunología y la biología molecular y celular. La industria de biotecnología es, en consecuencia, más IyD intensiva y más estrechamente relacionada con la ciencia básica.

La industria internacional de biotecnología agrícola

El mercado de la biotecnología agrícola ha sido estimado entre diez y cien mil millones de dólares estadounidenses de ventas a nivel de fincas para el año 2000 (OECD 1989). Se trata fundamentalmente de nuevos fertilizantes, pesticidas, semillas y productos veterinarios. El mercado más importante se estima sean las ventas de semillas, seguidas por los insumos agrícolas microbiológicos y los productos veterinarios. Una categoría de productos de creciente importancia no tomada en cuenta en estas estimaciones iniciales son los alimentos producidos por biotecnología, como nuevos vegetales y frutas, comercializados directamente por las empresas que los desarrollan. Otro desarrollo reciente es la utilización de plantas como fábricas de otros productos, como se está haciendo con la colza modificada para producir ácido láurico o aceites para margarinas.

Las estimaciones iniciales sobre el potencial de mercado de la biotecnología fueron todas demasiado optimistas, ya que subestimaron las dificultades para la obtención de productos y su aprobación por parte de las autoridades competentes. Sin embargo, en la actualidad existe una pujante industria de biotecnología en los países desarrollados, principalmente dirigida hacia la salud humana. La biotecnología agrícola moderna ha tenido un desarrollo relativamente menor. Pero también en ella se han consolidado un grupo pequeño de nuevas empresas y las corporaciones multinacionales agroquímicas, veterinarias y de alimentos más importantes están fuertemente involucradas. En 1995 se han introducido algunos productos emblemáticos en el mercado de los Estados Unidos, luego de largos años de evaluación regulatoria, como son las primeras plantas y alimentos transgénicos. El ejemplo más conocido es el tomate de maduración retardada.

Una idea de la magnitud de los esfuerzos para

Cuadro 1. Ejemplos de compañías de biotecnología agrícola importantes (1995, millones US\$)

Nombre	País origen	Ventas	Inversión IyD
Calgene	USA	37,0	12,8
Mycogene	USA	117,0	13,5
DNA Plant Tech.	USA	16,3	6,7
Hoechst/Celanese	USA Alemania	7.794,0	313,0
Monsanto	USA	8.272,0	609,0
Rhone-Poulenc	Francia	16.147,0	1.248,0
Pioneer	USA	1.178,0	113,6

el desarrollo de la biotecnología a nivel mundial lo da la inversión en investigación y desarrollo. Se ha estimado que para 1985 estaba en el orden de los cuatro mil millones de dólares, de los cuales el 22% estaban dirigidos a biotecnologías agrícolas (Persley 1990). Casi el 70% de la inversión total proviene del sector privado. El papel del sector público se concentra en la investigación básica, que ha producido las tecnologías más importantes, pero el desarrollo comercial de las mismas es asumido por el sector privado.

Este es un cambio importante en el ámbito de las tecnologías biológicas pues el sector público tradicionalmente había asumido el papel más importante en investigación. El mismo ha sido consecuencia de la posibilidad de apropiación privada de estas tecnologías. Los procesos y productos son protegibles mediante patentes u otras formas de propiedad intelectual permitiendo que una compañía privada pueda obtener un retorno de su inversión en IyD.

Las empresas que están liderando el desarrollo de la biotecnología agrícola son de tres tipos. En primer lugar esta un pequeño grupo de empresas creadas especialmente para explotar alguna biotecnología, las nuevas empresas de biotecnología (NEB), de alta intensidad de investigación, pero también de alta inestabilidad. Existen principalmente en los Estados Unidos, y continuamente se están creando nuevas y desapareciendo otras. El

segundo grupo son algunas grandes empresas de agroquímicos y semillas, que han invertido fuertemente en el nuevo campo, de hecho iniciando un proceso de paulatina reconversión hacia estas nuevas tecnologías de base biológica. Finalmente, existen otras grandes corporaciones interesadas, principalmente de alimentos. Se ha estimado que para 1986 existían 134 empresas involucradas con biotecnología agrícola en los Estados Unidos, 70 de ellas eran nuevas empresas de biotecnología (OTA 1986). Para 1995, se cotizan en la bolsa de Nueva York 14 compañías de biotecnología agrícola, así como nueve corporaciones diversificadas de agroquímicos y semillas con importantes actividades en biotecnología (Kidd, 1995).

La industria de biotecnología está mostrando signos de consolidación, luego de un proceso de extensos y profundos cambios. Las grandes corporaciones, además de desarrollar sus propias capacidades de IyD, se han asociado con nuevas empresas de biotecnología y han comprado muchas de ellas. Además ha habido asociaciones y fusiones entre empresas establecidas, y extensas compras de otras empresas agrícolas por parte de algunas empresas líderes. De particular importancia ha sido la concentración de la industria de semillas a nivel mundial, que está cambiando rápidamente de una industria dominada por pequeñas y medianas empresas familiares a una formada por empresas más grandes, muchas de ellas controladas por corporaciones de agroquímicos. De esta forma estas últimas se están posicionando para controlar la futura producción y comercialización de los principales productos de la biotecnología (*Seed Industry Journal* 1990).

Ejemplos de desarrollos en biotecnología agrícola importantes para la región

Una de las razones del avance relativamente más rápido de la biotecnología aplicada a la salud humana en comparación a la agrícola es que cuenta con una base de conocimientos científicos mucho más extensa y profunda. La biología molecular y celular de animales y microorganismos patógenos está mucho más avanzada que la de plantas. Procesos claves en plantas, como son la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno, la resistencia a enfermedades, apenas ahora están empezando a dilucidarse a

nivel molecular.

Sin embargo, se ha avanzado significativamente en algunos campos, permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías y productos. Los primeros productos de la biotecnología agrícola fueron productos veterinarios (estuches diagnósticos, vacunas), seguidos por algunos productos microbiológicos (bacterias de acción insecticida). Plantas y alimentos de consumo directo obtenidas por biotecnología empezaron a introducirse en los mercados internacionales en 1995, luego de largos procesos de aprobación regulatoria. Los más destacados son tomates de maduración retardada y cultivos resistentes a herbicidas, a insectos y a virus (maíz, algodón, soya, vegetales).

A continuación se presentan brevemente algunos de estos desarrollos.

Plantas transgénicas resistentes a insectos

La producción de plantas resistentes a insectos es una aplicación de la ingeniería genética con importantes implicaciones para el mejoramiento de los cultivos utilizados en la agricultura (Vaeck y col., 1987). El *Bacillus thuringiensis* es una bacteria que produce una proteína cristalina, que al ser ingerida por ciertos órdenes de insectos bloquea el sistema digestivo, con lo cual el insecto muere (Aronson y col., 1986). Dadas las diferencias entre los insectos y los seres humanos y otros animales superiores, la toxina del *B. thuringiensis* es completamente inofensiva en dichos organismos.

Gracias a las técnicas de ingeniería genética, el gen que codifica dicha toxina fue aislado y clonado en un vector de expresión en plantas, lo que permitió su inserción y expresión en plantas transgénicas. Estas plantas al expresar la toxina están generando su propio insecticida, lo que implica un menor uso de agroquímicos para controlar insectos, con obvias ventajas económicas y ambientales. Varias plantas transgénicas de este tipo están siendo introducidas comercialmente en algunos países desarrollados.

Construcción de mapas genéticos

La construcción de mapas genéticos de alta

densidad utilizando marcadores provenientes del polimorfismo del largo de los fragmentos de restricción (RFLP) (Tanksley y col., 1989) y la amplificación al azar utilizando PCR (RAPD) (Williams y col., 1990) es una herramienta sumamente poderosa en programas de mejoramiento genético, vegetales y animales, además que permitirá dilucidar los caracteres genéticos cuantitativos (Tanksley, 1993). La ventaja de estos marcadores es que permiten trabajar directamente con el genotipo, sin esperar su expresión a través del fenotipo, como es el caso de la genética tradicional. Ello se traduce en un mejoramiento genético precisamente dirigido a caracteres determinados, lo que permite grandes ahorros en el tiempo necesario para obtener una nueva variedad o raza animal. En cultivos como el cacao, con un período de tres a cinco años para producir y alrededor de siete años para estar en plena productividad, estos marcadores son imprescindibles, ya que acortan en muchos años el proceso de cruzamiento para la producción de híbridos, permitiendo una mejor selectividad de los genes a ser transferidos.

Desde hace algunos años se están realizando esfuerzos importantes para construir mapas de este tipo para los cultivos comercialmente más importantes como, por ejemplo, maíz, trigo y tomate. La mayoría de estos mapas son generados por la industria, por lo que la información es privada. Algunos son producidos por entes públicos, destacando entre ellos centros internacionales como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Resistencia a enfermedades

Diversas estrategias han sido desarrolladas para la introducción de resistencia a virus mediante ingeniería genética. La más utilizada es la llamada resistencia derivada del patógeno, que consiste en la expresión de genes virales en plantas transgénicas (Fitchen y Beachy, 1993). Otro esquema se basa en la utilización de ARN antisentido, técnica que permite inhibir, o modular, la expresión de un gen (Bejarano y Lichtenstein, 1992). La agricultura de nuestros países presentan una gran cantidad de infecciones virales y bacterianas, muchas de ellas típicamente locales. Su prevención

directa solo puede ser lograda por programas biotecnológicos. En el caso de hongos y bacterias el enfoque no es tan simple, sin embargo, existen también algunos resultados de introducción de resistencia derivada del patógeno en algunos cultivos (Sanford y Johnston, 1985).

Plantas transgénicas resistentes a virus comenzaron a introducirse comercialmente en 1995 en algunos pocos países.

Sistemas para la producción de híbridos

Los cultivares híbridos son sumamente importantes para todos los sectores agroindustriales. El vigor híbrido, producto de la heterosis, y la uniformidad en la cosecha se traduce en mayores rendimientos y ventajas para la comercialización, lo cual es importante para el productor. Para la industria procesadora, la ventaja viene dada por la uniformidad del producto a ser procesado y la posibilidad de obtener un producto con características determinadas. La industria de semillas, a su vez, obtiene un alto grado de reproducibilidad y la posibilidad de controlar el producto en el mercado, lo cual permite recobrar los costos de producción, además de asegurar la demanda del producto.

La obtención de híbridos se ve altamente facilitada por la esterilidad masculina (EM), la cual permite controlar satisfactoriamente la polinización. En plantas cuya cosecha no es un fruto, como la zanahoria o la lechuga, las plantas con EM pueden ser cruzadas con cualquier línea polinizadora para producir semillas híbridas. Sin embargo, para la producción de semillas en cultivos cuya cosecha es un fruto es necesario que la línea EM sea cruzada con otra que restaure la fertilidad.

Una de las posibilidades más prometedoras consiste en la utilización de un sistema para la introducción de la androesterilidad en plantas y su posterior restauración, utilizando la transformación genética en el laboratorio. Diseñado por la compañía *Plant Genetic Systems* de Bélgica, el sistema utiliza un nuevo método genético para reprimir la producción de polen, que puede ser aplicado en diferentes especies de plantas. Otro sistema, basado en la inhibición de precursores metabólicos, es comercializado por la empresa *Nurhems*

Zadens BV de Holanda Ambos sistemas permiten restaurar la fertilidad en los casos que sea necesario.

Plantas resistentes a estrés abiótico

Muchos de nuestros suelos, especialmente los tropicales, presentan condiciones de alta salinidad, presencia de metales, o bajo nivel hídrico. Mediante las técnicas de cultivo de tejidos y fusión de protoplastos es posible desarrollar plantas capaces de crecer en tales condiciones, con lo cual suelos que no son actualmente utilizables para la agricultura, podrían ser aprovechados en el futuro. En este aspecto, son muy importantes las plantas que crecen en las selvas tropicales, ecosistemas que se caracterizan por una vegetación exuberante en suelos muy pobres. Estas plantas han desarrollado mecanismos fisiológicos para sobrevivir tales condiciones, que podrían ser incorporados en los cultivos comerciales mediante la biotecnología. Esta y otras posibilidades son uno de los aspectos más importantes de la biodiversidad de las zonas tropicales.

Un desarrollo más adelantado es la incorporación, por medio de la ingeniería genética, de resistencia a heladas en plantas. Se introdujo en papa una proteína anticongelante de peces antárticos, con el resultado de reducir la temperatura mínima que resisten las plantas en uno o dos grados centígrados. Variedades transgénicas de este tipo están siendo ensayadas a nivel de campo en Bolivia y Ecuador. Se espera reducir las pérdidas por heladas y extender la zona de producción hacia alturas mayores.

Plantas que se autofertilizan

El nitrógeno constituye el 78% de la atmósfera, sin embargo, irónicamente, el nitrógeno atmosférico N_2 no puede ser utilizado por la gran mayoría de los seres vivos, debido a que en esta forma es inerte

químicamente, lo que impide que sea incorporado a los compuestos nitrogenados que son fundamentales para los seres vivos. Así, los animales tienen que obtener nitrógeno químicamente activo de las plantas, y no del aire que respiran. Las plantas, por su parte, tampoco obtienen el nitrógeno del aire sino que tienen que adquirirlo del suelo y los océanos.

En el suelo y los océanos, la vida en el comienzo de la cadena alimenticia toma el nitrógeno inerte de la atmósfera y lo hace químicamente reactivo, permitiéndole formar compuestos nitrogenados. Esta fijación de nitrógeno es llevada a cabo por bacterias en el suelo y algas verdi-azules en los océanos. Durante décadas los microbiólogos y los científicos de plantas han tratado de dilucidar esta reacción, particularmente en bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Azorhizobium*, que son capaces de fijar el nitrógeno en simbiosis con ciertas plantas, especialmente las pertenecientes a la familia de las leguminosas. Estas bacterias poseen un poderoso complejo enzimático, denominado *nif*, responsable de la conversión del N_2 en amonio, el cual es utilizado por las plantas en sus procesos metabólicos. Otro grupo de genes, los *nod*, controlan el reconocimiento e integración específico entre las plantas y las bacterias.

Si bien no es todavía posible, dada la complejidad del sistema, incorporar el complejo *nif* o el *nod* en plantas que no son capaces de establecer la relación simbiótica con los *Rhizobium*, como el trigo y el maíz, gracias a la ingeniería genética ello será posible algún día. Así se ahorraría la humanidad los costos económicos y ecológicos de los fertilizantes nitrogenados, ya que la producción de los mismos implica un alto uso de energía fósil y tienen efectos indeseables desde el punto de vista ecológico, como es la eutrofización de los ríos y lagos.

Situación de la biotecnología agrícola en la región

La caracterización de la situación de la biotecnología agrícola en la región se facilita mucho si se dispone de un modelo teórico de su desarrollo, que permita establecer indicadores adecuados para esta tarea. Del análisis de la experiencia de los países de la región más avanzados en biotecnología pueden derivarse los elementos básicos de este modelo general de un desarrollo biotecnológico relativamente autónomo en países de desarrollo tardío.

Modelo de desarrollo de la biotecnología

La experiencia de más o menos veinte años de varios países de América Latina en la introducción y uso de la biotecnología sugiere que su desarrollo se da en, al menos, tres fases o etapas.

En una *primera fase* se desarrollan grupos de investigadores científicos con capacidad de usar las nuevas tecnologías, usualmente en instituciones académicas. Estas capacidades se desarrollaron más o menos espontáneamente mediante la difusión de las nuevas biotécnicas básicas o genéricas más importantes (cultivo de tejidos, técnicas inmunológicas, ingeniería genética, manipulación de embriones, etc.) desde grupos de investigación en países líderes hacia investigadores en la región. Los mecanismos típicos para ello fueron los canales de transferencia tradicionales de la comunidad científica internacional (formación de posgrado, investigaciones colaborativas, etc.), que han demostrado ser bastante efectivos y rápidos en aquellos países que ya tienen algún nivel de capacidades científicas en biología básica y aplicada.

Una vez que existe un grupo de biotecnólogos en un país determinado, es decir, científicos versados en las técnicas más importantes, se difunde el conocimiento y la percepción de la importancia de las nuevas tecnologías. Esto, ayudado por la exposición de las nuevas tecnologías en los medios de comunicación, permite la creación de un interés político en el tema, que puede llevar a acciones gubernamentales de apoyo al campo. En un grupo de países de la región, por ejemplo, se crearon programas nacionales de

biotecnología y centros de ingeniería genética.

En una *segunda fase* se establecen capacidades para acceder a y usar biotecnologías en el sector productivo, es decir, en centros de investigación aplicada e industrias. Centros de investigación agrícola, tanto gubernamentales como privados, y algunas industrias incorporan estas tecnologías en sus operaciones. La característica más importante de esta fase es que la industria y los productores son más “consumidores” de biotecnología que actores en su desarrollo. Es decir, el sector productivo, al igual que el sector académico en la fase anterior, aprenden a usar las nuevas tecnologías incorporadas en algún producto (estuche diagnóstico, equipo de análisis, etc.) o en un procedimiento o proceso determinado.

El conocimiento de los nuevos productos y procesos difunde desde los grupos nacionales de investigación existentes o directamente desde el exterior hacia el sector productivo. El mecanismo de difusión más importante es la incorporación en la empresa de personal familiarizado con, o quizá hasta especializado en, biotecnología. Es decir, las técnicas difunden con las personas que las manejan. Esto destaca la importancia de la actividad de formación de recursos humanos, en la que juegan un papel preponderante los grupos de investigación que se desarrollaron en la etapa anterior. Muchas de las personas que se forman en biotecnología trabajarán en el sector académico pero, una vez saturada su capacidad de empleo, también pasarán a trabajar en la industria o en otras posiciones donde pueden influir en la incorporación de biotecnologías en actividades productivas. Otro mecanismo importante es la actividad de asistencia técnica y asesoría que los grupos de investigación constituidos prestan al sector productivo.

En una *tercera fase* se desarrollan en el país capacidades tecnológicas, es decir, para producir productos de biotecnología y no solo para usarlos. Ello implica, lograr a nivel de las empresas, un adecuado dominio de la tecnología, que puede llevar al desarrollo de

capacidades para modificar-las y mejorarlas. Solo las empresas más grandes tienen los recursos requeridos para desarrollar capacidades de innovación por sí solas. Por lo general, las empresas se apoyarán en centros de investigación o en otras empresas, esfuerzos conjuntos que permitirán superar las limitaciones de recursos típicas de la mayoría de ellas.

La tecnología difunde a la industria desde centros académicos o empresas en el exterior, mediante mecanismos tales como la transferencia de tecnología, la asociación estratégica entre empresas y la creación de empresas por investigadores, entre los más importantes. Idealmente, el resultado acumulativo de estas fases es la consolidación de un *sistema de innovación*, es decir, una determinada combinación de capacidades institucionales, políticas y estrategias requeridas para el dominio e innovación de las tecnologías (Niosi y col., 1993). Implica una estrecha relación entre instituciones científicas y tecnológicas y la industria, complementadas y apoyadas con mecanismos financieros, regulaciones, entrenamiento especializado, información técnica y comercial, etc.

La creación de un marco regulatorio y jurídico adecuado para el acceso a la tecnología y, eventualmente, para su innovación, es parte esencial del sistema planteado. Los elementos más importantes de este marco, en una primera instancia, son las regulaciones de bioseguridad y una legislación adecuada de propiedad intelectual. Para la innovación se requiere un sistema más sofisticado de incentivos como, por ejemplo, provisión de capital de riesgo, regulaciones ambientales y de productos adecuadas, normas técnicas, etc. Este modelo general ofrece una base teórica para definir indicadores para seguir y evaluar el progreso de la biotecnología en países en desarrollo. Así, este progreso debería medirse en, al menos, tres áreas claves, como son las capacidades científicas, el desarrollo de la industria de biotecnología y los avances en

cuanto al marco regulatorio y legal requerido.

Las capacidades científicas

Las capacidades científicas pueden ser medidas mediante indicadores de *input* o insumos, es decir, la medición de los recursos invertidos en investigación en biotecnología (fondos, investigadores, proyectos, etc.) pero, también y preferentemente, por indicadores de *output* o resultados, como sería la producción científica en un campo determinado. El análisis bibliométrico, es decir, la cuantificación de las publicaciones científicas y de otro tipo, es un instrumento adecuado para esto último.

Prácticamente todos los estudios diagnósticos realizados en la región se basan en el análisis de los recursos dedicados a la IyD en biotecnología. Muchos utilizan la opinión de expertos y algunos encuestas más completas y sistemáticas. Proveen, por lo general, una aproximación útil, pero limitada, a la situación en los países. Es muy común un sesgo demasiado optimista y de poco realismo comercial, producto del excesivo peso de la opinión de científicos interesados.

Situación general

Varios estudios de cobertura regional ofrecen una perspectiva general de la situación de la agro-biotecnología en ALC. El primero de estos estudios fue una encuesta a 207 organizaciones de investigación agrícola en 33 países, hecha por el CIAT y el Colegio de Posgraduados de Chapingo, en 1986 (Roca y col., 1988). Se encontró que 95 instituciones utilizaban alguna biotecnología en diferentes áreas de investigación. Los recursos humanos dedicados o adscritos a biotecnología sumaban 917. Pero se consideró que solo 17 de estas instituciones contaban con la capacidad potencial necesaria para IyD en biotecnología agrícola, es decir, tenían una masa adecuada de recursos para ello.

Un estudio hecho por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en 1989, basado en la opinión de 155 expertos, concluyó que los países de la región con capacidades en agro-biotecnología podían ser clasificados en relativamente avanzados, intermedios e incipientes (Jaffé, 1991). Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, México, Uruguay y Venezuela integraban el primer grupo (Cuba no participó en este estudio), es decir, tenían capacidades sólidas en biotecnologías intermedias (de complejidad intermedia) y modernas (de complejidad alta). El grupo intermedio, formado por Colombia, Perú y Trinidad y Tobago, contaba básicamente con capacidades en biotecnologías de complejidad intermedia y algunas pocas en las modernas. El grupo incipiente, formado por Bolivia, Ecuador y Paraguay, tenía algunas capacidades en tecnologías intermedias. El resto de los países no tenían capacidades significativas en agro-biotecnología.

Indicadores de resultados de IyD confirman estas conclusiones. Una contabilización de las publicaciones científicas realizadas en la región que reportan el uso de alguna

Cuadro 3. Capacidades en biotecnología agrícola en algunos países de América Latina (1995)

País	Número de instituciones	Personal		
		PhD	MSc	Lic
Colombia	51	48	76	164
El Salvador	5	0	3	11
Uruguay	6	5	8	37

Fuentes: Hodson y Aramendis (1995), REDBIO/FAO; biotecnología para el período 1978-87, resumidas en el *Biological Abstracts*, un servicio de referencias bibliográficas bien reconocido, indica que se publicaron un total de 1.366 artículos, en ciencias agrícolas y básicas relacionadas (bioquímica, fisiología, genética, inmunología, etc.) (Jaffé, 1993). Solo el 7,4% de ellos reportan el uso de alguna biotecnología moderna.

Solo ocho países (incluyendo a los centros internacionales localizados en la región como

Cuadro 2. Artículos de agro-biotecnología publicados en ALC

País	Fuente bibliográfica		
	<i>Biological Abstracts</i> 1978-87	<i>AgBiotech News and Information</i> 1993	<i>Int. Plant Molecular Biology Congress</i> 1994
Brasil	648	14	6
Argentina	179	9	7
México	212	21	23
Cuba	118	3	0
Chile	65	7	0
Colombia	17	1	0
Centros internacionales	56	7	8
Venezuela	40	0	2

Fuente: Jaffé (1993) y cálculos propios de *AgBiotech News and Inf.* (1993) y ISPMB (1994).

un grupo) publicaron diez o más artículos “biotecnológicos” en los diez años examinados. Brasil, México, Argentina y Cuba concentran el 84,7% del total de estos artículos, como se muestra en la Cuadro 2. Datos de otras fuentes bibliográficas más recientes (*AgBiotech News and Information*, publicado por el Centro Internacional para la Agricultura y Biociencias (CABI), y los resúmenes de las ponencias presentadas en el Congreso Internacional de Biología Molecular de Plantas, de 1994), confirman estas conclusiones.

Estas publicaciones corresponden a un número relativamente pequeño de organizaciones. Si se asume que una organización que reporta el uso de alguna biotecnología específica en tres o más artículos en diez años tiene capacidades de uso de dicha biotecnología, encontramos que 66 organizaciones cumplen con esta condición en la muestra del *Biological Abstracts*. De ellas, 23 estaban en Brasil, 10 en México, 9 en Argentina, 5 en Cuba, 4 en Chile y Venezuela respectivamente, 2 en Colombia y una en cada uno de los siguientes países: Trinidad y Tobago, Costa Rica, Perú y Uruguay. Cinco centros internacionales localizados en la región también contaban con capacidades. La mayoría de estas organizaciones poseían capacidades en biotecnologías tradicionales.

En contraste con la información suministrada por indicadores de resultados, el número de unidades de investigación identificados por medio de indicadores de insumos es mucho mayor. Según el directorio de la Red Latinoamericana de Biotecnología Vegetal (REDBIO) hay aproximadamente 400 laboratorios de biotecnología vegetal en la región. Esta fuente se basa en información suministrada por los propios laboratorios.

Estudios realizados en varios países, basados en encuestas directas a laboratorios, igualmente arroja cifras mayores de unidades de investigación en biotecnología. Por ejemplo, datos de Chile en 1991, indican que había 66 unidades de investigación en biotecnología

agrícola y agroindustrial, con 103 y 36 investigadores a nivel de doctorado y maestría, respectivamente (Arroyo y col., 1991). La información recogida en Colombia, El Salvador y Uruguay en 1995 igualmente señala cifras relativamente mayores (Cuadro 3).

El número de investigadores con sólidas capacidades en biotecnología también era pequeño en la región hasta 1987. En la muestra del *Biological Abstracts*, se calculó el número de investigadores que habían publicado por lo menos dos artículos por año reportando el uso de alguna biotecnología. Los promedios para 1985-87 fueron, 30,3 en Brasil, 10 en Argentina, 8,3 en México, 7,6 en Cuba, 3 en Chile, 1,6 en los centros internacionales y 1,3 en Venezuela. Si bien este indicador es bastante restrictivo, hay bases para pensar que el número de biotecnólogos productivos era pequeño, incluso en los países grandes. Este indicador de resultados nuevamente contrasta con el de insumos. Las cifras de investigadores en biotecnología reportadas en diversas encuestas es mucho mayor.

Esta discrepancia entre los indicadores de insumos y de resultados, aun cuando puede deberse a diferencias entre las muestras, sugiere que muchos de los biotecnólogos y de las unidades de investigación en biotecnología no le dan importancia a la publicación para difundir resultados de investigaciones, quizá por estar orientados hacia la obtención de resultados prácticos. Pero sin duda, también es una señal de que existen importantes problemas de productividad en los grupos de IyD en biotecnología.

El conjunto de información disponible permite concluir que la región cuenta con significativas capacidades de IyD en biotecnología. Estas son predominantemente en biotecnologías intermedias, más no en las modernas. El uso de las primeras está bastante difundido en la región, pero el de las modernas solo en un pequeño grupo de países relativamente más avanzados.

La investigación en biotecnología en la región es solo una pequeña fracción de los esfuerzos mundiales en esta área. Científicos latinoamericanos fueron autores o co-autores de solo el 1,8% de las ponencias presentadas en el Congreso Internacional de Biología Molecular de Plantas de 1994, o el 2,2% si se incluye autores de los centros internacionales de la región. Estas proporciones son un poco mayores que la correspondiente a la contribución de ALC a la producción científica internacional en todos los campos, que ha sido estimada en 1,14% para 1984 (BID, 1988). Estas cifras solo confirman la poca importancia que se asigna a la ciencia y tecnología en la región.

Los actores

Las capacidades de IyD en biotecnologías se concentran en pocos tipos de organizaciones. La distribución de los indicadores, tanto de

presentada en el cuadro 4, muestra que son predominantemente las organizaciones académicas que tienen estas capacidades. Casi el 65% del total de publicaciones en biotecnología intermedias, y aproximadamente el 70% de las modernas, fueron producidas por universidades no agrícolas, es decir, principalmente institutos de investigación básica. En la muestra de institutos agrícolas encuestados en 1986, más de 40% del personal estaba en universidades.

Luego de las organizaciones académicas no agrícolas siguen en importancia los institutos públicos de investigación agrícolas. Prácticamente todos los institutos nacionales agrícolas de América Latina han introducido explícitamente la biotecnología en sus operaciones en los últimos diez años, lo que se

Cuadro 4: Tipo de organizaciones de IyD en biotecnología (% del total)

Tipo de organización	Indicador		
	Publicaciones		Personal
	Biot. Intermedia	Biot. Moderna	
Compañía comercial	0,2	0,0	12,1
Inst. agrícola privado	1,2	1,0	
Inst. agrícola público	15,2	3,0	34,3
Inst. no agrícola público	12,2	21,6	3,7
Universidad agrícola	15,0	2,1	41,2
Universidad no agrícola	50,4	67,0	
Centro intern. agrícola	3,5	1,0	3,7
Centro intern no agrícola	0,8	0,0	--

resultados como de insumos de IyD,

refleja en los datos presentados. Pero sus

capacidades en biotecnologías modernas aún eran débiles, comparadas con los institutos de investigación básica. A diferencia de los países desarrollados, las capacidades de IyD estaban casi exclusivamente en el sector público, pues las organizaciones privadas, sean ellas empresas o centros de investigación, presentan indicadores muy bajos.

Inversión

El único análisis sistemático sobre la inversión en IyD en agro-biotecnología en la región, conocido por el autor, fue realizado para Argentina, Costa Rica y Venezuela (Jaffé, 1992). Tal como se indica en el cuadro 5, la inversión era un orden de magnitud menor que la comparable realizada en los Estados Unidos. Los gobiernos eran la principal fuente de financiamiento de esta actividad. Del total de fondos invertidos provenían, en Argentina el 77,5%, en Costa Rica el 28,4, y en Venezuela el 90,8% del presupuesto nacional, sea directa o indirectamente (contratos, subvenciones, etc.). La industria jugaba un papel pequeño, financiando el 10% de la IyD en Argentina, 27% en Costa Rica y solo 1,2% en Venezuela.

Por otro lado, se identificó un problema de insuficientes fondos para gastos operacionales. Los gastos promedio por investigador principal fueron de 53.000 dólares estadounidenses en Argentina, 18.600 en Costa Rica y 41.000 en Venezuela, fondos que costearon, además de gastos operativos, sueldos de otro personal. Estos niveles de inversión son claramente insuficientes para mantener un esfuerzo de investigación eficiente. Este problema es más grave en el

Estas conclusiones coinciden con datos de otros estudios. La encuesta de Roca y colaboradores encontró que casi el 60% de las instituciones reportaron presupuestos de operaciones menores de 20.000 dólares al año, lo que a todas luces es insuficiente. Un estudio realizado en México igualmente identificó insuficientes recursos por grupos de investigación o investigadores como un problema importante (Casas, 1993).

La industria de biotecnologíaLa industria de biotecnolog'a

El progreso de la biotecnología, en última instancia, tiene que desembocar en el uso y aplicación de este nuevo grupo de tecnologías para el desarrollo, producción y comercialización de productos y procesos. Ello supone la existencia de empresas agrícolas, industriales y de servicios, capaces de acceder y dominar y, eventualmente, de desarrollar e innovar las tecnologías. Estas compañías requieren, en un grado variable dependiendo de la fortaleza de las empresas, del apoyo de un sistema institucional, legal y regulatorio, que provea servicios de entrenamiento, legales, de información, financiamiento, etc.

Las primeras aplicaciones de la biotecnología moderna fueron intentadas por compañías creadas especialmente para explotar la nueva tecnología en los Estados Unidos. Estando basadas en esta tecnología eran o son por definición empresas de biotecnología. Más tarde, empresas existentes, basadas en tecnologías tradicionales, se interesaron en las nuevas tecnologías, comenzando un proceso

Cuadro 5: Inversión en biotecnología agrícola en algunos países (mill. \$US)

	Argentina (1989)	Costa Rica (1989)	Venezuela (1989)	Estados Unidos (1987)
Inversión	3,47	0,448	0,821	410
Inversión por 100.000 hab. (% de índice de Estados Unidos)	11.038 (6,6)	16.592 (9.9)	4.368 (2,6)	16.463 (100)
% de valor agregado del sector agrícola (% de índice de Estados Unidos)	0,03 (7,5)	0,05 (11,7)	0,02 (4,7)	0,46 (100)

Fuente: Jaffé (1992)

más o menos profundo, rápido y extenso de

reconversión de su base tecnológica. Para este fin se han utilizado estrategias diferentes, pero generalmente complementarias, tales como la compra de compañías de biotecnología, el desarrollo de capacidades internas y la cooperación con centros de investigación o nuevas empresas de biotecnología (Arora y Gambardella, 1990). Este patrón básico es característico de los Estados Unidos, el país líder en biotecnología, y, en menor medida, de algunos países europeos.

Aspectos generales de la industria

Existen muchos informe anecdóticos y estudios de casos de empresas individuales de biotecnología en ALC. En cambio, escasea la información sistemática sobre esta industria. Argentina, Brasil y Uruguay han tenido o tienen asociaciones de industrias de biotecnología, que mantienen registros de afiliados. Dos organizaciones regionales, el Sistema Económico Latinoamericano (SELA) y el IICA han realizado encuestas regionales de empresas de biotecnología.

El trabajo del IICA se ha plasmado en un Directorio Latinoamericano de la Industria de Biotecnología, que cuenta con volúmenes para Argentina, Brasil, América Central, Región Andina, México y Uruguay (IICA, 1992; 1993). Los datos fueron suministrados por empresas que se definen a sí mismas como empresas de biotecnología, es decir, que usan biotecnologías, así como por institutos de investigación y organizaciones gubernamentales que desarrollan actividades comerciales con biotecnologías. Las asociaciones de industrias colaboraron en esta encuesta. En el cuadro 6 se presenta el análisis de esta información. Nuevas empresas de biotecnología, es decir, empresas creadas a partir de 1980 para explotar alguna biotecnología, constituyen una proporción (42%) sorprendentemente grande de la muestra (cuadro 7). En cuanto a su forma de propiedad, aproximadamente 70% de las empresas son privada, de capital local. Casi 20% son subsidiarias de compañías transnacionales y aproximadamente 18% son

complementada para el caso de Chile con los datos generados por el SELA.

Aún tomando en cuenta las limitaciones de esta información, debido a diferencias en la recolección de datos en algunos países, se evidencia claramente que un número significativo de empresas usan biotecnologías en América Latina.

El grupo más numeroso de empresas (45%) produce insumos agrícolas (semillas, variedades vegetales, inoculantes, pesticidas, fertilizantes, productos veterinarios y genética animal), seguido por los grupos de empresas farmacéuticas y de química fina (amino ácidos, pigmentos, antibióticos, vitaminas, etc.). Agroindustrias (principalmente alimentos, celulosa y productores de alcohol) y empresas de insumos agrícolas, que forman el conjunto de empresas de biotecnología agrícola, suman 55% del total.

La distribución de las empresas por país está correlacionada con la de las capacidades científicas. Los países grandes con capacidades de investigación importantes (Argentina, Brasil y México) también tienen los mayores números de empresas. Aún tomando en cuenta posibles diferencias en la metodología de recolección de datos, destacan dos países pequeños, Costa Rica y Uruguay, por su número relativamente importante de empresas. Siendo la mayoría de ellas empresas de insumos agrícolas, reflejan el interés en la biotecnología agrícola en estos dos países fuertemente orientados hacia la exportación de productos agrícolas.

de propiedad gubernamental, la mayoría de estas últimas productoras de algún insumo para programas de salud pública (vacunas y terapéuticos). Estas proporciones no dicen nada sobre la relativa importancia de estos grupos de empresas en los mercados locales.

Características de las empresas

Un estudio en profundidad de 21 empresas que usaban algún tipo de biotecnología agrícola en ocho países de la región, realizado por el IICA en 1990 (Jaffé, 1993, Jaffé, 1994), complementado con conclusiones de estudios de caso similares hechos en Brasil (Cerantola, 1991), permite caracterizar las empresas latinoamericanas de biotecnología en cuanto a sus recursos y estrategias gerenciales.

Las empresas caen dentro de tres categorías, cada una de las cuales con su lógica particular. Las *nuevas empresas de biotecnología* fueron creadas con el propósito de explotar comercialmente alguna biotecnología. Un

grupo de empresas establecidas, productoras de insumos para la agricultura y la industria, están usando biotecnologías, dado que ellas afectan o afectarán directamente sus procesos productivos. Finalmente, existe un grupo de empresas agroindustriales que se están involucrando con la biotecnología debido a la amenaza o el potencial que ella representa para sus negocios en el mediano o largo plazo.

Las nuevas empresas de biotecnología son pequeñas y jóvenes empresas intensivas en tecnología, es decir, cuyo éxito o competitividad depende principalmente de su tecnología, que están en proceso de

Cuadro 7. Algunas características de empresas latinoamericanas de biotecnología (% del total, 1991-92)

País	Tipo		Propiedad		
	NEB	Establecida	Local	Extranjera	Gobierno
Argentina	32,4	67,5	89,1	10,8	0,0
Bolivia	85,7	14,2	28,5	0,0	71,4
Brasil	40,2	59,7	65,2	25,0	9,7
Chile	14,2	85,7	100,0	0,0	0,0
Colombia	30,7	69,2	76,9	7,6	15,3
Costa Rica	66,6	33,3	61,1	22,2	16,6
Ecuador	30,0	70,0	30,0	70,0	0,0
El Salvador	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0
Guatemala	50,0	50,0	100,0	0,0	0,0
Honduras	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
México	38,2	61,7	67,6	26,4	5,8
Perú	28,5	71,4	100,0	0,0	0,0
Uruguay	38,1	61,9	80,9	19,0	0,0
Venezuela	68,5	34,4	75,8	3,4	20,6
Total	42,5	57,4	71,4	18,6	9,8

Fuente: IICA (1992 y 1993a)

consolidación. La falta de capital y de financiamiento de riesgo en la región las obliga a adoptar estrategias de crecimiento financieramente cautas y conservadoras, y a seguir planes de producción y de mercadeo oportunistas y altamente flexibles. En consecuencia, presentan estructuras flexibles, informales, pero sofisticadas, y culturas organizacionales que asignan un alto valor a su personal. Estas empresas, en contraste con las nuevas empresas de biotecnología del norte, que pasan años realizando solo IyD, producen y mercadean productos desde su creación, lo que significa que explotan biotecnologías más o menos maduras y desarrolladas.

Los ejemplos más frecuentes de tecnologías explotadas son el cultivo de tejidos vegetales (propagación de frutales y ornamentales), las pruebas inmunológicas (estuches de diagnósticos veterinarios) y la producción de biopesticidas (bacterias, virus y hongos). Su enfoque de desarrollo tecnológico es de corto plazo y de carácter generalmente informal, dado que no pueden costear procesos de IyD largos. Muchas de las nuevas empresas de biotecnología han pasado ya por varias fases de desarrollo, comenzando por su constitución, su consolidación y finalmente expansión. Para que estas empresas sean viables en el mediano plazo deben superar ciertos umbrales financieros, organizacionales y tecnológicos.

Las *empresas establecidas de insumos biológicos* están apenas comenzando a incursionar en las nuevas tecnologías. Lo hacen de forma cautelosa, relacionándose para ello con centros de investigación, a través de contratos o de manera más informal (intercambios de investigadores, pasantías, colaboraciones informales). Algunas muy pocas tienen estrategias explícitas de adopción de biotecnologías, dedicándole a este proceso recursos significativos. Finalmente, las *agroindustrias* también estaban en una fase temprana de su involucramiento con las nuevas tecnologías.

Las empresas de insumos de base biológica y las agroindustrias establecidas inician, por lo general, sus actividades en biotecnología explorando que les puede ofrecer el nuevo campo, usualmente a través de sus relaciones con grupos de investigación nacionales. Eventualmente desarrollan sus propias

capacidades de investigación, que son aún muy limitadas. La trayectoria lógica de las empresas de insumos las llevará a una progresiva conversión en empresas de base tecnológica, a diferencia de las agroindustrias, para las cuales la biotecnología será menos central.

La situación de la biotecnología agrícola

El desarrollo de la biotecnología agrícola en ALC, aun cuando se han alcanzado ciertos niveles significativos en algunos países e industrias, es incipiente y débil, comparado con el de los países desarrollados. La inversión que se está haciendo en este campo en la región es insuficiente, especialmente la que hace el sector productivo.

Los esfuerzos de IyD en biotecnología en la región, por lo general, son ineficientes y de una orientación inadecuada. Son dispersos, y demasiado ambiciosos para la infraestructura y personal disponibles, dependiendo principalmente de fondos gubernamentales. Uno de los aspectos mas débiles en la región es la bioingeniería o bioprocesamiento (Quintero, 1994). Solo un pequeño grupo de centros de investigación cuentan con la masa de recursos necesaria para una investigación de calidad y relevancia. La mayoría de los grupos son muy pocas personas acometiendo demasiados proyectos y actividades.

Las siguientes conclusiones de un extenso estudio realizado en México son válidas para toda la región, quizá con excepción de Cuba. Las limitaciones más importantes no son tanto la falta de recursos, como sostenían los investigadores, sino problemas más estructurales, como la falta de mecanismos para transferir resultados al sector productivo, estructuras académicas muy rígidas y falta de prioridades y políticas de investigación explícitas (Casas, 1993).

La efectividad de la investigación en biotecnología es afectada negativamente por la falta de una clara idea del papel que la investigación juega en el desarrollo de la biotecnología a nivel nacional. Son muy comunes expectativas poco realistas en relación a las potencialidades de la biotecnología, así como desconocimiento o subestimación de las dificultades para desarrollar procesos y productos comerciales.

Es decir, muchos grupos de investigación buscan desarrollar biotecnología sin los necesarios recursos.

Un importante volumen de recursos está disperso en un número grande de instituciones, que no cuentan con la masa crítica necesaria para hacer buena ciencia y mucho menos, desarrollar productos o procesos comerciales. Pero, al menos, existe un grupo de personas con capacidad para comprender y monitorear los desarrollos internacionales en este campo. Esto es un elemento importante para la educación y formación profesional más general.

Es de destacar que no existe un esfuerzo

significativo de investigación dentro de la industria, es decir, realizada por ella misma en sus propias facilidades. La metodología utilizada en la mayoría de los diagnósticos revisados no permite identificar la investigación realizada para la industria en los centros de investigación. Los pocos datos disponibles hacen pensar que este es un porcentaje pequeño del esfuerzo total, quizá alrededor del 10%.

Pero sin duda, por lo menos Brasil, Argentina, México y Cuba, y, en menor medida Chile, han desarrollado una base científica para un eventual desarrollo más amplio de la biotecnología agrícola.

Estrategias y políticas de desarrollo de la biotecnología

Aun cuando hay una cierta espontaneidad en el desarrollo de la biotecnología, particularmente en sus fases tempranas donde la iniciativa individual de científicos es importante, no puede pensarse en la creación y consolidación de capacidades productivas en este campo sin planes deliberados de empresas y productores. El éxito de los mismos dependerá de las estrategias que se sigan, así como de la existencia de un conjunto de políticas gubernamentales que ofrezcan el marco legal, regulatorio y, en general, económico, adecuado para el desarrollo de la biotecnología.

Las estrategias empresariales y gubernamentales de la biotecnología son guías indispensables para la orientación de las acciones en función de los determinantes internacionales y nacionales del desarrollo de este campo. La condición de seguidores, es decir, la existencia de líderes internacionales en biotecnología y las limitaciones de recursos y capacidades, tanto a nivel de empresa como nacional, son los determinantes más importantes en este sentido.

Estrategias nacionales y empresariales

Los países en desarrollo, así como muchas empresas en los mismos países desarrollados, están rezagados respecto a las nuevas tecnologías. Las empresas y países líderes llevan muchos años de ventaja, en términos de inversiones hechas, tecnologías desarrolladas y aprendizajes realizados. Sin embargo, los rezagados igual se verán afectados por los impactos de las nuevas tecnologías. Entre los más directos e inmediatos está la disponibilidad de nuevos insumos biológicos para muchos sectores tradicionales, que van a modificar sus patrones de calidad y de productividad y, en consecuencia, su acceso a mercados y su competitividad. Por ello, la primera prioridad para todo aquel que realiza actividades productivas de base biológica debería ser incorporar las nuevas tecnologías vía insumos en el momento que estos estén disponibles. Así se aprovecharía el

potencial de la biotecnología para el mejoramiento de la calidad y productividad de estos sectores y se lograría mantener o mejorar su competitividad.

Los requerimientos para una incorporación rápida y eficiente de las nuevas tecnologías en actividades productivas e industrias existentes definen las estrategias para el logro de este objetivo. Usar estas tecnologías adecuadamente exige de un mínimo de conocimiento sobre ellas, lo que implica disponer de una capacidad para entender y seguir los desarrollos internacionales más importantes para cada sector o empresa y eventualmente una capacidad para adaptarlas a los requerimientos y condiciones locales. Esto es válido aun en los casos en que el poseedor de la tecnología ofrezca asistencia técnica para su uso.

En el plano nacional ello significa disponer de un grupo más o menos grande de personas versadas en las nuevas tecnologías genéricas o básicas, que usualmente son investigadores en alguna institución gubernamental. Las empresas o grupos de productores, por su lado, también deben contar con un mínimo de personal conocedor de la biotecnología, capaz de relacionarse adecuadamente con proveedores o investigadores. De particular importancia será la existencia de un marco legal y regulatorio nacional que permita una rápida difusión de las tecnologías al país y el acceso de las empresas nacionales a las mismas. Las regulaciones de bioseguridad y normativas de propiedad intelectual adecuadas son los dos elementos claves de este marco.

Esta estrategia de “usuario de biotecnología” es la apropiada para los países de la región que tengan importantes industrias agrícolas y agroindustriales, pero que carezcan de industrias productoras de insumos biológicos. Países que tengan estas últimas se ven forzados a acciones más proactivas y ambiciosas si quieren mantenerlas. Las nuevas tecnologías amenazan directamente estas empresas, pues tienen el potencial de sustituir

sus procesos y productos tradicionales. Esto las obliga a incorporar las biotecnologías como tales, es decir, no como insumos sino como nuevos procesos y procedimientos.

El objetivo en una primera instancia en el plano nacional en este caso es posicionar la industria local productora de insumos biológicos agrícolas e industriales para una eventual incorporación de las nuevas tecnologías. Tarde o temprano estas compañías tendrán necesariamente que reconvertirse hacia empresas basadas en biotecnologías. También existirán oportunidades para la creación de nuevas empresas o la entrada a nuevos mercados por parte de empresas existentes (Jaffé, 1993).

El conjunto de acciones con estos objetivos conformarían una estrategia de “seguidor inteligente” (Solleiro, 1995), que permitiría a las empresas locales competir en sus países aprovechando ventajas locales y eventualmente incluso a nivel internacional, con base en factores no tecnológicos (mercadeo, costos, etc.). Existen, de hecho, algunos pocos ejemplos de empresas farmacéuticas y de fermentaciones latinoamericanas que lo hacen en la actualidad exitosamente. Dada la relativa debilidad de la base científica local, esta competitividad probablemente no esté tanto basada en nuevos productos o procesos, sino en una eficiente manufactura o comercialización.

No puede descartarse *a priori* la posibilidad de competir internacionalmente también en términos tecnológicos. Alcanzar a los líderes es posible pero difícil. Los países relativamente más avanzados, algunas veces clasificados como semi-industrializados, que cuentan con sólidas bases científicas en los campos relevantes, pudieran aprovechar las oportunidades ofrecidas por el cambio de la base tecnológica en una determinada industria, un evento siempre turbulento por su alta incertidumbre intrínseca, la inercia del éxito del pasado, etc., para alcanzar nuevas posiciones competitivas o entrar en nuevos mercados. Este salto tecnológico requiere de muy buena programación en el tiempo para aprovechar la ventana de oportunidad entre el momento cuando las incertidumbres y riesgos aún son muy altos y cuando las barreras de entrada ya son altas debido a la consolidación de la posición de los líderes (Sercovitch y

Leopold, 1991).

Una estrategia tecnológicamente agresiva de este tipo, exige un esfuerzo de IyD importante por parte de la empresa. Pero hay opciones alternativas para disponer de tecnologías requeridas como son la compra, el licenciamiento, la asociación estratégica, los emprendimientos conjuntos, etc., como lo muestran las estrategias de las compañías líderes en biotecnología.

La decisión de seguir una estrategia de líder tecnológico es fundamentalmente de la empresa. Pero puede ser apoyada o inclusive impulsada por una voluntad nacional, expresada en estrategias y políticas gubernamentales, de lograr este liderazgo. Algunos pocos países en desarrollo pueden tener los recursos y generar la suficiente voluntad política para alcanzar a algunos líderes a través de un proceso más o menos autónomo de desarrollo de la biotecnología.

El papel del gobierno

El desarrollo de la biotecnología en cualquier país es el producto de un complejo conjunto de acciones de científicos, directivos de instituciones de IyD, empresarios, productores, financistas y funcionarios gubernamentales. Las acciones gubernamentales son de especial importancia, pues es usualmente esta instancia que puede poner en marcha un proceso de este tipo en aquellos países o sectores donde no existan suficientes científicos y empresarios para hacerlo por su cuenta. Es decir, uno de los roles del gobierno es la creación y mantenimiento de la masa crítica científica y profesional necesaria para un proceso de desarrollo de la biotecnología.

Como se ha insistido repetidamente, es necesario un cierto nivel de capacidades científicas y tecnológicas locales para el desarrollo de la biotecnología. En ciencia se requieren capacidades en biología molecular y celular, así como en microbiología aplicada. Estas debería complementarse con capacidades en ingenierías relacionadas con el campo, especialmente bioprocesamiento. Un cierto dominio de las biotecnologías genéricas o básicas principales, tales como cultivo de tejidos, técnicas inmunológicas, ingeniería genética, es esencial.

Una vez iniciado el proceso, su éxito va a depender en gran medida de la eficiencia global del mismo, que depende de la efectiva solución de la multiplicidad de requerimientos técnicos, económicos y comerciales de la investigación y producción en biotecnología. Financiamiento, provisión de insumos, reactivos y equipos, servicios de apoyo, información técnica y comercial, mantenimiento, entrenamiento, normas y regulaciones, son ejemplos de algunos de estos requerimientos. Es necesario un cierto nivel de coordinación entre esta multiplicidad de actores, que permita una mejor orientación de los esfuerzos individuales, pero también la identificación y superación de cuellos de botella. Esta coordinación se ve facilitada por una visión estratégica de mediano y largo plazo más o menos compartida por los distintos actores.

La coordinación, en principio, debería generarla el propio mercado, aun en forma informal, como se evidencia en algunos de los países líderes. Pero en procesos de desarrollo de la biotecnología incipientes y débiles la misma debe ser facilitada y posibilitada por la acción gubernamental que, por lo general, es la única con la suficiente capacidad de convocatoria y neutralidad para hacerlo. Más aún, esta acción gubernamental puede catalizar e impulsar el proceso, imprimiéndole el dinamismo y la orientación que los actores individualmente no pueden lograr.

El desarrollo de la biotecnología requiere de una infraestructura que supla sus requerimientos, así como de un marco legal y regulatorio adecuado que oriente su desarrollo. Muchos de los servicios requeridos solo pueden ser asumidos por la iniciativa privada en estadios más avanzados del proceso, por razones de escalas y de falta de capacidades básicas, por lo que se justifica la acción gubernamental para suplirlos temporalmente. La creación y administración del marco legal y regulatorio es responsabilidad del Estado. Sin embargo, algunos aspectos de este marco pueden ser asumidos por el sector privado, como lo demuestra el caso del control de calidad de semillas, que en algunos países es realizado por la propia industria.

Siempre van a existir problemas, potencialmente superables mediante la biotecnología, que no van a ser abordados por

la iniciativa privada porque no son atractivos comercialmente o porque su importancia estratégica haga que el Estado los asuma exclusivamente. Enfermedades de poblaciones de bajo nivel económico o de pequeños grupos, problemas de salud pública, tecnologías para pequeños productores agrícolas pobres, aplicaciones ambientales o militares, son algunos ejemplos de problemas de este tipo. Estos solo pueden ser asumidos por el Estado, lo que dependerá de la política gubernamental, y de la influencia política de los sectores interesados.

En resumen, el papel del gobierno en un proceso de desarrollo de la biotecnología puede, entonces, estar dirigido hacia los siguientes objetivos:

- Creación y mantenimiento de capacidades científicas básicas y de la formación de los recursos humanos requeridos.
- Creación y administración del marco legal y regulatorio requeridos para salvaguardar los intereses públicos y facilitar y orientar la inversión y el comercio.
- Proveer o catalizar la provisión de los servicios técnicos, financieros y comerciales requeridos.
- Realizar la IyD y la producción en aquellos problemas o áreas que por razones de escala, capacidad de compra o por interés estratégico no van a ser asumidos por la iniciativa privada.

Los objetivos dependen del nivel de desarrollo alcanzado en el país. Es decir, la intervención gubernamental debe tomar en cuenta la fase en la que se encuentra el país en términos de desarrollo biotecnológico. Muchos países han implementado programas explícitamente dirigidos a desarrollar la biotecnología, desde comienzos de la década de los años ochenta. En otros se identifican acciones más aisladas de organizaciones gubernamentales, generalmente centros de investigación, para desarrollar capacidades en biotecnología.

Los programas de desarrollo de la biotecnología

Los programas de desarrollo de la biotecnología generalmente son acometidos por organismos gubernamentales, idealmente dentro de estrategias nacionales o sectoriales de desarrollo de la biotecnología. Pueden ser llevados a cabo por ministerios sectoriales, centros de investigación y organismos de promoción de ciencia y tecnología, con fondos propios o de organismos de financiamiento multilaterales. Una forma de darle coherencia y visibilidad a acciones para el desarrollo de la biotecnología es estructurar un *programa nacional de biotecnología*. En esta figura pueden hacerse confluir las acciones y estrategias de diversas organizaciones, coordinadas y dirigidas por alguna instancia o cuerpo representativo de los actores más importantes del proceso.

En algunos países de América Latina existen o existieron estructuras de este tipo, denominadas comisiones o comités nacionales de biotecnología. Para que una comisión de este tipo funcione adecuadamente se requiere de una visión estratégica compartida por los diferentes interesados acerca del potencial papel de la biotecnología en la economía y la ciencia en el país.

Los programas dirigidos al desarrollo y fortalecimiento de capacidades científicas han

sido los más comunes en la región. A medida que los países avanzan en la consolidación y expansión de sus capacidades, estos programas se hacen más especializados y relativamente menos importantes frente a programas con otros objetivos. Surgen como iniciativa y por la presión de científicos o grupos de ellos influyentes, canalizada a través de los organismos nacionales de promoción o desarrollo científico y tecnológico. Una forma de ellos combina el financiamiento de IyD, con el desarrollo de infraestructura y el entrenamiento de recursos humanos. Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica y Venezuela son países que han tenido o tienen este tipo de programas (Cuadro 8). Algunos de estos programas han sido financiados por el BID (Costa Rica y Venezuela) y el Banco Mundial (Brasil). El campo de las ingenierías bioquímicas no ha sido incluido en este tipo de programas (Aguilera y col., 1994).

La formación de recursos humanos en biotecnología generalmente se ha realizado en el exterior. El énfasis ha sido en la formación a nivel de doctorado, y no siempre se ha cuidado la capacidad de absorción del personal formado por parte de los sistemas científicos nacionales, con el resultado que algunas de las personas formadas se queden en el exterior. No se ha dado la suficiente importancia a la formación más operativa e instrumental, es decir, a nivel de maestría, de entrenamiento y de formación técnica.

Cuadro 8. Ejemplos de programas gubernamentales de apoyo directo a la biotecnología en América Latina

País	Nombre y fecha	Organismo responsable (Financiador)	Componentes	Inversión (millones US\$)
Argentina	Programa Nacional de Biotecnología (1986)	Secretaría de Ciencia y Técnica	Promoción y financiamiento de IyD	3,8
Brasil	Programa Nacional de Biotecnología (1981)	CNPq y FINEP	Financiamiento de IyD	3,3
	PADCT/ Biotecnología (1984)	Ministerio de CyT (Banco Mundial)	IyD Formación de personal Infraestructura	12,9
	Polos de biotecnología	Ministerio de CyT	Infraestructura y organización común para empresas	
Chile	Comité Nacional de Biotecnología (1983)	CONICYT	Coordinación y promoción de IyD y formación de recursos humanos	
Colombia	Programa Nacional de Biotecnología (1984)	COLCIENCIAS	Financiamiento de IyD planificación y coordinación	
Venezuela	Programa Nacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (1986)	CONICIT	Financiamiento de IyD	0,5
	Programa Nuevas Tecnologías (1992)	CONICIT (BID)	IyD Recursos humanos Infraestructura	30,0

Fuente: Con base en datos de Correa (1992) e información directa

El componente de infraestructura ha incluido la adquisición de equipos y la construcción de facilidades de investigación, frecuentemente laboratorios dentro de institutos de investigación o universidades. Otra alternativa, más enfocada, ha sido la creación de institutos de biotecnología dentro de universidades o centros de investigación aplicada. Ejemplos destacados de centros creados en los últimos quince años en la región son el Instituto de Biotecnología de la Universidad Autónoma de México, la Unidad de Irapuato del Centro de

Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) en México, el Instituto de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba, el Centro Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología (CENARGEN) de la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) en Brasil, el Centro de Biología Molecular del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Centro de Ingeniería Genética del Centro Nacional de Ingeniería Genética (CONICET), ambos en Argentina. Han

demostrado ser una forma adecuada de crear una masa crítica, que a su vez dinamiza el desarrollo de la biotecnología más allá de su entorno inmediato, a través de la formación de recursos humanos y la visibilización de la biotecnología y su importancia.

Programas de fortalecimiento de las ciencias básicas, aun cuando no tienen el objetivo explícito de desarrollar la biotecnología, pueden ser de gran importancia si incluyen las disciplinas bases de la biotecnología. Este ha sido el caso de los programas PEDECIBA en Uruguay, y el PDCT en el Brasil, financiado por el Banco Mundial.

Programas para desarrollar la infraestructura general requerida por el desarrollo de la biotecnología, como tal, no existen en la región. Sin embargo, varios de los países más desarrollados cuentan con programas de fomento de la innovación y el desarrollo tecnológico en general, que obviamente también benefician a la biotecnología. Los apoyos a la investigación en la industria y a la creación y expansión de empresas en general, han jugado un papel importante en la adopción de biotecnologías por parte de la industria (Jaffé, 1993). Las empresas de biotecnología han aprovechado eficientemente estas facilidades disponibles en sus países. Sin duda, la más importante para ellas es la existencia de grupos de investigación de alto nivel a los que recurrir para asistencia técnica, información, capacitación de personal e IyD.

En este contexto, destacan programas diseñados para suplir alguna necesidad específica del desarrollo biotecnológico a nivel comercial. Una iniciativa interesante en este sentido es el proyecto de la Universidad Federal de Río de Janeiro (BIORIO), que ofrece servicios de incubación de empresas y de parque industrial especializados en biotecnología (Paes de Carvalho, 1995).

Una política dirigida al desarrollo comercial de la biotecnología debería ser selectiva en términos de industrias o sectores a apoyar, para permitir un adecuado foco y masa crítica de esfuerzos, dada la limitación de recursos. A nivel macro es importante contar con un ambiente adecuado para la inversión extranjera y la transferencia de tecnología desde países más avanzados, así como para la innovación. Tal política enfatizaría la

provisión de capital de riesgo, facilitar la creación de empresas, el relacionamiento de los diferentes actores entre sí y el desarrollo de una visión estratégica compartida sobre el papel de la biotecnología en la agricultura y la economía.

Solo Cuba tiene un programa nacional, ambicioso e integrado, de desarrollo de una industria de biotecnología. Con base en las capacidades de algunos pocos institutos de investigación se está desarrollando una industria de exportación de productos biotecnológicos, así como de servicios médicos y agrícolas.

Marco legal y regulatorio

Las iniciativas de creación o fortalecimiento del marco legal y regulatorio requerido por la biotecnología que se han dado en la región generalmente no han surgido de programas de desarrollo de ella, sino de necesidades e intereses más particulares, como son los de la industria de semillas o de fitomejoramiento, las presiones de algunos países o las exigencias de acuerdos multilaterales. De esta forma se han impulsado la modificación de leyes de propiedad intelectual y la introducción de regulaciones de bioseguridad en algunos países.

Propiedad intelectual

La creciente importancia económica de la innovación ha impulsado fuertemente el fortalecimiento de la protección de la propiedad intelectual a nivel internacional, con el resultado que este tema ha sido incluido en la agenda de diversas negociaciones de libre comercio, destacándose la Ronda Uruguay del Acuerdo General sobre Tarifas y Comercio (GATT) y el Tratado de Libre Comercio (TLC). Por otro lado, la biotecnología permite la apropiación privada de tecnologías e información que tradicionalmente han estado en el ámbito público. La conjunción de estas dos tendencias ha impulsado la extensión de la protección de la propiedad intelectual a nuevas áreas, tales como la agricultura, los seres vivos y la información biológica en general.

El ajuste de las legislaciones nacionales de propiedad intelectual a alguna norma internacionalmente aceptada es visto por algunos como una importante condición para

el acceso a tecnología avanzada, así como para el desarrollo de capacidades de innovación locales. En respuesta a fuertes presiones internacionales, muchos países latinoamericanos han revisado recientemente sus legislaciones de propiedad intelectual. De esta forma, leyes de patentes recientes en México, el Pacto Andino, Chile y Argentina introdujeron la protección de microorganismos y los procesos basados en ellos, así como de farmacéuticos y alimentos. El patentamiento de otros seres vivos aún no se permite. Estos cambios son demasiado recientes como para haber tenido algún efecto sobre el desarrollo de la biotecnología en la región.

Otra forma de propiedad intelectual que ha tenido un desarrollo importante en la región recientemente ha sido los derechos de obtentores vegetales. Como instrumento de protección de los derechos de los fitomejoradores tienen importancia en todos los países con un sector agrícola de peso, y más particularmente con una industria de semillas y de fitomejoramiento importante. Argentina, Chile y Uruguay cuentan con este tipo de legislación desde hace 20 años aproximadamente, aun cuando no se implementaron efectivamente desde los comienzos de los años noventa. En este mismo período se introducen este tipo de normativas en México y los países del Pacto Andino. Otros países (Brasil, Costa Rica) están en el proceso de hacerlo (Jaffé y van Wijk, 1995).

Un estudio reciente de la Universidad de Amsterdam y el IICA determinó que los impactos de estas legislaciones aún eran pocos en los países que han contado con ellas por cierto tiempo (Jaffé y van Wijk, 1995). Aún así, se detecta un impacto positivo sobre el fortalecimiento del fitomejoramiento local de variedades de polinización abierta. Adicionalmente son un elemento importante para el acceso de la industria local a variedades

avanzadas, de especial importancia para las industrias de flores y frutas.

Los intentos de proteger y apropiarse recursos biológicos avanzaron en forma importante con la aprobación de la Convención de Protección de la Diversidad Biológica y su rápida ratificación por un gran número de países. En ella se establece la soberanía nacional sobre los recursos genéticos, lo cual está comenzando a tener un impacto importante sobre la investigación agrícola, y en particular el fitomejoramiento. Algunos institutos de investigación agropecuaria (INIAs) en América Latina están en el proceso de establecer normativas de acceso e intercambio de germoplasma, en forma similar a las prácticas que se están introduciendo en los centros internacionales. Los países del Pacto Andino están desarrollando una política común de acceso a los recursos genéticos.

Bioseguridad

La bioseguridad, es decir, las regulaciones para reducir los riesgos de la biotecnología para la salud, los sistemas productivos y el medio ambiente, son un elemento indispensable de cualquier política de desarrollo de la biotecnología (Trigo y Jaffé, 1991). Además de la obligación moral y práctica de resguardar los intereses públicos y privados, buscan facilitar el comercio y la transferencia de tecnología mediante el establecimiento de estándares y prácticas internacionalmente aceptadas.

Algunos de los países relativamente más desarrollados de la región comenzaron a tratar el problema de la bioseguridad. Brasil, México y Cuba, por ejemplo, en la década pasada establecieron guías nacionales para el uso de técnicas de ADN recombinante. El énfasis ha estado en la regulación de la liberación en el medio ambiente de organismos transgénicos.

Cuadro 10. Programas regionales de cooperación técnica en biotecnología

País	1988	1989	1990	1991	1992	1993	Total
Fecha	Nombre	Agencia			Ambito		Inversión (US\$)
1988-93	Programa Regional de Biotecnología	PNUD/UNESCO	0	0	Regional	?	5.000.000
		ONUDI	0	2			
1988-	Bolivia	0	0	2	0	0	2
	BIOLAC	Universidad de las Naciones Unidas	2		Regional		150.000-200.000 por año
	Chile				1	1	4
1990-	REDBIO	FAO	0	1	Regional	?	50.000 por año
	Costa Rica						
1988-93	Programa Andino de Biotecnología	Corporación Andina de Fomento	0	1	Región Andina		12.000.000
	México	0	1	1	4	?	6
1988-1994	Políticas para Biotecnología Agrícola	IICA	0	1	11	Regional	800.000
					18	11	42
1988-	Fuente: Base de datos IICA Biotecnología	OEA			Regional		300.000 por año
1992-	Programa Biotecnología	Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur (PROCISUR)/ IICA			Cono Sur		120.000 por año

Como respuesta al interés de empresas transnacionales de ensayar plantas transgénicas, es decir, obtenidas por ingeniería genética a nivel de campo, México, Costa Rica, Bolivia, Argentina y Chile crearon comités para evaluar y supervisar estos ensayos, basados en regulaciones fitosanitarias existentes. Un número significativo de ensayos se han realizado en la región, como se muestra en el cuadro 9. Esto es el resultado de la respuesta flexible y oportuna de algunos países a los requerimientos de bioseguridad. Brasil destaca como el único país que no ha podido desarrollar una respuesta de este tipo, ya que seleccionó la vía legislativa para introducir regulaciones de bioseguridad (Sant'Ana, 1992).

Un factor importante de esta respuesta efectiva ha sido la existencia de guías de bioseguridad regionales, producidas por el IICA y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (IICA y PAHO, 1988; 1991), así como la asistencia técnica ofrecida por la Oficina de Protección Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-APHIS).

La cooperación internacional

La cooperación internacional apoyó en forma determinante la temprana difusión de la biotecnología a la región y particularmente del reconocimiento de su importancia. También aportó y aporta en la actualidad recursos críticos para el desarrollo de la biotecnología, de especial importancia para los países menos desarrollados. En esta tarea participaron las agencias de cooperación técnica internacionales y regionales, los centros de investigación agrícola y de biotecnología internacionales y algunas agencias de cooperación nacionales y privadas.

En la última década varias agencias internacionales o regionales han desarrollado programas de cooperación técnica específicamente dirigidos al desarrollo de la biotecnología (Cuadro 10). El Programa Regional de Biotecnología de las Naciones Unidas (PNUD/UNESCO/ONUDI) fue el pionero de los mismos, aportando fondos para la realización de proyectos cooperativos entre países, cuyos resultados, más que productos o procesos específicos, fueron la difusión de un conjunto de técnicas básicas a un número significativo de países e instituciones de investigación. También fomentó la

constitución de comisiones nacionales de biotecnología, que fueron un ensayo interesante de coordinación nacional de los esfuerzos de promoción de la nueva tecnología.

Otras iniciativas también dirigidas a crear capacidades básicas son el programa BIOLAC de la Universidad de las Naciones Unidas, dedicado al entrenamiento de personal y la creación de redes regionales en biotecnología vegetal por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Dentro de los programas subregionales de investigación agrícola se han creado programas de biotecnología para realizar proyectos conjuntos y transferir capacidades e información. El Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur (PROCISUR) es el ejemplo más destacado de los mismos.

El único programa especializado en el apoyo a la definición e implementación de políticas en biotecnología fue el del IICA. Este programa se concentró en el tema de la bioseguridad, en el que se ha logrado un significativo avance en la región, en comparación con otras regiones del mundo.

Los centros de investigación agrícola internacionales y regionales, y en particular el Centro Internacional de la Papa (CIP), el

Centro de Investigación de la Agricultura Tropical y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), a nivel de Centroamérica, han sido y son factores importantes en el desarrollo de la biotecnología, por su labor en la difusión de técnicas claves a través del entrenamiento y formación de personal. La amplia difusión de la técnica de cultivo de tejidos en la región a comienzos de la década de los ochenta, por ejemplo, se debe principalmente a la labor del CIP y de sus redes regionales de investigación en papa. La Unidad de Biotecnología del CIAT, además de ser uno de los grupos de investigación más avanzados en la región, ha apoyado la creación y fortalecimiento de capacidades nacionales en biotecnología mediante un intenso intercambio y entrenamiento de investigadores.

Diversas redes de investigación internacionales en biotecnología, apoyadas por agencias nacionales de países desarrollados o por fundaciones privadas, han servido igualmente para desarrollar capacidades nacionales, aun cuando no tienen como objetivo la cooperación técnica en sí sino la superación de problemas específicos de importancia para los países en vías de desarrollo. Esto frecuentemente lleva a la concentración de las actividades en los países líderes donde se encuentran las capacidades científicas.

Aspectos institucionales de la IyD en biotecnología agrícola

La investigación y desarrollo en biotecnología tiene una serie de requerimientos técnicos y organizacionales específicos derivados de las características de este campo. En ella se combinan varias disciplinas y su objetivo final es eminentemente práctico, lo que la hace compleja en cuanto a su organización, dotación de recursos humanos y gerencia. La creación de grupos de IyD en biotecnología, bien en instituciones académicas, bien en organizaciones de investigación aplicada o de desarrollo experimental, es un objetivo que requiere ser cuidadosamente planificado, exigencia que frecuentemente se ha obviado, con consecuencias negativas sobre la consolidación y éxito posterior de las iniciativas. La subestimación de los recursos requeridos y de las dificultades gerenciales asociadas a la IyD en este campo ha sido común, una de las razones de la baja efectividad en el uso de los recursos invertidos en ella en la región.

La información recogida en Colombia, El Salvador y Uruguay permite analizar la problemática organizacional y gerencial del desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas en biotecnología y las distintas opciones que se ofrecen para organizar y planificar la IyD en este campo.

Requerimientos técnicos y económicos

La complejidad y costos de la IyD en biotecnología varían según el tipo de técnicas utilizadas. Por lo general, las técnicas celulares son menos complejas y exigen menos recursos que las técnicas moleculares. Sin embargo, se trata de un campo dinámico y en plena evolución, caracterizado por la rápida evolución de técnicas y equipos. Algunas son sustituidas por otras más precisas o baratas y otras son automatizadas o mejoradas en cuanto

a su alcance, precisión y costos.

Estas diferencias se ilustran en los ejemplos presentados en el cuadro 11, que contiene estimaciones de los recursos humanos y de la inversión requerida para desarrollar investigación con base en varias de las áreas más importantes de la biotecnología, realizadas para 1990. Estas estimaciones, aun cuando son aproximaciones para un país desarrollado (Canadá), dan una idea de la masa mínima de recursos requeridos para una IyD efectiva en varias biotecnologías genéricas o básicas.

Aun cuando puede realizarse IyD en cada una de estas técnicas o servicios por separado, no puede obtenerse un producto final sin contar con varias de ellas simultáneamente, en forma ideal dentro de una misma institución. Por ejemplo, se hace poco con transformar genéticamente una bacteria o una planta si no se la puede cultivar en una escala significativa luego. Un laboratorio de cultivo de tejidos debería estar asociado con posibilidades de evaluar las plantas obtenidas en el campo. Por otro lado, todos los laboratorios o servicios en biotecnología requieren de un mínimo de apoyo en química analítica, cuyos costos y complejidades pueden variar enormemente, dependiendo de las técnicas requeridas.

Las estimaciones anteriores demuestran que, aun cuando montar un laboratorio de biotecnología es relativamente barato comparado con otras áreas de la ciencia y tecnología, no son pequeños los recursos requeridos. En consecuencia, la posibilidad de realizar esta inversión y de mantener el flujo de recursos requeridos en el tiempo para su funcionamiento es una consideración esencial en cualquier iniciativa para desarrollar IyD en biotecnología.

Cuadro 11. Recursos requeridos para IyD en biotecnología (1990)

Servicios o técnicas	Personal	Inversión en equipos (US\$)	Gastos de funcionamiento (US\$)
Ingeniería genética de microorganismos	3 PhD, 3 asistentes, 6 estudiantes	142.700	20.000
Escalamiento y salidas	2 PhD, 2 asistentes, 4 estudiantes	150.000	20.000
Cultivo de tejidos vegetal	1 Asistente, ayudantes		
Experimentación con plantas	1 Asistente, personal de apoyo		
Clonación de embriones animales	1 Asistente, personal de apoyo	85.000	

Fuente: IICA (1993b)

Organización

La organización de las capacidades en biotecnología debe partir del carácter multidisciplinario de la IyD en este campo y de su carácter de servicio para otras líneas de actividad.

El desarrollo de capacidades de biotecnología en organizaciones académicas o de investigación puede ser realizado de varias formas, como lo muestran los distintos casos examinados en los países analizados. Una primera opción es introducir el uso de las nuevas tecnologías en programas de investigación existentes y en sus correspondientes estructuras organizacionales, creando una unidad especial para ello. Por ejemplo, en el Centro de Tecnología Agrícola (CENTA) de El Salvador se estableció un pequeño laboratorio de cultivo de tejidos dentro del Programa de Recursos Genéticos, con dos investigadores sin posgrado, que presta servicios de termoterapia y propagación *in-vitro*. Sus capacidades se limitan a esta técnica, por lo que sus alcances son limitados. De manera similar, la Fundación de Servicios al Desarrollo (FUSADES), una fundación privada de asistencia técnica y servicios para la agricultura de El Salvador, tiene un laboratorio de diagnóstico y un laboratorio de cultivo de tejidos, que prestan servicios por demanda.

En el Instituto Nacional de Investigaciones

Agrícolas (INIA) del Uruguay se creó una Unidad de Biotecnología con más capacidades y recursos, pero también con la misión básica de prestar servicios a los programas de investigación del instituto. Cuenta con cinco investigadores, uno de ellos a nivel de doctorado y uno a nivel de maestría, que realizan investigación para y en coordinación con varios de los programas, los cuales aprueban y financian sus proyectos. Aun los proyectos gestionados por la Unidad ante agencias de financiamiento externo son concertados con los programas. Realiza investigaciones de alta complejidad en el área de la biotecnología molecular y celular.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Colombia, CORPOICA, decidió organizar una capacidad en biotecnología más autónoma e independiente, pero que igualmente se pretende esté estrechamente relacionada con los programas de investigación operativa y regional. Dentro de la Subdirección de Investigación Estratégica se crearon un programa de biotecnología vegetal, y otro de biotecnología animal, que en la actualidad cuentan con 19 investigadores, 7 de ellos con nivel de doctorado. Cada programa tiene su propio presupuesto, que complementa con recursos externos de diversas fuentes.

En el caso de instituciones que cuentan con capacidades en biotecnología en distintas dependencias, caso típico de muchas

universidades donde hay grupos de biotecnología en medicina, agronomía, biología, farmacia, ingeniería, etc., se requiere instancias de coordinación y orientación de los esfuerzos. Este problema ha sido resuelto en la Universidad Nacional de Colombia mediante la creación de un Instituto de Biotecnología “virtual”, que mediante la estructuración de proyectos de investigación, de cursos conjuntos y el ofrecimiento de una infraestructura de uso común agrupa y coordina los investigadores en biotecnología de las distintas facultades. Cuenta solo con un pequeño grupo de personal propio.

Un problema que se evidencia en varias instituciones es la falta de capacidades complementarias o adicionales para el desarrollo de productos finales dentro de la organización. Así, varias instituciones están desarrollando plantas transgénicas, pero no cuentan con programas de fitomejoramiento tradicionales ni con facilidades para ensayar las plantas en el campo. Ello obliga a establecer estrechas relaciones con grupos e instituciones que cuentan con estas facilidades y capacidades, que deberían establecerse idealmente desde el comienzo de los proyectos de biotecnología.

Recursos humanos

El personal especializado en biotecnología es, al menos, de dos tipos. Uno es el que trabaja en la modificación de los organismos y de sus productos, lo que exige una formación en biología celular o molecular, y otro que trabaja en la obtención o utilización de estos organismos y sus productos en diferentes escalas, por lo que tiene una formación de ingeniero (fitomejorador, ingeniero bioquímico, etc.). Idealmente se requiere de ambos tipos para desarrollar programas de biotecnología que resulten en productos o procesos. Este hecho es un primer elemento determinante de las estrategias de recursos humanos de una organización que quiera desarrollar capacidades integrales en biotecnología.

Este problema es especialmente importante para los institutos de investigación agrícola, debido a que, por lo general, no cuentan con biólogos. Para desarrollar capacidades en biotecnología pueden especializar alguno de sus ingenieros agrónomos o médicos

veterinarios en biotecnología, mediante entrenamientos o estudios de posgrado. Esta estrategia es factible en el caso del uso de técnicas relativamente menos complejas. Ha sido seguida por el CENTA, que tiene dos ingenieros agrónomos trabajando en su laboratorio de cultivo de tejidos; FUSADES, que tiene un ingeniero con una maestría encargado del laboratorio de cultivo de tejidos; el INIA, que tiene tres ingenieros a nivel de asistentes de investigación; y CORPOICA, que tiene igualmente agrónomos a nivel de asistentes en el Programa de Biotecnología Vegetal y médicos veterinarios en el de Biotecnología Animal.

Para desarrollar actividades más complejas se requiere un personal de nivel de doctorado y con una sólida formación en ciencias biológicas. Este tipo de personal normalmente no está disponible en los institutos de investigación agrícola por lo que debe ser reclutado especialmente. Este ha sido el caso del INIA, que reclutó al Jefe de su Unidad de Biotecnología en un instituto de investigación básica, y CORPOICA, que contrató a varios biólogos a nivel de doctorado y maestría para su programa de biotecnología vegetal. En el caso de los médicos veterinarios es más fácil su formación a nivel de doctorado en biotecnología, como lo muestra la experiencia del Programa de Biotecnología Animal de CORPOICA.

Además de contar con personal especializado en biotecnología, es importante que otros investigadores tengan un conocimiento adecuado de las técnicas más importantes y de su potencial. Ello facilitará su relación con los biotecnólogos, y su integración en equipos de investigación multidisciplinarios. La política del INIA y de CORPOICA en este sentido ha sido la de establecer este tipo de equipos, como una forma de promover y facilitar la interacción entre las distintas personas requeridas para llevar adelante un programa de biotecnología con orientación productiva.

Planificación y priorización

La IyD en biotecnología, es casi por definición orientada hacia la solución de problemas prácticos, muchos de los cuales son del ámbito productivo. La selección de las líneas y proyectos de investigación debería realizarse, en consecuencia, mediante una planificación o

priorización que tome en cuenta el mercado o la opinión de productores o industriales. El carácter de servicios que tiene mucha de la investigación que se puede realizar en biotecnología obvia el problema de la priorización, que se traslada al de las líneas o proyectos de investigación a los que se presta servicios.

Este es el caso de los dos institutos de El Salvador analizados, que no tienen un problema de priorización pues sus unidades de biotecnología prestan servicios a otras unidades o a clientes externos. En el INIA, los proyectos en biotecnología son solicitados o concertados con los programas, que a su vez responden a lineamientos de las instancias directivas de la institución, en las que los productores están fuertemente representados. La Unidad también presta servicios técnicos y de investigación contratada a clientes directamente.

También en CORPOICA, la selección de proyectos responde a lineamientos generales concertados con los productores. Los programas de biotecnología pueden realizar investigación contratada o concertada con otros organismos. Esta última opción es importante en Colombia, donde un análisis de la programación de investigación de varios institutos evidencia la existencia de actividades

interrelacionadas entre distintas instituciones. Ello es producto de la actividad planificadora y coordinadora del organismo nacional de promoción de ciencia y tecnología, COLCIENCIAS, a través de su Programa Nacional de Biotecnología, que ha sido exitoso en orientar y coordinar muchos de los grupos de investigación existentes en el país.

Vinculación con la industriaVinculaci—n con la industria

Con excepción del CENTA, todos los demás institutos estudiados prestan servicios directamente a la industria, sean éstos de asistencia técnica o de investigación contratada. Sin embargo, las dificultades administrativas de esta actividad dentro de las organizaciones está llevando a la búsqueda de formas más adecuadas para esta relación con el sector productivo. En el INIA existe un proyecto de creación de una empresa especializada en venta de servicios de biotecnología, denominada INIA-BIOTEC. La Universidad Nacional de Colombia, por otro lado, creó recientemente una empresa para realizar investigación por contrato y prestar servicios denominada Corporación Industrial de Biotecnología, en conjunto con CORPOICA, el Instituto Nacional de Salud y 15 empresas y organizaciones del sector privado.

Necesidades de apoyo al desarrollo de la biotecnología agrícola: Conclusiones y recomendaciones

La introducción y consolidación de la agrobiotecnología en los países de la región es un proceso complejo y costoso que exige un conjunto de acciones coherentes en el tiempo especialmente dirigidas a tal fin. La experiencia de la región en esta materia evidencia una serie de debilidades que sugieren, a su vez, cambios en las estrategias y nuevas formas de enfrentar los problemas.

Un grupo importante de países de la región aún no cuentan con las bases científicas y profesionales mínimas para enfrentar los retos que plantea la biotecnología. Todavía existe, por lo tanto, un amplio campo de posibilidades para programas de creación de capacidades científicas de primera generación, es decir, con un fuerte énfasis en la formación de recursos humanos y la creación de una infraestructura técnica y científica mínima. Pero para evitar los errores de otros es indispensable que estos esfuerzos estén, desde el comienzo, claramente integrados en una visión estratégica más amplia del impacto de la biotecnología para el país y, particularmente, sus industrias y actividades productivas más importantes.

El desarrollo de un pequeño grupo de investigadores de alto nivel que dominen algunas de las técnicas genéricas o básicas más importantes, complementados por un grupo más amplio de personas con una formación orientada a la utilización de las técnicas (nivel de maestría, entrenamientos especializados) son dos objetivos esenciales de estos programas. En cuanto a la infraestructura es importante evitar la dispersión y atomización de los recursos y esfuerzos, que ha caracterizado muchas de esas iniciativas en el pasado. Concentrar los esfuerzos en unos muy pocos grupos es la vía adecuada para la creación de la masa crítica necesaria a nivel de las organizaciones indispensable para una investigación y difusión de las tecnologías efectiva y eficiente.

Los países que ya cuentan con capacidades en biotecnología enfrentan el reto de consolidar y orientar los esfuerzos hechos en función de objetivos industriales y comerciales, sociales y ambientales específicos. La mayoría de ellos no han podido aún superar la fase “científica” del desarrollo de la biotecnología. Las capacidades y esfuerzos aún se encuentran principalmente en el sector académico y de investigación, sin relaciones con el sector productivo o de servicios. Se exceptúan algunas técnicas, como el cultivo de tejidos, por ejemplo, bien difundidas y utilizadas en algunas industrias.

Una de las mayores debilidades es la falta de una visión integral de las oportunidades y necesidades del desarrollo de la biotecnología, tanto a nivel nacional como sectorial. Ello se refleja en los vacíos y debilidades comunes en muchos países en el marco regulatorio y legal y en la infraestructura de apoyo requeridos. Los programas de desarrollo de la biotecnología son iniciativas aisladas de distintas agencias que no coordinan sus esfuerzos. La IyD es dispersa y atomizada, y por ende inefectiva e ineficiente.

Los programas de desarrollo de la biotecnología del sector público, y especialmente si se trata de programas nacionales, deben responder a necesidades compartidas por los actores más importantes y, particularmente, por los usuarios finales de la biotecnología, es decir, productores e industriales. La mayoría de los programas de biotecnología en la región todavía responden más que todo a ideas e intereses de investigadores y de sus instituciones.

Especial prioridad para las organizaciones del sector público deberían tener las necesidades de los sectores de productores más débiles, ya que los sectores más capitalizados generalmente están mejor organizados y tiene mayores capacidades propias para introducir, usar y desarrollar biotecnologías. El

desarrollo y difusión de biotecnologías para los problemas de los productores agrícolas más pobres presenta dificultades metodológicas y prácticas particulares, que deben ser tomados en cuenta en una estrategia de este tipo (Bunders y Broerse, 1991).

Estos problemas no son exclusivos de la biotecnología. Son síntomas de una situación más profunda y estructural, que es la falta de una dinámica económica y social de la cual la innovación, y por ende la IyD, sea parte esencial. Las nuevas estrategias de apertura económica exigen el logro de la competitividad para su éxito pero los procesos de ajuste y reestructuración productiva no han logrado aún el desarrollo del delicado entramado de incentivos, regulaciones, leyes, políticas y capacidades para el desarrollo de sistemas nacionales de innovación que permitan esta competitividad.

El punto de partida de esa visión integral requerida es una sólida comprensión de los retos técnicos, económicos y de mercado que plantean las nuevas tecnologías a nivel nacional o sectorial. Ello permitirá establecer objetivos claros y realistas para eventuales programas de apoyo al desarrollo de la biotecnología.

El desarrollo de esta visión integral es un proceso que incluye, entre otras actividades, la difusión de conocimientos sobre las nuevas tecnologías a grupos de población más amplios, la realización de estudios económicos y sociales sobre la prospectiva y los impactos de las nuevas tecnologías, tanto a nivel general como particular de industrias o sectores específicos, la discusión y debate de problemas políticos y éticos, etc. Puede facilitarse con la creación de comisiones nacionales o sectoriales de coordinación y orientación de los programas de desarrollo de la biotecnología, como lo demuestra la experiencia de algunos países. Sin embargo, debe ampliarse la integración de estas comisiones para incluir una representación muchos más fuerte de los sectores productivos e industriales relacionadas con el campo.

Los países que ya iniciaron un desarrollo de la biotecnología requieren todavía de programas de fortalecimiento de capacidades científicas. Estos programas de segunda generación deben ser mucho más enfocados a técnicas y sectores

específicos, y concentrarse en el desarrollo de capacidades con alto potencial multiplicador. Así, por ejemplo, más que enviar personas al exterior a formarse a nivel de posgrado pueden crearse o fortalecerse posgrados nacionales.

Una de las prioridades en la mayoría de los países, dados los extendidos problemas de dispersión y atomización de esfuerzos, es la racionalización de las actividades de IyD existentes. Para ello se ofrecen instrumentos como los programas interinstitucionales y las investigaciones conjuntas entre centros de investigación y empresas. Debe también contarse con una estrategia explícita de concentrar recursos en aquellas organizaciones que cuenten con la masa crítica requerida para una IyD efectiva y eficiente, tanto en términos netamente científico como productivos.

La experiencia de Brasil, México, Cuba y Argentina sugiere que la creación de centros especializados en biotecnología es una estrategia efectiva para crear una masa crítica que pueda asumir un papel de liderazgo y de promoción de la biotecnología, bien sea a nivel general o a nivel sectorial. Su ubicación dentro de universidades, como lo ha hecho México, tiene la ventaja adicional de su aporte mucho más directo a la formación de recursos humanos.

Otra estrategia para racionalizar esfuerzos es la creación de laboratorios nacionales de servicio o de difusión de técnicas claves (inmunología, ingeniería genética, marcadores genéticos, etc.). En ellos se ofrece una infraestructura para ser compartida, localizada en institutos de investigación o universidades, particularmente importante en el caso de técnicas costosas y complejas como, por ejemplo, cristalografía de proteínas, secuenciamiento de ácidos nucleicos y péptidos, etc.

El financiamiento de proyectos de investigación también puede responder a una estrategia de racionalización y orientación productiva del esfuerzo en biotecnología. Su selectividad en términos de reforzar ciertas áreas en función de posibles aplicaciones, de promover la cooperación interinstitucional y de la participación de los usuarios en la selección o establecimiento de prioridades puede ser un elemento poderoso para lograr una IyD más eficiente y pertinente.

Una consecuencia de la orientación aún excesivamente académica y científica del desarrollo de la biotecnología en la región es la gran debilidad de la bioingeniería o del bioprocesamiento como campo de IyD y de formación de recursos humanos. Se requiere fortalecer específicamente estas disciplinas, a través de programas especiales de apoyo, para así lograr un mayor balance de capacidades en función de la aplicación y uso industrial de la biotecnología (Aguilera y col., 1994).

En los países que cuentan con industrias de insumos biológicos importantes se justifican programas dirigidos directamente al fortalecimiento de la misma, con objetivos tales como su reconversión hacia la nueva tecnología, la creación de nuevas industrias o de la infraestructura requerida para el desarrollo de sus capacidades de innovación. Una posición activista, no necesariamente dirigista, del sector público para promover las perspectivas estratégicas de estos sectores se justificaría por la falta de iniciativa o las dificultades para una acción conjunta de las industrias involucradas.

Estas iniciativas pudieran tomar la forma de programas de investigación orientados hacia el desarrollo de procesos o productos específicos; de formación de recursos humanos para necesidades de industrias; o de apoyo integral a industrias específicas como, por ejemplo, la de propagación vegetal, de fitomejoramiento, de biopesticidas, la industria veterinaria, etc. Instrumentos como fondos de financiamiento de proyectos de desarrollo tecnológico y proyectos colaborativos entre la industria y los centros de investigación han sido utilizados en la región.

Un apoyo más directo lo constituyen los programas de desarrollo empresarial. El financiamiento para creación o expansión de empresas, la capacitación y la asistencia técnica son algunos de los instrumentos más comunes utilizados. El reto estaría en diseñar programas de este tipo dirigidos a la industria de biotecnología, que incorporen sus especificidades y necesidades particulares. La importancia de las nuevas empresas de biotecnología en estas industrias es una justificación especial para una estrategia de este tipo.

En el contexto de una visión integral del desarrollo de la biotecnología cobran importancia los servicios técnicos de apoyo a la biotecnología, como son servicios de información, mantenimiento de equipos, provisión de reactivos e insumos, etc. Donde no existan empresas privadas que los suplan se justifica una actividad promotora del Estado, que siempre debería realizarse con miras a su posterior privatización, una vez creados y consolidados.

En materia de información existen debilidades importantes en cuanto a servicios bibliográficos, redes de comunicación, y servicios de información técnica especializada en biotecnología en prácticamente todos los países. Para desarrollar una estrategia de seguidor inteligente, que es la opción más realista para las empresas de la región, es esencial superar estas debilidades. Pocos programas de desarrollo de la biotecnología los incluyen explícitamente.

La creación y fortalecimiento del marco legal y regulatorio requerido para un desarrollo de la biotecnología, y de los servicios regulatorios y legales que lo administran, es otro aspecto crucial, que no ha sido abordado desde la perspectiva del desarrollo de la biotecnología. Las autoridades competentes en materia de bioseguridad y propiedad intelectual especializadas en problemas de biotecnología son inexistentes o muy débiles en la mayoría de los países, y deben fortalecerse mediante entrenamiento, desarrollo de bases de datos y metodologías, etc. Es importante así mismo el intercambio y difusión de experiencias nacionales exitosas o más avanzadas. El fortalecimiento de las oficinas responsables de administrar los derechos de obtentores vegetales son especialmente importantes en los países con actividades o industrias de fitomejoramiento.

A un nivel más general pero de gran importancia a mediano y largo plazo, debe crearse un nivel de conocimientos adecuados sobre los principios, características e importancia de la biotecnología en sectores más amplios de la población. Los profesionales de muchas áreas, como son los médicos, farmacéuticos, agrónomos, veterinarios y nutricionistas, son un grupo objetivo importante. La revisión de los currícula de estudios de las carreras

profesionales relacionadas con la biotecnología, para incluir algún nivel de conocimientos básicos, es la forma de lograr este objetivo. Además se requiere de programas de educación no formal y de difusión y promoción general de la biotecnología a distintos niveles (población general, sector productivo, escolares y estudiantes), a través de museos de ciencia, medios de comunicación, publicaciones divulgativas, etc.

Las perspectivas de mediano y largo plazo de la agrobiotecnología en ALC dependerá fuertemente de la fortaleza de la base de investigación científica que le da sustento. En muchos países, la única forma de superar las limitaciones de recursos y alcanzar una masa crítica para obtener resultados es juntar esfuerzos y recursos a nivel subregional o regional, en la forma de cooperación entre empresas, la regionalización de empresas locales o la creación de laboratorios o centros regionales de investigación.

A tales fines se ofrecen una variedad de posibilidades como, por ejemplo, reuniones regionales para analizar perspectivas de industrias específicas, programas cooperativos entre empresas de distintos países para desarrollo o comercialización de productos, programas para difundir a nivel regional técnicas específicas, programas de apoyo al relacionamiento con empresas del norte, etc. Esta última línea de trabajo puede ser de importancia crucial para el acceso a técnicas avanzadas y, en general, para acelerar el

desarrollo a nivel nacional. Existe interés en muchos países avanzados como, por ejemplo, en la Comunidad Europea y Canadá, que se expresa en programas que fomentan este tipo de relaciones.

Hay una serie de temas o áreas especialmente atractivos para estos programas regionales de biotecnología, debido a la dificultad de atacarlos individualmente. El mapeo genético de especies de importancia regional es un ejemplo destacado.

Un paso más ambicioso es la creación de centros regionales de investigación en biotecnología. De hecho, existen algunos laboratorios importantes que tienen carácter supranacional, como son la Unidad de Biotecnología del CIAT y el laboratorio del CATIE, en Costa Rica. Alguno de ellos pudiera convertirse en centro regional, con un apoyo financiero directo de los países. La viabilización de esta posibilidad pasa por el diseño de mecanismo de cogobierno, que salvaguarden adecuadamente los intereses de los socios, así como los requerimientos técnicos de la gerencia de este tipo de centros de investigación.

Una estrategia de cooperación regional de este tipo es un elemento esencial para alcanzar el volumen de recursos requerido para que la biotecnología pueda tener un impacto significativo sobre la competitividad de la región, así como para el desarrollo de patrones de producción más sustentables.

Bibliografía

AgBiotech News and Information. 1993.

Aguilera, J. M.; San Martín, R. y Edwardson, W. 1994. *Bioengineering and Bioprocesses. Needs and Opportunities in Latin America*. Santiago, Chile: Editorial Universidad Santiago.

Aronson, A. I.; Beckman, W. y Dunn P. 1986. *Microbiological Rev.* 50:1.

Arroyo, G.; Agosin, E.; Jedlicky, R.; Morales, J. 1991. *La investigación biotecnológica en Chile, sectores agropecuario, forestal y acuícola*. Informe final a INTEC-CORFO, Sur Profesionales, Santiago, Chile.

BID.1988. *Biotechnology: Overview and Development in Latin America*. In: Inter-American Development Bank, *Economic and Social Progress In Latin America*, Informe de 1988, Washington D.C.

- Bejarano, E; Lichtenstein, C. 1992. Prospect for Engineering Virus Resistance in Plants Using Antisense RNA, *TIBTECH* 10:383-388.
- Bunders, J.F.G. y Broerse, E.W. (eds.). 1991. *Appropriate Biotechnology in Small-Scale Agriculture: How to Reorient Research and Development*. CAB International, Oxon, Reino Unido.
- Casas, R. 1993. *La investigación biotecnológica en México: Tendencias en el sector agroalimentario*. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cerantola, W. A. 1991. *Estrategias tecnologicas das Empresas de biotecnologia no Brasil: Um estudo exploratorio*. Tesis de Grado MSc. Universidad de São Paulo, Brasil.
- Correa, J. M. (1992) Políticas sobre desarrollo biotecnológico en América Latina. En: *Formulación de políticas para el desarrollo de la biotecnología en América Latina y el Caribe*. San José, Costa Rica: IICA.
- Fitchen, J. H. y Beachy R.N. 1993. Genetically Engineering Protection Against Viruses in Transgenic Plants, *Ann. Rev. Microbiolo.* 47:739-63.
- Hodson, E. y Aramendis, R. 1995. Directorio IICA (1992) *Directorio latinoamericano de la industria biotecnológica*. México 1991. San José, Costa Rica.
- IICA. 1993a. *Directorio latinoamericano de la industria biotecnológica*. Volúmenes para Argentina, Brasil, Región Andina, América Central y Uruguay. San José, Costa Rica.
- IICA. 1993b. *Requerimientos técnicos para la investigación y desarrollo en agrobiotecnologías*. Serie de Publicaciones Misceláneas, San José, Costa Rica.
- IICA; PAHO; OAS; OIE. 1988. *Guidelines for the Use and Safety of Genetic Engineering Techniques or Recombinant DNA Technology*. Washington, D.C.: IICA.
- IICA; PAHO. 1991. *Guidelines for the Release into the Environment of Genetically Modified Organism*. San José, Costa Rica: IICA.
- INIA; IICA. 1991. *Oportunidades de las agrobiotecnologías en Uruguay*. Informe de Consultoría. Oficina del IICA en Uruguay, Montevideo.
- ISPMB. 1994. *Abstracts 4th International Congress of Plant Molecular Biology*. Amsterdam.
- Jaffé, W. R. 1992. Agricultural Biotechnology Research and Development Investments in some Latin American Countries. *Science and Public Policy* 19(4):229-240.
- Jaffé, W. R. 1993. *La agrobiotecnología comercial en América Latina y el Caribe*. San José, Costa Rica: IICA.
- Jaffé, W. R. (ed.) 1994. *Estrategias empresariales en agrobiotecnología*. 21 Estudios de Caso. IICA, San José, Costa Rica.
- Jaffé, W. R. y van Wijk, J. 1995. *The Impact of Plant Breeders Rights in Developing Countries*. DGIS, La Haya, Holanda.

- Jaffé, W. R. y Zaldívar, M. E. 1993. *The Development of Agricultural R&D Capabilities in Latin America and the Caribbean: A Bibliometric Study*. Sin publicar.
- Niosi, J.; Saviotti, P.; Bellon, B.; y Crow, M. 1993. National Systems of Innovation: In Search of a Workable Concept. *Technology in Society* 15:207-227.
- OECD 1989. *Biotechnology and Wider Impacts*. París.
- Persley, G. J. 1990. *Beyond Mendel's Garden: Biotechnology in the Service of World Agriculture*. CAB International, Oxon, Reino Unido.
- Quintero-Ramirez, R. 1994. Biotechnology and Bioengineering in Latin America: Main Areas and Approaches for Development. In: Aguilera, J. M.; San Martin, R.; y Edwardson, W. 1994. *Bioengineering and Bioprocesses. Needs and Opportunities in Latin America*. Santiago, Chile: Editorial Universidad Santiago.
- Roca, W. M; Amezcuita, M. C.; y Villalobos, V. M. (1988) *Present Status and Prospects for Agricultural Biotechnology in Latin America and the Caribbean*. In: CIAT, Temas prioritarios y mecanismos de cooperación en investigación agropecuaria en América Latina y el Caribe. Cali, Colombia.
- Sanford, J. C. y Johnston, S. A. (1985) The Concept of Parasite-Derived Resistance-Deriving Resistance Genes from Parasite's own Genome, *J. Theor. Biol.* 113:395-405.
- Sant'Ana, A. 1992. *Biosseguranca: A experiencia internacional e uma abordagem para o Brasil*. Informe preparado para el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Rio de Janeiro, Brasil.
- Seed Industry Journal*. 1990. Entrevista con W. Teweles. *Seed Industry Journal* 41(6).
- Sercovich F. C.; y Leopold, M. 1991. *Developing Countries and the New Biotechnology. Market Entry and Industrial Policy*. IDRC-MR 279e, Canadá.
- Solleiro, J. L. 1995. *Elementos para una estrategia de desarrollo de la biotecnología en México*. En: Políticas y estrategias para el desarrollo de la biotecnología en México, CIT/UNAM y Universidad Politécnica de Cataluña.
- Tanksley, S. D. 1993. Mapping Polygenes, *Ann. Rev. Genet.* 27: 205-233.
- Tanksley, S. D.; Young, N. D.; Paterson, A. H.; y Bonierbale, M. W. 1989. RFLP Mapping in Plant Breeding: New Tools for an Old Science, *Bio/Technology* 7:257-264.
- Tassey, G. (1991) The Functions of Technology Infrastructure in a Competitive Economy. *Research Policy* 20:345-361.
- Trigo, E.; y Jaffé, W.R. (1991) Biosafety Regulations in Developing Countries with Special Emphasis on Agriculture. *Interciencia* 16(1):27-33.
- Vaeck, M.; Reynaerts, A.; Höfte, H.; Jansens, S.; de Beuckeleer, M.; Dean, C. Zabeau, M.; Van Montagu, M.; y Leemans, J. (1987) Transgenic Plants Protected from Insect Attack, *Nature* 228: 33-37.
- Williams, J.G.K.; Kubelik, A.R.; Livak, K.J.; Rafalski, J.A.; y Tigey, S.V. (1991) DNA Polimorphisms Amplified by Arbitrary Primers are Useful as Genetic Markers, *Nuc. Acid Res.* 18:6531-6535.