

# Biotecnología agrícola y desarrollo rural en América Latina y el Caribe

Implicaciones para el financiamiento  
del BID

Eduardo J. Trigo  
Greg Traxler  
Carl E. Pray  
Ruben G. Echeverría

**Banco Interamericano de Desarrollo**

Washington, D. C.

**Serie de informes técnicos del  
Departamento de Desarrollo Sostenible**

**Catalogación (Cataloging-in-Publication) proporcionada por el  
Banco Interamericano de Desarrollo  
Biblioteca Felipe Herrera**

Biotecnología agrícola y desarrollo rural en América Latina y el Caribe : implicaciones para el financiamiento del BID / Eduardo J. Trigo ... [et al.].

p.cm. (Sustainable Development Department Technical papers series ; RUR-107)

1. Agricultural biotechnology--Latin America. 2. Agricultural biotechnology--Caribbean Area. 3. Rural development project. 4. Inter-American Development Bank. I. Trigo, Eduardo. II. Inter-American Development Bank. Sustainable Development Dept. Rural Development Unit. III. Series.

660.6 O282—dc21

Este documento fue preparado como un informe técnico de referencia para la Estrategia de Desarrollo Agrícola del BID (GN-2069-1), la cual fue considerada favorablemente por el Directorio Ejecutivo del Banco el 12 de enero de 2000.

Eduardo J. Trigo es Director del Grupo CEO, Argentina y Secretario Ejecutivo del Grupo Consultivo de Biotecnología para Latino América y el Caribe. Greg Traxler es Profesor de Economía Agraria en Auburn University (Alabama). Carl E. Pray es Profesor de Economía Agraria en Rutgers University (New Jersey). Ruben Echeverría es Jefe de la Unidad de Desarrollo Rural, Departamento de Desarrollo Sostenible del BID.

Los autores agradecen el apoyo técnico prestado por el Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR) en la preparación de material informativo para este documento. Asimismo, reconocen los comentarios y sugerencias de María José Amstalden Sampaio, Ariel Álvarez-Morales, Ana Sittenfeld, Joel Cohen, Enrique Alarcón, Walter Jaffé, Derek Byerlee, Edgardo Moscardi, César Falconi, Juan Izquierdo, Jean Wendt y de los participantes de dos seminarios técnicos realizados en el BID en el 2000 y 2001 con el fin de discutir los borradores del documento. Se agradece la colaboración del Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur (PROCISUR).

Las opiniones y conclusiones manifestadas en este documento no representan necesariamente las políticas de los organismos mencionados.

Septiembre 2002

Esta publicación (Número de referencia: RUR-107) puede obtenerse dirigiéndose a:

Unidad de Desarrollo Rural  
Banco Interamericano de Desarrollo  
1300 New York Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20577  
Correo electrónico: [sdsinfo@iadb.org](mailto:sdsinfo@iadb.org)  
Telefax: 202-623-1708  
Sitio de Internet: <http://www.iadb.org/sds/>

# Prólogo

Este trabajo, preparado por la Unidad de Desarrollo Rural con el apoyo de varios expertos y luego de una serie de consultas regionales, plantea uno de los temas más importantes de desarrollo agrícola que afronta la región. La biotecnología agrícola tiene el potencial de ser una herramienta importante para la investigación agrícola en América Latina y el Caribe.

Este informe se enfoca en el potencial que tiene la investigación biotecnológica para transferir sus beneficios a los consumidores y productores de alimentos de la región; incluyendo su contribución a la reducción de la pobreza, protección del medio ambiente, seguridad alimentaria y mejora de la calidad de los alimentos. También tiene en cuenta entre otros desafíos, asuntos como la bioseguridad y la aceptación por parte del consumidor.

El estudio analiza la necesidad de incrementar la inversión en investigación agrícola, así como también de fortalecer la bioseguridad y la propiedad intelectual. Incluye sugerencias de políticas de desarrollo tecnológico en cuestiones sobre biotecnología agrícola en programas financiados por el BID.

Christof Küchemann  
Subgerente  
Subdepartamento de Desarrollo Social y Gobernabilidad

# Índice

Resumen

i

I. Introducción

1

II. Población, pobreza, productividad y biotecnología

4

III. Medio ambiente, inocuidad de alimentos y aceptación del consumidor

9

IV. Situación de la investigación en biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe

15

V. Desafíos para acceder a los beneficios de la biotecnología

38

VI. Utilización de las oportunidades de la biotecnología agrícola

59

Referencias

79

## Resumen

Una actividad substancial en la implementación de la Estrategia de Desarrollo Agrícola del BID consiste en el diseño de estudios de mejores prácticas que sirvan para definir instrumentos de financiamiento en las áreas de inversión prioritarias, y para respaldar la toma de decisiones de los gobiernos de la región. La estrategia del Banco mencionada resalta la necesidad de reforzar las inversiones en investigación agrícola por parte del sector privado y público, así como el manejo de los recursos para la investigación a nivel nacional y regional. La biotecnología es una herramienta importante para la investigación agrícola, mientras que los derechos de propiedad intelectual y las regulaciones sobre bioseguridad comienzan a influir en el manejo de la investigación en la región.

Este informe se enfoca en el potencial que tiene la investigación biotecnológica de beneficiar a los consumidores y productores de alimentos en América Latina y el Caribe (ALC), con el objetivo de orientar en términos generales las actividades de financiamiento por parte del BID. El estudio incluye sugerencias de políticas sobre biotecnología agrícola. Especial atención se ofrece a problemas y oportunidades de la biotecnología para desarrollar la agricultura en ALC; cuáles son las implicaciones de la biotecnología para los organismos públicos de investigación, incluyendo los aspectos del financiamiento regional para la investigación; y si la biotecnología puede contribuir a la reducción de la pobreza, a la protección del medio ambiente y a la inocuidad y calidad de los alimentos.

En este informe, se considera que la biotecnología, en términos generales, engloba aquellas aplicaciones para la agricultura que están basadas en los conocimientos que se van adquiriendo sobre el código genético de la vida. El amplio espectro de descubrimientos se podría clasificar en tres grupos de tecnologías: (i) herramientas moleculares para el fitomejoramiento; incluyendo técnicas específicas tales como la selección asistida por marcadores, (ii) los descubrimientos del ADN recombinante que conducen a la creación de variedades de cultivos transgénicos u organismos modificados genéticamente; y (iii) técnicas de diagnóstico. La biotecnología comprende un conjunto de herramientas que, una vez incorporadas al proceso de Investigación y Desarrollo (I+D) agrícola, puede mejorar la eficiencia y eficacia de la I+D para la creación de nuevas tecnologías. En su fase actual de desarrollo, puede mejorar y complementar, pero no reemplazar, las estrategias convencionales destinadas a la generación de tecnología. En consecuencia, cuando se trata de evaluar los posibles efectos, es importante hacerlo dentro del contexto de las inversiones y sistemas de investigación agrícola ya existentes, ya que estas siguen constituyendo el vínculo crucial para la transferencia de la tecnología.

Por razones éticas, políticas y prácticas, la lucha contra la pobreza debe ser una prioridad en toda estrategia de desarrollo. Dada su contribución de recursos naturales y la importancia de la agricultura en la mayoría de las economías de la región, el desarrollo agrícola no es sólo un prerrequisito para el crecimiento económico, sino que además está llamado a jugar un papel im-

portante en la futura evolución de la seguridad alimentaria global.

La aplicación de estrategias biotecnológicas a la industria agrícola abre un amplio abanico de beneficios potenciales, aunque puede que muchos de estos beneficios no lleguen a alcanzarse si no se resuelve una serie de cuestiones importantes. Algunas de esas cuestiones están relacionadas con la organización de los sistemas de tecnología e innovación, así como con la base científica de la biotecnología y su interrelación con la investigación agrícola tradicional, otras en cambio refieren a las consideraciones sobre bioseguridad y a la aceptación del consumidor. Existen además desafíos que surgen del carácter patentado de las nuevas tecnologías y de cuestiones relacionadas con las características de los mecanismos de transferencia de tecnología utilizados.

Las contribuciones más importantes de la biotecnología probablemente se vinculen con la expansión de la producción de algunos de los principales cultivos de la región sin incrementar la presión sobre los entornos frágiles. Es también probable que la biotecnología sea una importante conexión con las crecientes oportunidades para la agroindustrialización que pueden surgir del aumento y diversificación de la producción. La importancia de esta aportación dependerá de la capacidad que tengan las estrategias de investigación convencional para generar las tecnologías necesarias para sostener el aumento estimado de los rendimientos de los cultivos.

La biotecnología tiene potencial para mejorar la competitividad de la producción agrícola regional en los mercados mundiales, así como para reducir la incidencia de la pobreza, tanto urbana como rural (ya que las condiciones de nutrición y los ingresos de los sectores pobres de la po-

blación dependen en gran medida de la eficiencia de la producción de los cultivos de alimentos básicos). Es de esperar que la biotecnología mejore la estabilidad y el potencial de la producción (al aumentar la tolerancia frente a los efectos adversos) tanto en cultivos de clima templado como tropical. Asimismo podría contribuir a mejorar la sostenibilidad agrícola aumentando la resistencia a enfermedades y plagas, respaldando los esfuerzos de manejo integrado de plagas, con la consiguiente reducción en el uso de pesticidas tóxicos; así como aliviando la presión que se ejerce para expandir las áreas de cultivo a zonas forestales y marginales. Finalmente, podría mejorar el valor nutritivo de los cultivos alimenticios (incluyendo un enriquecimiento del contenido vitamínico y de micronutrientes de los alimentos en grano) y ampliar los usos potenciales de los productos y procesos agroalimentarios; utilizando, por ejemplo, las sustancias no comestibles de los cultivos alimenticios para fabricar productos medicinales, alcohol de combustión y carburante industrial, consiguiéndose así aumentar el empleo y los ingresos.

Sin embargo, es necesario hacer una advertencia. No hay duda acerca del potencial de las nuevas tecnologías. Gracias a ellas la investigación se está adentrando en territorios hasta ahora inexplorados, haciendo posible lo que tan sólo hace unos años atrás se consideraba como imposible, eliminando las barreras entre especies y expandiendo las fronteras de la producción. Además, ellas cuentan con una amplia cobertura que abarca todos los cultivos, la silvicultura, la ganadería y la acuicultura, tanto en los ecosistemas más pobres como en los mejor dotados. El potencial está ahí, pero siguen habiendo interrogantes serios con relación a las estrategias adecuadas para desarrollar ese potencial teniendo en cuenta las limitaciones huma-

nas, financieras e institucionales de la región. No debe causar sorpresa que desde las fases más tempranas de desarrollo de la biotecnología haya habido inquietud y controversia sobre los riesgos potenciales para el medio ambiente y la salud de las personas. La naturaleza de la biotecnología altera las posibilidades tecnológicas, particularmente en el campo de la genética. En algunos casos, ésta genera nuevos dilemas éticos, muchos de los cuales todavía están por ser completamente analizados y resueltos.

Los avances de la biotecnología agrícola, en parte impulsados por los avances de la biotecnología médica, están revolucionando el conocimiento de los mecanismos de crecimiento y producción de sustancias útiles en plantas y animales. Estos progresos de la ciencia comienzan a vislumbrarse como tecnologías útiles para los agricultores de América Latina. Hasta la fecha, sin embargo, es poco lo que se está haciendo en términos de transferencia de la biotecnología agrícola, a pesar de su significativo potencial científico. Los agricultores y consumidores de ALC han notado pocos efectos y, en caso de producirse, se concentran sólo en unos pocos países (Argentina, México, Uruguay), en actividades de clima templado (resistencia a insectos y herbicidas) y en tres cultivos básicamente de clima templado (soja, maíz y algodón). A nivel mundial, sin embargo, en el 2001 se plantaron más de 50 millones de hectáreas con cultivos “modificados genéticamente,” un incremento de 20% sobre el total del año anterior.

Los próximos años no prometen nada muy diferente; parece que la biotecnología agrícola va a evolucionar en ALC al ritmo de lo que suceda en los países desarrollados. Esto deja abierta la interrogante sobre lo que pasará con las actividades

de clima tropical. Solamente Brasil parece tener la capacidad suficiente para desarrollar algunos productos, pero incluso esto parece estar limitado cuando se enmarca en el contexto de las inversiones en I+D para actividades de clima templado, y con el hecho que la base científica para la agricultura tropical dista mucho de ser tan profunda como lo es en agroecologías de clima templado.

La situación de la biotecnología agrícola en ALC se resume en torno a dos observaciones. En primer lugar, la capacidad de investigación biotecnológica de la región es de un nivel significativo y abarca una amplia gama de limitaciones productivas, cultivos y especies ganaderas. Esta capacidad ha evolucionado en un entorno de financiación para I+D muy restrictivo lo cual la limita. En unos cuantos países la capacidad de investigación pública está respaldada por un entorno adecuado de bioseguridad y derechos de propiedad intelectual. La segunda observación es que en términos de aplicaciones reales a nivel comercial, la biotecnología se encuentra todavía en un estadio muy temprano de desarrollo. El uso comercial se refiere mayormente a la biología celular y a las técnicas de diagnóstico. Las aplicaciones de ingeniería genética se concentran en dos países, sobre todo en entornos de producción bajo climas templados, y se trata de actividades que fueron desarrolladas por corporaciones multinacionales fuera de la región.

El documento analiza los principales desafíos para aumentar la inversión en investigación agrícola, enfocándose en los siguientes puntos: la infraestructura institucional todavía no está montada; las instituciones para bioseguridad y derechos de propiedad intelectual están todavía en proceso de creación y en muchos de los lugares en los que ya están establecidas, sus

competencias para la aplicación de la ley resultan un problema, y el sistema de transferencia de la tecnología (pequeños mercados de semillas) es débil. Aún en el caso de aceptar que la mayor parte de las inversiones e innovaciones van a llegar del sector privado y estar sujetas a la protección de los derechos de propiedad intelectual, las instituciones de investigación del sector público seguirán siendo esenciales (i) para desarrollar e implementar estrategias de acceso a las tecnologías patentadas de importancia para el país (empresas conjuntas, licencias enmarcadas en acuerdos de segmentación de mercado, etc.); (ii) para garantizar las aplicaciones de las nuevas tecnologías de cara a una provisión más eficiente y eficaz de bienes privados (por ejemplo epidemiología y áreas relacionadas con la manejo y conservación de recursos naturales); y (iii) para que al sector privado le resulte más atractivo invertir en investigación en las áreas que, de otra manera, no atraerían suficientes inversiones debido al tamaño o riesgo del mercado. Casos como el girasol en Argentina, o los cultivos tropicales en general son un buen ejemplo del tipo de interacción necesaria. Esta es un área donde existe un amplio potencial para que los países de la región trabajen unidos en la definición de estrategias comunes para gestionar los fondos y la ejecución de investigaciones que en numerosas situaciones son de naturaleza transnacional.

El documento propone áreas específicas para el apoyo del Banco, tales como el desarrollo de capacidades de investigación, la creación de un entorno favorable para la bioseguridad, los derechos de propiedad intelectual, mejorar la información a la población (para asegurar una transferencia segura de productos desarrollados en el exterior y así como de aquellos desarrollados localmente para lo cual es crucial contar con buena información pública), e infraestructuras para la transferencia de la tecnología (no sólo mercados de semillas sino también la conservación de la identidad de los materiales genéticos). El BID tradicionalmente ha financiado el fortalecimiento de sistemas de investigación agrícola nacional e internacional a través de préstamos y donaciones y en la actualidad esta financiando algunas actividades de biotecnología agrícola en componentes de proyectos. Basado en las características de cada país, existe una amplia gama de oportunidades para continuar e incrementar el apoyo a nivel nacional. Además, debido a cuestiones de escala, podría haber un mayor impacto si se consideran las inversiones en biotecnología agrícola dentro del contexto de la integración regional de diversas acciones nacionales de investigación.



# I. Introducción

Los avances de la biotecnología agrícola, en parte impulsados por los avances de la biotecnología médica, están revolucionando el conocimiento de los mecanismos de crecimiento y producción de sustancias útiles en plantas y animales. Los mapas genéticos de las principales especies tienen ahora marcadores para muchos genes importantes. Se ha establecido la secuencia completa del genoma para algunas plantas.<sup>1</sup> Al mismo tiempo, la genómica funcional va identificando la función de los genes de las plantas. La investigación en genómica funcional está experimentando un rápido crecimiento y está siendo financiada en gran medida por las grandes empresas de insumos agroalimentarios que están contratando empresas especializadas en biotecnología médica así como nuevas empresas dentro de universidades para identificar la función de los genes. La genómica funcional también está siendo financiada por organismos gubernamentales como el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la Fundación Estadounidense para la Ciencia (National Science Foundation, NSF) en los Estados Unidos, y otros similares en Europa.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> La secuencia completa de la *Arabidopsis*, una maleza pequeña de la familia de la canola, fue publicada en noviembre de 2000, y el 26 de enero de 2001 Syngenta and Myriad Genetics anunció que había terminado de secuenciar el genoma del arroz. El genoma del maíz está sometido a intensos estudios.

<sup>2</sup> Es de interés para la región el reciente anuncio de un nuevo consorcio en el que participan The Institute for Genomic Research, el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) y diversos institutos de Australia, Bélgica, Brasil, República Checa, Francia, Antillas Francesas, Alemania, India, México, Nigeria, Reino Unido y los ESTADOS UNIDOS, quienes secuenciarán el genoma de la banana (la tercera planta que tendrá

Por otra parte, la capacidad de los científicos de transformar plantas utilizando la ingeniería genética ha generado un nuevo conjunto de adelantos. La primera inserción de genes de otra planta realizada con éxito se registró en 1983. Para el año 1990 ya se habían publicado informes sobre tabaco, algodón, soja y maíz transformados. Los métodos se han ido mejorando rápidamente, reduciéndose el costo de transformación. Actualmente, la transformación es económicamente accesible para muchas instituciones públicas y privadas de los países en vías de desarrollo.

Estos avances de la ciencia básica y del desarrollo de instrumentos biotecnológicos han resultado útiles para muchos científicos aplicados. Los productores de plantas pueden utilizar los marcadores moleculares para reducir el costo y aumentar el ritmo de producción de nuevas variedades. Ellos pueden utilizar el mapa completo de la *Arabidopsis* para localizar genes similares en la canola, el tabaco y la soja, o utilizar la información disponible sobre el genoma del arroz para encontrar genes útiles en plantas monocotiledóneas, entre las que se incluyen los principales cultivos de grano, la caña de azúcar y las orquídeas. Igualmente, ellos pueden utilizar las técnicas de transformación para añadir a los cultivos características con las que no cuentan en su genoma.

Los científicos que trabajan en los programas de control de plagas también pueden utilizar estos progresos de la biotecnología. Los químicos, que trabajan para desarrollar pesticidas más seguros y efi-

---

su genoma secuenciado) en los próximos cinco años.

caces, dispondrán de numerosos objetivos sobre los cuales probar sus productos químicos. Dichos productos procederán de la genómica funcional de plantas que deben ser protegidas y de los genomas de las plagas importantes de insectos y enfermedades. Los especialistas en manejo integrado de plagas contarán con nuevas herramientas para diagnóstico que podrán serles de gran utilidad.

Los notables avances en genética y genómica de la ganadería, así como la clonación animal, y un mejor entendimiento de la base molecular de la variación genética darán lugar a genotipos más productivos y resistentes a las enfermedades, vacunas y herramientas de diagnóstico para control de enfermedades. Además, la agrobiotecnología, junto con los importantes avances en informática, incluidos los sistemas de información geográfica, y las posibilidades de los sistemas computacionales, permiten el desarrollo de modelos y métodos que pueden afrontar las complejidades del componente ganadero en los sistemas agropecuarios, y la introducción de prácticas de aprovechamiento del suelo más sostenibles.

La biotecnología moderna basada en la biología molecular está fortaleciendo la capacidad de cambiar la estructura genética de los cultivos y el ganado. Estos progresos de la ciencia están empezando a vislumbrarse como tecnologías útiles para los agricultores y ganaderos de América Latina. Hasta la fecha, sin embargo, la biotecnología ha tenido muy poco efecto en los productores y consumidores de la región, aparte de ofrecer algunos beneficios derivados del uso de soja resistente a los herbicidas en Argentina y Brasil, y cultivos resistentes a insectos en Argentina y México.

A pesar del potencial con el que cuenta la biotecnología, todavía quedan muchas interrogantes por ser resueltas como lo son la bioseguridad y la seguridad de alimentos, bioéticas, y el acceso a derechos de propiedad científica para el beneficio de los pobres.<sup>3</sup> Aunque, el desarrollo de la biotecnología descansa en la capacidad científica y el nivel de comercialización de la agricultura en cada país, todos los países enfrentan el desafío de desarrollar capacidades de investigación en el sector público así como esquemas de regulaciones apropiadas para el acceso a nuevos conocimientos. Si este potencial es alcanzado, las alianzas regionales e internacionales así como las asociaciones público-privadas van a resultar muy importantes (Byerlee et al. 2002).<sup>4</sup>

La biotecnología es una herramienta importante para la investigación agrícola, mientras que los derechos de propiedad intelectual y las normativas sobre bioseguridad comienzan a influir en la manejo de la investigación agrícola en la región. A efectos de este informe, se considera que la biotecnología, en términos generales, engloba aquellas aplicaciones para la agricultura que están basadas en los crecientes conocimientos que tenemos sobre el código genético de la vida (National Academy Press 2000).

---

<sup>3</sup> En el Informe sobre Desarrollo Humano de las Naciones Unidas (2001) se hace énfasis en cómo las nuevas tecnologías agrícolas contribuyen al desarrollo humano, y como los países en vías de desarrollo pueden alcanzar altos beneficios de la aplicación de estas nuevas técnicas a medida que enfrentan retos en el manejo de riesgos.

<sup>4</sup> Ver Echeverría (1998) para una revisión de asuntos de políticas de investigación agrícola en América Latina; y Byerlee y Echeverría (2002) para un análisis del financiamiento y organización de la investigación agrícola en un contexto de creciente privatización incluyendo asociaciones público-privadas en la conducción de investigaciones.

El amplio espectro de descubrimientos se divide en tres grupos de tecnologías: (i) herramientas moleculares para el fitomejoramiento, incluyendo técnicas específicas tales como la selección asistida por marcadores; (ii) descubrimientos sobre el ADN recombinante (ADNr) que conducen a la creación de variedades de cultivos transgénicos u organismos modificados genéticamente (OMG)<sup>5</sup>; y (iii) técnicas de diagnóstico (Ver Recuadro 1).

El debate sobre el uso de la biotecnología, particularmente sobre el uso de OMG, se ha polarizado entre los participantes catalogados con frecuencia en el discurso como “pro” o “anti” OMG. La perspectiva anti OMG hace hincapié en los riesgos potenciales para la salud y el medio ambiente y la concentración de productos en manos de unas cuantas firmas multinacionales. Los argumentos a favor del uso de OMG radican en el potencial que tienen las innovaciones biotecnológicas para ayudar a satisfacer las futuras necesidades alimenticias, reducir el uso de pesticidas peligrosos, y seguir proporcionando los beneficios económicos que la investigación agrícola ha supuesto para los agricultores y consumidores en las últimas décadas.

---

<sup>5</sup> En este documento, OMG se define como un organismo (vegetal, animal, microorganismo) en el cual se ha introducido e incorporado de manera estable en el genoma un segmento de ácido nucleico mediante un proceso deliberado y con el propósito de obtener un fenotipo definido; la introducción se lleva a cabo de una manera en la que el ácido nucleico no podría haber sido adquirido por el organismo a través de mutaciones, recombinaciones u otros fenómenos de transferencia genética reconocidos como mecanismos que operan en la naturaleza sin la intervención humana.

### **Recuadro 1: Definiciones de biotecnología y de sus componentes**

Biotecnología es cualquier técnica que utilice organismos vivos o sustancias derivadas de dichos organismos para crear o modificar un producto, mejorar plantas o animales, o desarrollar microorganismos para usos específicos. La biotecnología moderna se refiere a las aplicaciones de los nuevos desarrollos en tecnología de ADN recombinante, técnicas avanzadas de cultivo de células y tejidos e inmunología moderna.

Los componentes clave de la biotecnología moderna son:

- *Genómica*: caracterización molecular de todas las especies;
- *Bioinformática*: estructuración de los datos extraídos del análisis genómico en formatos accesibles;
- *Transformación*: introducción de genes simples que confieren rasgos potencialmente útiles a especies de plantas, ganado, peces y árboles que pasan entonces a denominarse organismos transgénicos o modificados genéticamente;
- *Mejora molecular*: identificación y evaluación de rasgos deseables por medio de programas de mejora que utilizan la selección asistida por marcadores;
- *Diagnóstico*: uso de la caracterización molecular para proporcionar identificaciones más precisas y rápidas de patógenos;
- *Tecnología de vacunas*: uso de la inmunología moderna para desarrollar vacunas a partir del ADN recombinante que mejoran el control de enfermedades letales.

El papel de la investigación biotecnológica es de interés para muchas agencias nacionales e internacionales. Para preparar este informe se han extraído datos de los informes recientemente publicados por el Banco Mundial (1999), el Banco Asiático de Desarrollo (2000), el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR 2000), y otros. Este estudio complementa la Estrategia de Desarrollo de la Agricultura del Banco (BID 2000), la cual subraya la necesidad de reforzar las inversiones en investigación agrícola por parte de los sectores públicos y privados, así como el manejo de los recursos para la investigación a nivel nacional y regional.

El objetivo de este informe es evaluar el potencial de la investigación biotecnológica para transferir beneficios a consumidores y productores de alimentos en la región, a fin de servir de orientación a programas de inversión para el desarrollo de la biotecnología agrícola. El enfoque del informe se centra en plantas y aporta pocos datos sobre la capacidad, los extraordinarios desafíos y las perspectivas de la biotecnología para contribuir a la investigación ganadera. Esto es así, en parte, porque creemos que las aplicaciones

de la biotecnología a la investigación animal son más inciertas que en el caso de los vegetales, y todavía tiene que pasar un tiempo antes de que se produzcan sus efectos. Pero también se debe a que con la limitación de recursos de este estudio, fue imposible cubrir las aplicaciones animales con la misma profundidad que las vegetales.

El estudio incluye sugerencias sobre biotecnología agrícola en programas financiados por el BID. Se discuten cuestiones tales como: ¿Cuáles son los problemas y las oportunidades de la biotecnología para desarrollar la agricultura en ALC? ¿De qué manera influye la tendencia a la privatización de la investigación agrícola en ALC a las acciones del Banco en relación con los préstamos para biotecnología? ¿Cuáles son las implicaciones de la biotecnología para los organismos públicos de investigación, incluyendo los aspectos del financiamiento regional de la investigación? ¿Puede la biotecnología contribuir a la reducción de la pobreza, a la protección del medio ambiente y a la seguridad alimentaria? ¿Qué debería enfatizar el BID en materia de préstamos para reforzar la investigación biotecnológica?

## II. Población, pobreza, productividad y biotecnología

Para el año 2025, se espera que la población del mundo supere los 8.000 millones, a un ritmo de algo más de 800 millones cada década. Si se hace una simple proyección sólo basada en el aumento de población, la producción mundial de cereales debe aumentar de las 1.920 millones de toneladas necesarias en 1990 hasta unas 2.680 millones en 2025 para equiparar esa demanda (Dyson 1999). En los próximos 50 años aproximadamente, el desafío no sólo será alimentar a más gente, sino también hacerlo teniendo en cuenta que:

- Habrá menos tierra cultivable disponible, debido a la erosión, deforestación y creciente urbanización.
- Serán menos los recursos disponibles, en particular los no renovables como el fósforo y el potasio, haciéndose necesarias las tecnologías para reducir al mínimo la extracción y proporcionar sostenibilidad a largo plazo.
- Habrá menos agua, y la calidad de la restante será menor conforme aumenta la demanda.
- La tasa de crecimiento de la producción de cereales tanto en los países en vías de desarrollo como en los desarrollados está disminuyendo en comparación con las producciones registradas durante los años setenta, en parte debido al escaso uso de insumos y a la caída de los precios de los cereales, pero también como resultado de que los potenciales de productividad de varios de los principales alimentos básicos están cerca de alcanzar su límite genético (Pinstrup-Andersen et al. 1999).

- Serán menos las personas que se dediquen a la agricultura primaria tanto en los países en vías de desarrollo como en los desarrollados (Kishore y Shewmaker 1999).
- La demanda de productos cárnicos y lácteos será más del doble durante las próximas dos décadas en los países en desarrollo.

La proyección de la demanda de alimentos antes mencionada asume que se mantiene el consumo a los niveles de ingresos actuales, donde más de 1.000 millones de personas sobreviven con menos de \$1 por día (Banco Mundial 1999). La tarea que queda por delante aumenta aún más si mejoran los niveles de pobreza mundial y con ello aumenta la demanda de alimentos. Para el año 2025, la población de ALC crecerá a 690 millones, y el consumo de cereales aumentará de 117 millones de toneladas métricas en 1990 a 183 millones basándose sólo en el aumento de población. Si los ingresos también aumentan se espera que el consumo de cereales incremente a 218 millones de toneladas métricas. La combinación del crecimiento de la población con los cambios en la dieta y una mayor urbanización, aumentará la demanda de alimentos de origen animal. Se espera que la demanda de productos cárnicos y lácteos aumente en 2,8% y 3,3% al año respectivamente. También se espera que las proyecciones de la demanda y consumo total de res, aves, cerdo y leche se dupliquen (en promedio), con un aumento correspondiente de las necesidades de alimentos en grano. La carne de res producida en base a pasturas seguirá siendo la más consumida en ALC (Pinstrup-Andersen y Babinard 2001).

La pobreza es un problema crítico en ALC. Los pobres representan más de 50% de la población, habiendo aumentado de 136 millones de personas en 1980 a 211 millones en 1999 (CEPAL 2001).<sup>6</sup> Por razones éticas, políticas y prácticas, la lucha contra la pobreza debe ser una prioridad en toda estrategia de desarrollo. Dada su contribución de recursos naturales y la importancia de la agricultura en la mayoría de las economías de la región, el desarrollo agrícola no es sólo un prerrequisito para el crecimiento económico, sino que además está llamado a jugar un importante papel en la futura evolución de la seguridad alimentaria global. La biotecnología tiene potencial para mejorar la competitividad de la producción agrícola regional en los mercados mundiales, así como para reducir la incidencia de la pobreza, tanto urbana como rural, ya que las condiciones de nutrición y los ingresos de los sectores pobres de la población dependen en gran medida de la eficiencia de la producción de los cultivos de alimentos básicos.

Es de esperar que la biotecnología mejore la estabilidad y el potencial de la producción tanto en cultivos de clima templado como tropical.<sup>7</sup> Asimismo se espera que mejore el valor nutritivo de los cultivos alimenticios. La biotecnología también puede ampliar los usos potenciales de los productos y procesos agroalimentarios, aumentando por tanto el empleo y los in-

<sup>6</sup> A pesar de que la gran mayoría de la población pobre se encuentra en los centros urbanos; la pobreza, en términos relativos, continua siendo un fenómeno rural en la región ya que más de la mitad de los hogares rurales viven en pobreza y cerca de un tercio de estos viven en condiciones de extrema pobreza (Echeverría 2000).

<sup>7</sup> Anderson et al. (2001) reportaron un potencial significativo en el bienestar económico debido a las ganancias de la adopción de tecnologías de OMG (semillas oleaginosas y cereales) en América Latina.

gresos. Entre los beneficios específicos podrían incluirse los siguientes (Banco Asiático de Desarrollo 2000):

- Aumento de la productividad, es decir, mayor producción de alimentos sin necesidad de aumentar el área de tierra cultivada, y por tanto reducir la presión de expansión de las áreas de cultivo sobre áreas forestales y marginales.
- Mejora de la calidad de los cultivos y de su valor nutritivo, incluyendo el enriquecimiento del contenido vitamínico y de micronutrientes de los cereales, lo cual beneficia a los consumidores con dietas pobres y limitadas y quienes no pueden permitirse comprar suplementos vitamínicos y micronutrientes.
- Aumento de la resistencia a enfermedades y plagas y mejora de los esfuerzos en el manejo integrado de plagas, con la consiguiente reducción del uso de pesticidas tóxicos.
- Mayor tolerancia de las variedades existentes con alto rendimiento a sequías, inundaciones, salinidad, metales pesados, y otros riesgos bióticos y abióticos, que pueden estabilizar y mejorar el rendimiento de los productos cultivados en zonas húmedas.
- Aumento de la productividad y calidad de los animales de granja y reducción del impacto ambiental por la mayor industrialización de los productos animales.
- Mayor desarrollo de vacunas y diagnóstico de enfermedades para la ganadería y la acuicultura.
- Uso de sustancias no comestibles de los cultivos alimenticios para elaborar productos medicinales, alcohol de combustión y carburante industrial.

Sin embargo, es necesario hacer una advertencia. No hay duda acerca del potencial de las nuevas tecnologías. Gracias a ellas la investigación se está adentrando en territorios hasta ahora inexplorados, haciendo posible lo que tan sólo hace unos años atrás se consideraba como imposible, eliminando las barreras entre especies y expandiendo las fronteras de la producción. Además, ellas cuentan con una amplia cobertura que abarca todos los cultivos, la silvicultura, la ganadería y la acuicultura, tanto en los ecosistemas más pobres como en los mejor dotados. El potencial está ahí, pero siguen habiendo interrogaciones serias con relación a las estrategias adecuadas para desarrollar ese potencial teniendo en cuenta las limitaciones humanas, financieras e institucionales de la región.

La biotecnología agrícola comprende un conjunto de herramientas que, una vez incorporadas al proceso de investigación y desarrollo (I+D) agrícola, puede mejorar la eficiencia y eficacia de la I+D para la creación de nuevas tecnologías. En su fase actual de desarrollo, la biotecnología puede mejorar y complementar, pero no reemplazar, las estrategias convencionales destinadas a la generación de tecnología. En consecuencia, cuando se trata de evaluar los posibles efectos, es importante hacerlo dentro del contexto de las inversiones y sistemas de investigación agrícola ya existentes, ya que estas siguen constituyendo el vínculo crucial para la transferencia de la tecnología.

Las contribuciones más importantes de la biotecnología probablemente se referirán a la expansión de la producción de algunos de los principales cultivos de la región sin incrementar la presión sobre los entornos frágiles. Es también probable que la biotecnología sea una importante conexión con las crecientes oportunidades

para la agroindustrialización que pueden surgir del aumento y diversificación de la producción. La importancia de esta contribución dependerá de la precisión de la producción alimentaria actual y de la proyección de la demanda, así como de la capacidad que tengan las estrategias de investigación convencional para generar las tecnologías necesarias para sostener la producción estimada de los cultivos.

La biotecnología puede ayudar a reducir la pobreza a través de diferentes caminos. Los habitantes pobres en las áreas urbanas se verán beneficiados por los bajos precios de los alimentos, como resultado de una mejor eficiencia en la producción de alimentos y, con el tiempo, en alimentos más saludables y nutritivos. Para los pobres en las áreas rurales, los beneficios se concentrarán en aquellos minifundistas de las zonas mejor dotadas quienes ya se encuentran en el mercado de insumos tecnológicos, y quienes ya se están beneficiando en cierta medida de las oportunidades de mejoras tecnológicas procedentes de fuentes convencionales. Asimismo, se obtendrán beneficios de las mejoras experimentadas con cultivos comerciales como el algodón, el cacao y el café, en los cuales también participan los pequeños agricultores.

También podrían producirse beneficios adicionales para los pobres rurales si la biotecnología fuera usada para mejorar las razas autóctonas y variedades de cultivos no comerciales utilizados por las comunidades rurales. Dichas mejoras se podrían traducir en variedades resistentes a insectos y enfermedades que ayudarían a disminuir las pérdidas en cultivos y plantas con mayor valor nutritivo. La mejora de estos cultivos debería, en principio, contribuir no sólo a aliviar la pobreza y fortalecer la salud, sino también a proporcionar herramientas e incentivos para

mantener una amplia base genética fomentando el uso de germoplasma autóctono.<sup>8</sup>

En resumen, una parte significativa de los pobres rurales, especialmente los sin tierra o los agricultores de subsistencia en tierras sin mucho potencial para la agricultura, podrían obtener pocos beneficios directos de la biotecnología excepto a través del efecto multiplicador de empleo producido por el aumento de la actividad en las zonas mejor dotadas.<sup>9</sup>

La magnitud de los beneficios derivados de la biotecnología dependerá de la cantidad de actividad investigadora que se dedique a la mejora de las características y condiciones de producción de los cultivos que se producen y de la consideración que se dé a las limitaciones ecológicas a las que se enfrentan. La experiencia adquirida hasta la fecha indica que las priorida-

des de la biotecnología han estado orientadas principalmente a la reducción de los costos de producción en las zonas agrícolas que ya tienen altos niveles de productividad, o bien a incrementar el valor añadido a sus productos finales con la mejora de su calidad o de otras características (Chrispeels 2000). De alguna manera, todo esto se ve como una evolución “natural” del ciclo de la inversión en I+D según el cual en las fases más tempranas del desarrollo se incorporan las áreas de mayor rendimiento y más adelante aquéllas con rendimientos inferiores o a más largo plazo. Está claro, sin embargo, que la dirección e intensidad de las inversiones públicas en biotecnología jugarán un papel crucial en cómo van a llegar los beneficios a los pequeños productores.

---

<sup>8</sup> En su estudio sobre el algodón mejorado biotecnológicamente en México, Traxler et al. (2001) encontraron que los pequeños agricultores (con fincas de unas 9 ha) conseguían ahorrar dinero y aumentar sus ingresos reduciendo el uso de pesticidas químicos en la lucha contra el gusano rosado del algodón. También hay ejemplos de pequeños agricultores en Colombia quienes han aprovechado los beneficios de materiales vegetativos producidos a través del cultivo de tejidos para ser usados en la reproducción de banana y yuca resistentes a enfermedades. Así también, pequeños agricultores comerciales del Nordeste de Brasil cosecharían mayores beneficios si la biotecnología pudiera desarrollar un método para controlar la enfermedad de la “escoba de bruja” en el cacao, la cual no ha podido ser controlada por la tecnología convencional.

<sup>9</sup> También podrían esperarse algunos beneficios de las tecnologías más simples como el cultivo de tejidos, que podría tener un efecto importante en los cultivos de subsistencia como el banano y la yuca. Sin embargo, para que esto ocurra, es necesario que nuevas tecnologías estén disponibles, y eso es todavía un importante obstáculo que queda por resolver tanto para las tecnologías tradicionales como para las nuevas.



### III. Medio ambiente, inocuidad de alimentos y aceptación del consumidor

No debe causar sorpresa que desde las fases más tempranas de desarrollo de la biotecnología haya habido inquietud y controversia sobre los riesgos potenciales para el medio ambiente y la salud de las personas. La naturaleza de la biotecnología altera las posibilidades tecnológicas, particularmente en el campo de la genética y, en algunos casos, genera nuevos dilemas éticos, muchos de los cuales todavía quedan por analizar y resolver por completo.<sup>10</sup>

En el contexto latinoamericano algunas de esas preocupaciones adquieren particular importancia. En primer lugar, de los ocho centros de origen de las especies de cultivo en el mundo, tres se encuentran dentro de la región. México y América Central son origen del maíz, la judía o frijol común, la judía o frijol lima, el chayote, la batata y el pimiento. De América del Sur surgieron las especies progenitoras de la papa, el cacahuete, el tomate, la calabaza, el pimiento, la yuca, la papaya, el cacao y la piña. Además, la concentración más abundante de biodiversidad animal y vegetal (cerca del 90% aproximadamente de las especies de la Tierra) se encuentra en la región, particularmente en los países andinos (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela). En consecuencia, no se pueden pasar por alto los temas relacionados con la liberación de

---

<sup>10</sup> Cuando hablamos de temas ambientales, inocuidad de alimentos y aceptación del consumidor, nos referimos principalmente a las técnicas de ingeniería genética y OMG, ya que el resto de las principales técnicas (cultivo de tejidos, diagnóstico y marcadores genéticos) no suscitan preocupaciones serias sobre la biodiversidad, el consumidor o las cuestiones éticas.

OMG en el medio ambiente. Un segundo conjunto de consideraciones está relacionado con la importancia de la agricultura y de la producción de alimentos para las economías de la región y con el impacto que pueden tener las cuestiones relacionadas con la bioseguridad en el comportamiento del consumidor y en la venta de exportaciones agrícolas de ALC en los mercados internacionales.

Una de las paradojas de las primeras experiencias con los OMG es que en medio de una persistente oposición por parte de los grupos ambientalistas, los OMG de primera generación han generado efectos medioambientales positivos significativos. La difusión del algodón biotecnológico (Bt) en México, China y los Estados Unidos ha supuesto importantes reducciones del uso de insecticidas.<sup>11</sup> En Argentina y los Estados Unidos el uso de variedades de soja tolerantes a los herbicidas ha permitido a los agricultores realizar menos labranza, y el uso de los herbicidas más tóxicos ha sido sustituido por la aplicación de glifosato que es ecológicamente benigno. Dada la gran cantidad de I+D que se está dedicando a la resistencia a insectos, virus y enfermedades, los futuros productos biotecnológicos tendrán un gran potencial para ofrecer

---

<sup>11</sup> La cantidad media de ingredientes activos en pesticidas en Coahuila, México cayó de 13,1 Kg/ha en los años ochenta a menos de 2 Kg/ha a finales de los noventa (Traxler et al. 2001). El uso de pesticida para algodón en China se ha reducido al menos en 15.000 millones de toneladas (Pray et al. 2001). En los Estados Unidos, se han aplicado al menos 5,3 millones de tratamientos pesticidas menos en cultivos de algodón (Gianessi y Carpenter 1999).

más beneficios ambientales gracias al menor uso de pesticidas.

### **Evaluación de riesgos**

Ya en 1987, la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS), llevó a cabo un estudio de la seguridad de las biotecnologías el cual concluye que “(i) no hay evidencias de que existan peligros singulares ni en el uso de técnicas de ADN<sub>r</sub> ni en el movimiento de genes entre organismos no relacionados entre sí; (ii) los riesgos asociados con la introducción de organismos creados por ADN<sub>r</sub> son de la misma índole que los riesgos asociados con la introducción de organismos no modificados y organismos modificados por otros métodos; (iii) la evaluación de los riesgos por introducir organismos creados por ADN<sub>r</sub> en el medio ambiente debería basarse en la naturaleza del organismo y en el entorno en el que se introduce, no en el método por el que se produjo.”

Estas conclusiones están respaldadas por la evidencia empírica. En el 2001 hubo más de 50 millones de ha plantadas con cultivos transgénicos con al menos 10 especies, un incremento de 20% sobre el total del año anterior (James 2001). No se han identificado problemas en el medio ambiente o en la salud asociados con su cultivación comercial o con su ingestión. Sin embargo, la preocupación persiste ya que la diversidad de genes que han sido manipulados aumenta al mismo ritmo que la facilidad con la que pueden ser insertados en las especies cultivadas.

En 2000 el Consejo Nacional de Investigación (NRC) de los Estados Unidos convocó a un comité oficial para realizar una revisión de la situación en general y en particular con respecto a las plantas modificadas genéticamente para ser pro-

tegidas contra las plagas. Basándose en los datos disponibles, el comité respaldó totalmente las averiguaciones del estudio de la NAS en 1987 y concluyó que “con una cuidadosa planificación y adecuada supervisión reguladora, no es de esperar que el cultivo comercial de las plantas modificadas genéticamente para ser protegidas contra las plagas pueda suponer mayor riesgo, e incluso es posible que menos, que otras técnicas químicas y biológicas habitualmente utilizadas en técnicas de manejo de plagas.” El comité también coincidió con el anterior informe en que las revisiones deberían concentrarse en las propiedades de un determinado OMG, y no en el proceso por el cual fue producido.

Más allá de la visión general, el comité del NRC se adentró en un análisis más detallado de las cuestiones que tienen que ver con la preocupación por la salud, las consideraciones ecológicas y los aspectos relacionados con los riesgos agronómicos de los cultivos resistentes a los virus. Con respecto a los riesgos potenciales para la salud, el comité se centró en los asuntos relacionados con el potencial alérgico de los OMG, y señaló que “no tenía constancia de prueba alguna de que fuera peligroso consumir los alimentos comercializados como resultado de la modificación genética.” De manera similar y con respecto a la toxicidad, reportó que “la información de los estudios equivalentes revisados indica que es probable que la proteína Bt expresada en las plantas no suponga riesgo para la salud humana.” Desde el punto de vista ecológico, el comité tomó en consideración los efectos en las especies ajenas al objetivo, los efectos del flujo de genes, y la evolución de las plantas resistentes a las plagas a plantas protegidas contra las plagas. En términos generales, el comité afirmó que “tanto los cultivos convencionales protegidos contra

las plagas como los transgénicos podrían tener efectos en las especies ajenas al objetivo, pero en general se considera que dichos posibles efectos son menores que los efectos de los insecticidas sintéticos de amplio espectro. Así pues, el uso de cultivos protegidos contra las plagas podría llevar a una mayor biodiversidad de los agroecosistemas en donde esto podría reemplazar el uso de dichos insecticidas.”

En el caso de los efectos producidos en los organismos ajenos al objetivo, se incluyen el de la ingestión de polen, el comité señaló que, aunque se han reportado efectos perjudiciales en cuanto a la alimentación de las larvas de la mariposa monarca, en dichos estudios no se ha documentado que haya habido un verdadero impacto negativo en las cifras de la densidad de la población de mariposas en su estado salvaje. Con respecto al flujo de genes, se llegó a la conclusión de que la dispersión de polen puede conducir al flujo de genes, pero que sólo trazos de los restos se dispersaban a más de 100 metros. Sin embargo, el comité descubrió que “la transferencia de rasgos de resistencia generados convencional o transgénicamente a especies relacionadas a malezas podría en principio potenciar los problemas de maleza, sin embargo no se han observado dichos problemas o estos no han sido estudiados adecuadamente.” Así pues, se recomendó seguir una serie de pasos para monitorear los efectos del polen Bt disperso sobre poblaciones de organismos ajenos al objetivo, y para evaluar el flujo de genes y sus posibles consecuencias con relación a la dispersión de genes resistentes a las plagas entre las poblaciones de malezas.

En relación con los riesgos agronómicos y los cultivos resistentes a virus, se tuvieron en cuenta una serie de riesgos cuando se estudió el uso de métodos plaguicidas

obtenidos por mediación transgénica contra virus. Entre las preocupaciones se encontraba el potencial de creación de nuevas cepas virales, de introducción de nuevas características de transmisión, o de cambios en la sensibilidad a los virus heterólogos. El comité averiguó “que es poco probable que los genes de resistencia derivados de virus, en su mayoría, presentan problemas fuera de lo común o difíciles de manejar distintos a los que se puedan encontrar asociados con aquellos cultivados tradicionalmente con resistencia a virus.”

### **Necesidad de investigación y desarrollo de capacidades**

El comité del NRC no ha encontrado evidencias de que los OMG puedan presentar riesgos significativamente diferentes a los de sus contrapartes convencionales (National Academy Press 2000). Sin embargo, el comité también ha advertido de la necesidad de seguir recopilando pruebas científicas (mejorando los protocolos de experimentación relacionada a las posibles implicaciones sobre la salud y la necesidad de llevar a cabo investigación de campo sobre la dinámica de los efectos biotecnológicos en organismos ajenos al objetivo), y de reforzar y aclarar las políticas y procesos reguladores. El comité también ha apelado para reducir los costos reglamentarios para las empresas de nueva creación, pequeñas y medianas empresas de semillas, y productores del sector público, ofreciendo flexibilidad en los datos exigidos, considerando exenciones de cuotas cuando sea posible, y ayudándoles a comprender los sistemas reguladores.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Otros estudios (Virginia Polytechnic Institute and State University 1999) han llegado a conclusiones similares sobre la seguridad en general de los OMG, pero también resaltan la constante necesidad de mejorar los datos científicos impres-

La cuestión de la bioseguridad también ha sido abordada a nivel internacional como parte de la Convención sobre la Diversidad Biológica, la cual ha establecido un Protocolo sobre Bioseguridad formal. De acuerdo con el Protocolo, todos los países signatarios se comprometen a poner en marcha las acciones necesarias para garantizar el uso seguro de estrategias biotecnológicas, especialmente cuando intervienen movimientos transfronterizos. Siguiendo como pauta general el principio de precaución, definido en el preámbulo del Convenio mediante la declaración de que “cuando exista una amenaza de reducción o pérdida sustancial de la diversidad biológica no debe alegarse la falta de pruebas científicas inequívocas como razón para aplazar las medidas encaminadas a evitar o reducir al mínimo esa amenaza.” Para abordar las implicaciones del principio de precaución, y reconocer las precarias capacidades institucionales y científicas de muchos países, el Protocolo también exige un esfuerzo importante de desarrollo de capacidades que ayude a los países miembros a cumplir con sus disposiciones (Biotechnology and Development Monitor 2000).

Una inquietud concreta formulada en todos los casos, es cómo aprovechar la enorme riqueza de información surgida a raíz de los numerosos ensayos que se han llevado a cabo, para empezar a evaluar cuáles serán las implicaciones a largo plazo en materia para el medio ambiente y la salud que los OMG pueden provocar, ya que “hasta que se disponga de mejores datos, será necesario confiar en los conocimientos generales sobre ecología y agricultura para predecir las consecuencias al nivel comercial y en escala, del

---

cindibles para sentar las bases de una estructura de evaluación de riesgos y un marco regulador en materia de bioseguridad.

flujo de genes de cultivos a silvestres por plantas protegidas contra las plagas” (National Academy Press 2000). Para conseguir esto, los responsables de formular políticas y reguladores se enfrentan a la necesidad de encontrar un equilibrio muy delicado ya que el desarrollo de la información necesaria supone una fuerte inversión de tiempo y dinero, y en cambio son pocos los recursos que para ello ofrecen los gobiernos o los productores comerciales.<sup>13</sup>

### **Normativa en materia de bioseguridad**

Conforme a las observaciones descritas anteriormente, los Estados Unidos y la mayoría de los países de la OCDE han desarrollado e implementado normativas en materia de bioseguridad y mecanismos de evaluación diseñados como medidas complementarias del proceso de desarrollo desde el laboratorio (directrices para la manipulación segura) y pasando por los ensayos de campo y a escala comercial. Cada una de las actividades encaminadas a una eventual liberación a escala comercial debe pasar por estos procesos así como por una evaluación de su seguridad

---

<sup>13</sup> Actualmente, los organismos competentes recopilan la información específicamente necesaria para satisfacer sus obligaciones de revisión y evaluación medioambiental. Los reguladores consideran seriamente antes de solicitar datos más exhaustivos o estudios a más largo plazo que no son oficialmente necesarios para completar sus revisiones. La limitación de los datos y de la información requerida ayuda a mantener bajos los costos de regulación (cuando es posible), reduce al mínimo los retrasos en la regulación y hace frente al hecho de que hay poca disponibilidad para cubrir los costos que suponen realizar pruebas más exhaustivas sobre la seguridad medioambiental y sanitaria. Por otra parte, mejorar la disponibilidad de información sobre todas las cuestiones y perspectivas relacionadas es un componente esencial para la transparencia que, a juicio de todo el mundo, es crucial en el desarrollo de una percepción pública positiva de las tecnologías.

para el consumo humano y animal.<sup>14</sup> En la mayoría de los casos, la responsabilidad de los procesos de evaluación ha sido encomendada a organismos de protección ambiental y seguridad alimentaria ya existentes. En general, hay un amplio consenso entre la comunidad científica sobre los siguientes puntos: (i) estos sistemas deben estar enfocados a la evaluación de riesgos potenciales para el medio ambiente y/o la salud asociados con la introducción de un determinado organismo en el medio ambiente y/o los alimentos; (ii) el proceso ha de estar basado en la naturaleza del organismo y del entorno en el que se introduce y no en el método por el que ha sido producido; y (iii) deben estar respaldados por un continuo acopio de investigaciones encaminadas a generar información básica para la mejora de los procesos y metodologías de evaluación de riesgos y a monitorear el comportamiento de los OMG después de su introducción en el medio ambiente. El proceso normal de autorización para la liberación de un cultivo se extiende a lo largo de cuatro a seis años, dependiendo de la complejidad de las cuestiones implicadas (grado de novedad de los rasgos y consideraciones ecológicas).

### **Aceptación del consumidor**

En una serie de países existe un porcentaje relativamente alto de la población que afirma considerar “negativa la tendencia hacia la biotecnología y la necesidad de estar mejor informados en la materia.” En Europa y Japón, donde la gente expresa mayor inquietud, son grandes los mercados de exportaciones de productos agroalimentarios de ALC cuya opinión puede tener efectos en el mercado. La lista de

---

<sup>14</sup> Para una descripción de los sistemas de los Estados Unidos y europeos, consultar la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD 2000).

países que exige el etiquetado de los alimentos producidos con medios biotecnológicos es cada vez mayor. Por lo tanto, el desarrollo de un sistema adecuado de identificación y segregación debe de considerarse como la piedra angular de toda política y estrategia nacional en materia de biotecnología. Un claro indicio de la importancia de esta cuestión se encuentra en el acuerdo alcanzado dentro del marco de la Convención sobre la Diversidad Biológica de exigir a partir de comienzos del año 2004 el etiquetado “puede contener” los OMG destinados al consumo humano o a la incorporación al medio ambiente.<sup>15</sup>

La disponibilidad de los consumidores a aceptar productos alimenticios que contengan cereales modificados genéticamente es una cuestión que preocupa a países como Brasil, Argentina y Paraguay que exportan una parte significativa de su producción de maíz y soja. En la Unión Europea son varias las cadenas de productos alimenticios que se han negado a comercializar productos alimenticios derivados de OMG, lo cual ha hecho temer que se perdieran los mercados de exportación o que se aplicaran descuentos a los cereales exportados de países que producen OMG. Brasil, hasta el momento, ha frenado la aprobación de los permisos para plantar o sembrar cultivos que contengan OMG, en parte en un intento de situarse como proveedor de soja libre de OMG. No obstante, en la actualidad la

---

<sup>15</sup> La Unión Europea ha establecido una política de etiquetado vinculante relativa a los OMG. Brasil, Japón, Corea del Sur, Australia y Nueva Zelanda han aprobado normativas internas de etiquetado que todavía no han entrado en vigor, mientras que Canadá y Argentina están estudiando las implicaciones que supondrían la introducción de dichas políticas. La normativa de los Estados Unidos obliga al etiquetado solamente en los casos en los que los productos no son equivalentes a sus contrapartes convencionales.

mayoría de los consumidores están dispuestos a consumir alimentos con OMG y es rara la diferencia en precios entre el maíz y la soja modificados genéticamente y sus contrapartes convencionales. (Hartke 2001). Parece que esto va a seguir siendo así siempre que los consumidores estén dispuestos a consumir productos cárnicos procedentes de animales alimentados con piensos de soja o maíz modificados genéticamente.

Está claro que existe una necesidad por información imparcial basada en hechos; así como es necesario tomar en cuenta las percepciones e intereses que los países en vías de desarrollo pueden tener sobre la biotecnología agrícola.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Ver “Biotechnology and Food: Voices from a Southern Perspective” (Biotechnology and Development Monitor 2001).

## IV. Situación de la investigación en biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe

Aunque no se dispone de datos exhaustivos sobre los recursos institucionales, humanos y financieros invertidos en actividades biotecnológicas, es posible dibujar un panorama de la situación a partir de una serie de fuentes. Un estudio reciente del Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR 2001) comisionado como el documento base para este estudio (Cuadro 1) ofrece un mapa institucional con algunas mediciones de la capacidad investigadora disponible. El estudio del ISNAR abarcaba unas 292 instituciones de 13 países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Jamaica, Paraguay, Perú, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.<sup>17</sup>

Las respuestas recibidas de Argentina, Brasil, Chile y Colombia representan 76% del total, lo cual indica la importancia relativa de las comunidades de biotecnología en estos países en relación con otros países del grupo sondeado. La mayoría de la I+D en biotecnología agrícola se lleva a cabo en universidades públicas (44%), seguido de los centros públicos de I+D (26%) y las compañías privadas (20%). Esto coincide con las cifras aportadas por otros autores y estudios anteriores (IICA 1992 y 1993, Jaffé e Infante

1996, FAO 1998, Trigo 2000). La distribución institucional de la investigación en biotecnología agrícola es muy diferente a los otros tipos de investigación agrícola en América Latina, ya que esta última se concentra en centros públicos de I+D y es poca la que se lleva a cabo en universidades y empresas privadas (Echeverría et al. 1996).

La distribución institucional de uno de los tipos de investigación biotecnológica más aplicada (ensayos de campo de variedades modificadas genéticamente) está dominada por el sector privado, en particular por las empresas multinacionales de insumos. El 75% de los ensayos de México, Argentina y Brasil han sido llevados a cabo por compañías multinacionales (Cuadro 2). En algunos países, y particularmente en México, las empresas de insumos locales juegan un papel principal. La empresa mexicana SAVIA, propietaria de la empresa de semillas vegetales Seminis y de la empresa biotecnológica DNAP de los Estados Unidos, tiene actividad en una serie de países de América Latina. Las empresas papeleras y de procesado de alimentos (por ejemplo la industria azucarera) locales también juegan su papel, particularmente en Brasil. El papel del gobierno es menor en Argentina y Brasil y mayor en México. En términos de la región en su conjunto, los organismos públicos llevaron a cabo tan sólo el nueve por ciento de los ensayos, una proporción similar a la del sector público en los ensayos estadounidenses.

---

<sup>17</sup> Entre las fuentes utilizadas para identificar las instituciones se encuentran los más confiables directorios biotecnológicos disponibles al nivel nacional y regional, como ser REDBIO-FAO (todos los países), CamBioTec (Argentina, Chile, Colombia, Cuba), Foro Argentino de Biotecnología (Argentina), Fundação Osvaldo Cruz y EMBRAPA (Brasil), INIA (Chile), Colciencias (Colombia), y BioMundi (Cuba). Ochenta y cinco organizaciones respondieron al cuestionario.

**Cuadro 1**  
**Número de organizaciones de investigación dentro del estudio del ISNAR, 2002**

País	Lab. Centro público I+D	Lab. Univ. pública	Lab. Univ. privada	Empresa privada	Centro internacional	Total
Argentina	5	10	-	2	-	17 (41)
Brasil	4	13	-	1	-	18 (68)
Chile	4	3	1	1	-	9 (31)
Colombia	3	4	3	10	1	21 (45)
Costa Rica	1	1	-	1	1	4 (13)
Ecuador	1	2	-	-	-	3 (25)
Guatemala	-	-	1	1	-	2 (10)
Jamaica	-	-	-	-	-	- (2)
Paraguay	-	1	-	-	-	1 (16)
Perú	1	-	-	1	1	3 (21)
Trinidad y Tobago	-	-	-	-	-	- (3)
Uruguay	-	-	-	-	-	- (7)
Venezuela	3	3	-	-	1	7 (20)
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>37</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>85 (292)</b>

\* Las cifras entre paréntesis indican el número de cuestionarios enviados a cada país  
Fuente: ISNAR 2001.

**Cuadro 2**  
**Ensayos de campo de OMG por tipo de institución en 3 grandes sistemas nacionales de investigación agrícola de Latinoamérica, 2000**

	Argentina		Brasil		México		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Empresas de insumos agric. de EE.UU. /Europa	247	78	77	52	193	87	517	75
Empresas de insumos agric. de América Latina	55	17	34	23	0	0	89	13
Empresas papeleras y de alimentos	0	0	7	5	9	4	16	2
Institutos estatales o universidades	14	4	29	20	20	9	63	9

Fuente: Los autores en base a datos de los Comités de bioseguridad de cada país.

Aunque las inversiones en investigación biotecnológica son insignificantes en América Latina comparadas con la magnitud de la inversión que ha respaldado hasta la fecha el desarrollo de productos en biotecnología en otros países, cuando

se miden según los estándares de la inversión en investigación agrícola de ALC, hay una cantidad importante de fondos y recursos humanos dedicados a la investigación. El Cuadro 3 muestra los cálculos de gasto y número de científicos por país,



**Cuadro 3**  
**Recursos humanos y financieros para la I+D en biotecnología,**  
**en algunos países de América Latina, 1999**

País (N. de respuestas)	Recurso financieros 1999 (US\$)*		Número de científicos			
	Total del país	Media por instituto	Docto- rados	Maes- trías	Licen- ciados	Total
Argentina (13)	2.945.000	226.538	56	57	144	257
Brasil (16)	3.363.255	210.203	150	102	183	435
Chile (7)	2.154.716	307.817	35	22	36	93
Colombia (17)	5.808.614	263.038	44	55	152	251
Costa Rica (4)	453.245	113.311	8	9	12	29
Ecuador (2)	160.000	80.000	1	2	6	9
Guatemala (2)	55.600	27.800	1	3	6	10
México (1997)			127	49	62	238
Perú (3)	1.496.338	13.169	10	5	19	34
Venezuela (6)	214.475	35.746	18	11	13	42
<b>TOTAL</b>	<b>16.651.243</b>		<b>323</b>	<b>268</b>	<b>571</b>	<b>1.398</b>

Tipo de cambio de 29 de diciembre de 1999

Fuentes: ISNAR (2001), y Falconi (1999) en el caso de México.

realizados por el ISNAR.<sup>18</sup> El gasto más elevado corresponde a Colombia, debido a que esa cifra recoge en parte la actividad del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), que invirtió 1,6 millones de dólares en 1999. Le siguen Brasil, Argentina, Chile, y Perú. La posición de este último se explica por la contribución de otra organización internacional, el Centro Internacional de la Papa (CIP), que invirtió 1,5 millones de dólares (98% del total de la inversión del país). México, también está haciendo fuertes inversiones

en biotecnología, de la magnitud de las realizadas en Brasil y Argentina (Falconi 1999).

Asimismo, el Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y del Trigo (CIMMYT) invierte unos 3 millones de dólares al año en biotecnología. Dos pequeños países que cuentan con sustanciales inversiones en biotecnología son Costa Rica (al menos 500,000 dólares al año) y Cuba (no se dispone de datos).

El mayor número de científicos se encuentra en Brasil, seguido de Argentina, Colombia y México. Es importante observar que Brasil tiene la cifra más alta de doctorados y de maestrías. México tiene el número y proporción más altos de doctorados. En Argentina, los doctorados y las maestrías representan 40% de todos los científicos del país. Aunque el número de respuestas ha sido limitado, en otros países el nivel académico concuerda con el nivel global de desarrollo científico de países como Costa Rica, Perú y Venezuela, siendo bastante bajo en Ecuador y

<sup>18</sup> Los gastos son una estimación conservadora del gasto en investigación biotecnológica porque una serie de institutos no proporcionaron los datos de su gasto y es posible que no incluyeran todos los costos de investigación. Por ejemplo, Avila et al. (2001) indican que sólo EMBRAPA (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria) gastó en el año 2000 unos 14 millones de dólares en investigación biotecnológica. En contraste con los 3,4 millones de dólares de gasto en Brasil que aparecen en el estudio del ISNAR. Además, la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP) gastó al menos 15 millones de dólares en tres años para investigación en biotecnología agrícola.

Guatemala donde los licenciados suman 60% del número total de científicos implicados en I+D en biotecnología.

El Cuadro 4 muestra las respuestas al estudio sobre las capacidades técnicas existentes en los distintos países de la región. Las técnicas de biología celular aparecen como las más utilizadas por los grupos de investigación de todos los países: usadas 259 veces (29,2%) según los datos aportados, seguida de las técnicas de marcado genético con 239 veces (26,9%), a continuación las técnicas diagnósticas con 176 veces (19,8%), técnicas de ingeniería genética con 124 veces (14%) y por último las técnicas microbianas con 90 veces (10,1%). No debe sorprender que las técnicas de biología celular, que generalmente requieren niveles inferiores de inversión y menos capital humano, sean las más utilizadas mientras que las técnicas de ingeniería genética sean unas de las menos empleadas. Lo que sí sorprende es que el uso de marcadores moleculares esté casi tan extendido como las técnicas de biología celular.

De acuerdo con el Cuadro 5, la investigación biotecnológica prestó mayor atención a las limitaciones de la producción vegetal (27%), seguidas de los recursos genéticos (25%) y la sanidad vegetal (25%). El interés combinado por la producción y sanidad animal (16%) también refleja la importancia de la ganadería en la mayoría de los países de la región. El interés por las aplicaciones farmacéuticas y de producción alimentaria (5%) y por las aplicaciones energéticas y de otro tipo de industrias (2%) muestra que existe una incipiente demanda industrial de innovación, calidad y competitividad en algunas economías de América Latina.

La distribución relativa de las especies de cultivo / ganado como objeto de investi-

gación demuestra una distribución de intereses amplia y uniforme, empezando por los árboles frutales y especies forestales con 20% y terminando con otros animales y microorganismos con 5%. El Cuadro 6 muestra que la comunidad investigadora de América Latina está sometiendo a estudio casi todos los tipos de cultivos y especies de ganado de acuerdo con las necesidades particulares de cada una de las economías de los distintos países. Sin embargo, cada país está representado en prácticamente todas las categorías, habiendo quizás cierta especialización regional hacia el trigo y los cereales en los países del Cono Sur y hacia la papa, las raíces y los tubérculos en los países andinos y tropicales. Argentina concentra sus esfuerzos en los cereales y semillas oleaginosas, en la raza bovina y en otro tipo de ganado (57% de las respuestas); Brasil hace más hincapié en la horticultura, las legumbres, la raza bovina y otros tipos de ganado (63%); en Chile la horticultura, legumbres, bayas, frutas y silvicultura representan 57% de todos sus esfuerzos, y en Colombia hay una distribución mucho más amplia y uniforme excepto en la gran importancia concedida a los cultivos industriales (23%).

Cuadro 4

## Herramientas biotecnológicas aplicadas en una selección de países de América Latina y el Caribe

Nº	Técnica utilizada	País													Total
		AR	BR	CH	CO	CR	EC	GU	JA	PA	PE	TR	UR	VE	
<b>Técnicas de biología celular</b>															<b>259</b>
1	Micropropagación	13	9	13	39	8	5	3	-	2	11	-	-	11	114
2	Cultivo de anteras	3	2	3	9	-	1	-	-	-	1	-	-	2	21
3	Rescate de embriones	4	1	4	6	1	-	-	-	-	-	-	-	3	19
4	Fusión de protoplastos	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
5	Conservación e intercambio de germoplasma in vitro	5	3	3	14	4	2	-	-	-	1	-	-	10	42
6	Inseminación in vitro	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
7	Manipulación e intercambio de embriones	3	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	11
8	Clonación de células animales	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
9	Otras – biología celular	3	3	5	21	3	1	-	-	-	-	-	-	6	42
<b>Técnicas de ingeniería genética</b>															<b>124</b>
10	Técnicas mediadas por Agrobacterium	11	12	6	7	4	-	-	-	-	7	-	-	4	51
11	Bombardeo con microproyectiles (biobalística)	4	11	7	6	3	1	-	-	-	-	-	-	5	37
12	Electroporación	-	7	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	4	14
13	Microinyección	-	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
14	Otra ingeniería genética	7	5	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	17
<b>Técnicas de marcadores genéticos</b>															<b>239</b>
15	RFLP	7	9	3	10	-	2	-	-	-	2	-	-	2	35
16	RAPD	15	24	11	14	2	6	-	-	-	4	-	-	5	81
17	Marcadores microsatélite	13	10	8	12	3	1	-	-	-	4	-	-	-	51
18	AFLP	13	6	7	8	1	1	-	-	-	4	-	-	-	40
19	Otras	6	9	10	4	-	1	-	-	-	-	-	-	2	32
<b>Técnicas diagnósticas</b>															<b>176</b>
20	ELISA	6	12	3	13	-	2	-	-	2	2	-	-	3	43
21	Anticuerpos monoclonales	1	5	2	4	-	1	-	-	2	1	-	-	1	17
22	Sondas de ácido nucleico	1	5	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	4	13
23	PCR	10	29	12	11	-	1	-	-	-	1	-	-	4	68
24	Otras	-	5	5	20	2	2	-	-	-	-	-	-	1	35
<b>Técnicas microbianas</b>															<b>90</b>
25	Formulación de agentes de control biológico	1	3	2	7	-	-	5	-	-	-	-	-	-	18
26	Formulación de fertilizantes biológicos	2	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7
27	Fermentación, procesado de alimentos	2	4	-	17	-	1	-	-	-	-	-	-	-	24
28	Hormonas de crecimiento animal	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
29	Manipulación del rumen	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
30	Diseño de vacunas	5	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
31	Otras – microbiología	6	1	2	17	2	1	-	-	-	-	-	-	1	30
<b>TOTAL</b>		<b>143</b>	<b>195</b>	<b>110</b>	<b>252</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>39</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>71</b>	<b>888</b>

Fuente: ISNAR (2001).

**Cuadro 5**  
**Limitaciones de producción a las que se dedica la investigación biotecnológica**  
**en América Latina y el Caribe**

País	Limitación de producción o necesidad *								Total
	PV	SV	PA	SA	RG	AF	GE	OT	
Argentina	26	20	10	23	22	-	1	-	102
Brasil	16	30	15	2	23	8	2	3	99
Chile	20	15	3	4	24	1	-	4	71
Colombia	39	35	4	14	21	10	-	4	127
Costa Rica	12	-	-	-	14	2	-	-	28
Ecuador	2	3	3	2	9	-	-	1	20
Guatemala	2	5	-	-	-	2	-	-	9
Jamaica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paraguay	2	1	-	-	-	-	-	-	3
Perú	7	8	-	-	2	1	-	-	18
Trinidad y Tobago	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uruguay	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Venezuela	12	9	-	-	9	-	-	-	30
<b>TOTAL</b>	<b>138</b>	<b>126</b>	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>124</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>507</b>

Nota: **PV** = Producción Vegetal (cultivo de plantas, clonación, productividad, estrés abiótico, otros); **SV** = Sanidad Vegetal (protección, enfermedades, diagnóstico, otros); **PA** = Producción animal (reproducción, productividad, otros); **SA** = Sanidad animal (protección, enfermedades, vacunas, diagnóstico, otros); **RG** = Recurso genéticos (caracterización, variabilidad, selección, conservación); **AF** = Necesidades alimentarias y farmacéuticas (calidad nutricional, alimentos funcionales, fármacos, enzimas); **GE** = Genómica; **OT** = Otras (fines industriales/energéticos, otros)

Fuente: ISNAR, 2001.

### Capacidades de la investigación en el fitomejoramiento convencional

En el desarrollo de una nueva variedad intervienen muchos pasos, desde la recolección de razas autóctonas no mejoradas y especies silvestres, pasando por el almacenamiento y caracterización del germoplasma, creación y cruce de líneas avanzadas, prueba de líneas avanzadas en áreas donde se van a liberar, hasta llegar

por último, a la propia liberación de las variedades adaptadas. La mejora de los recursos genéticos es un proceso continuo. El desarrollo de una variedad completa toma unos veinte años o más. Resulta difícil captar e incluso cuantificar los beneficios producidos en cualquier punto de la investigación previa al último paso de liberación y distribución de una variedad comercial.

**Cuadro 6**  
**Orientación de la investigación biotecnológica en ALC, 2000**

País	Tipos de Cultivos / Ganado x Veces*									Total
	TR	PA	HO	FF	PM	CI	GA	OG	OA	
Argentina	25	10	16	13	6	3	27	18	5	123
Brasil	13	10	37	14	6	5	13	19	7	124
Chile	11	6	18	29	8	1	6	2	2	83
Colombia	14	23	31	39	13	42	15	12	9	198
Costa Rica	-	7	3	9	8	5	-	-	3	35
Ecuador	1	13	-	2	2	-	-	-	9	27
Guatemala	1	-	5	-	2	1	-	-	3	12
Jamaica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paraguay	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3
Perú	-	11	9	12	-	1	-	-	-	33
Trinidad y Tobago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uruguay	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Venezuela	7	9	4	18	14	14	-	-	-	66
<b>TOTAL</b>	<b>72</b>	<b>89</b>	<b>123</b>	<b>139</b>	<b>59</b>	<b>72</b>	<b>61</b>	<b>51</b>	<b>38</b>	<b>704</b>

Nota **TR** = Trigo, cebada, maíz y otros cereales (incl. pastos); **PA** = Papa, raíces y tubérculos; **HO** = Hortalizas, semillas oleaginosas, legumbres, bayas y plantas ornamentales; **FF** = Árboles frutales y especies forestales; **PM** = Plantas medicinales, tropicales y autóctonas; **CI** = Cultivos industriales (café, caña de azúcar, tabaco, palmera, etc); **GA** = Ganado (bovino, res y lácteos); **OG** = Otras especies de ganado (cerdos, cabras, ovejas; también caballos y aves de corral); **OA** = Otros animales y microorganismos (animales acuáticos, perros, pájaros, insectos, etc.)

Fuente: ISNAR, 2000.

**Cuadro 7**  
**Fuentes de financiación para la investigación biotecnológica en México y Colombia, 1985 - 1997**  
(% del gasto)

Fuentes	1985	1989	1993	1997
<b>Colombia</b>				
Gobierno	23	5	32	47
Ventas	0	33	33	25
Donaciones	18	13	7	13
Gravamen	59	50	27	14
Contratos	0	0	0	0
<b>México</b>				
Gobierno	69	60	64	59
Ventas	0	1	4	9
Servicios	11	0	0	3
Contratos	0	0	3	4
Donaciones	20	37	28	24
Gravamen	0	0	0	3
Otras	0	2	1	0

Fuentes: Colombia: Torres y Falconi (2000); México: Qaim y Falconi (1998).

Antes de 1960, no existía un sistema formal que proporcionara a los productores acceso al germoplasma disponible más allá de sus fronteras. El sistema actual de compartir los resultados de las mejoras en los cultivos es relativamente reciente. Este evolucionó en los años setenta y ochenta, cuando los recursos financieros estaban en expansión y las leyes de protección de la propiedad intelectual en el mundo vegetal eran débiles o inexistentes. El acceso internacional a la investigación desarrollada por otras instituciones públicas sigue siendo abierto y gratuito. El intercambio de germoplasma se basa en gran medida, en un sistema de intercambio informal entre los productores. A la fecha, el efecto de la escasa inversión en el fitomejoramiento se ha sentido de manera más profunda que los cambios en los regímenes de los derechos de la propiedad intelectual.

La región tiene una gran riqueza de recursos genéticos *in-situ* y *ex-situ*. Las colecciones *in-situ* más grandes están en manos de los bancos de genes. El valor de estos materiales como fuente de elementos genéticos para futuras investigaciones biotecnológicas es en potencia muy elevado. Aún así, casi todas las colecciones están actualmente subutilizadas como insumos para el fitomejoramiento convencional. Muchos de los bancos de genes se enfrentan a serios problemas de escasez de financiación y los materiales almacenados corren el riesgo de deteriorarse. El apoyo a la conservación y mejora del germoplasma de la región es una actividad que complementa considerablemente otras actividades biotecnológicas.

## **Programas nacionales e internacionales de apoyo a la biotecnología**

Sólo se dispone de datos detallados de dos países (México y Colombia) sobre las fuentes de financiación a investigación en biotecnología agrícola, pero la evidencia que se extrae de ellos y de nuestros estudios de casos, indica que los gobiernos centrales y las donaciones son las fuentes más importantes de financiación. Los gobiernos provinciales y el sector privado tienen su importancia en algunos países.<sup>19</sup> El Cuadro 7 muestra que el gobierno es quien más apoyo brinda a la investigación agrícola.

Muchas de las capacidades mencionadas en la sección anterior han evolucionado al estar incluidas en programas de apoyo para el desarrollo que científicos han implementado tanto a nivel nacional, regional y subregional. En general, dichos programas se han centrado en la creación y/o consolidación de la base general de I+D local y la biotecnología era solo una parte de las actividades en las que se combinaban el financiamiento para I+D y el desarrollo de infraestructura con la formación de recursos humanos.

En la mayoría de los casos, el volumen de estas actividades fue financiado mediante créditos del BID o del Banco Mundial (Cuadro 8). En los últimos años, se diseñaron numerosos proyectos para apoyar las actividades de I + D en general,

---

<sup>19</sup> Según la experiencia de los autores, un análisis similar de otros países de ALC aportaría resultados similares a los de Colombia y México.

**Cuadro 8**  
**Programas gubernamentales de apoyo al desarrollo biotecnológico**  
**en una selección de países de América Latina (1980 - 2001)\***  
**(millones US\$)**

<b>País</b>	<b>Nombres y fechas</b>	<b>Agencia ejecutora</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Inversión **</b>
<b>Argentina</b>	Programa Nacional de Biotecnología	Secretaría de Ciencia y Tecnología (SeCyT)	Promoción y financiación de I+D en biotecnología	3,8
	Programa de Modernización Tecnológica I (BID, 1993)	Secretaría de planificación y programación económica / Secretaría de Ciencia y Tecnología	Apoyo a la investigación científica y tecnológica general y a una mayor participación del sector privado en actividades de I+D, por medio de créditos y mecanismos de riesgo compartido.	91,0
	Programa de Modernización Tecnológica II (BID, 1999)	Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT)	Apoyo a la investigación científica y tecnológica en general y subvenciones para que el sector privado participe en actividades de I+D.	280,0
<b>Brasil</b>	Programa Nacional de Biotecnología (1981)	Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y Financiadora de Estudios e Pesquisas (FINEP)	Financiación de I+D de biotecnología.	3,3
	PADCT/ Biotecnología (Banco Mundial, 1984)	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Recursos humanos e infraestructuras en campos de la ciencia relacionados con la biotecnología.	12,9
	Parques biotecnológicos	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Infraestructuras y servicios para empresas de nueva creación.	
	Programa de Promoción Científica y Tecnológica (BID, 1991)	Ministerio de Ciencia y Tecnología, CNPq	Subvenciones para investigación científica y tecnológica en instituciones de I+D de los sectores público y privado. Apoyo a las iniciativas de riesgos compartidos en el sector privado.	100,0
	Apoyo a la Reforma Científica y Tecnológica (Banco Mundial, 1997)	Ministerio de Ciencia y Tecnología	Mejora de la calidad de la investigación y formación avanzadas y promoción de I+D colaborativo entre instituciones públicas y privadas e inversiones privadas en I+D.	360,0
	Proyecto Genoma	Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Sao Paulo (FAPESP)	Infraestructuras e investigación en universidades, institutos de investigación y empresas privadas	30,0

**Cuadro 8 (Cont.)**  
**Programas gubernamentales de apoyo al desarrollo biotecnológico**  
**en una selección de países de América Latina (1980 – 2001)**  
(millones US\$)

País	Nombres y fechas	Agencia ejecutora	Objetivos	Inversión
Chile	Comité Nacional de Biotecnología (1983)	Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT)	Promoción y desarrollo de recursos humanos y coordinación de I+D.	N/A
	Programa de Ciencia y Tecnología (BID, 1994)	CONICYT y Corporación de Fomento, (CORFO)	Promoción de la investigación científica y tecnológica en general y de la participación del sector privado en actividades de I+D a través de mecanismos de riesgos compartidos.	94,0
	Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica (BID, 2000)	Ministerio de Economía	Promoción de I+D público y privado para mejorar la competitividad de los sectores de la producción, con especial énfasis en el uso de estrategias biotecnológicas	200,0
Colombia	Programa de Biotecnología (1984)	Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS)	Planificación, coordinación y financiación de I+D.	N/A
	Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico (BID, 1995)	COLCIENCIAS	Apoyo general para la investigación científica y tecnológica y la innovación tecnológica en sectores estratégicos.	100,0
México	Programa Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, (PRONDETYC) (1984)	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (CONACYT)	Apoyo financiero para la investigación biotecnológica en universidades y demás centros públicos de investigación.	N/A
	Apoyo al Desarrollo Científico y Tecnológico (BID, 1993)	Consejo nacional de Ciencia y Tecnología, (CONACYT)	Infraestructuras y apoyo financiero para la investigación científica y tecnológica y financiación directa para I+D precompetitivo en pequeñas y medianas empresas privadas.	150,0
Venezuela	Programa Nacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (1986)	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, (CONICYT)	Financiación de I+D.	0,5
	Programa Nuevas Tecnologías (BID, 1992)	CONICYT	Apoyo general para I+D (recursos humanos, infraestructuras y gastos en I+D).	30,0
	Segundo Programa de Ciencia y Tecnología (BID, 1999)	CONICYT	Apoyo para la investigación científica y tecnológica y promoción de la participación del sector privado en actividades de I+D a través de un programa de subvenciones.	200,0
Uruguay	Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico (BID, 1991)	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICYT	Apoyo general para I+D (recursos humanos, infraestructuras y gastos en I+D).	35,0

\*Nota: No representa un listado exhaustivo de todas las iniciativas

\*\*Nota: En el caso de los programas financiados por el BID y el Banco Mundial, las inversiones que aparecen se refieren a los proyectos en su conjunto y no a los componentes biotecnológicos en particular

Fuente: Elaborado sobre la base de Jaffé e Infante 1996, base de datos del BID y comunicaciones personales de los autores.



normalmente dentro del marco de programas de donaciones competitivas.<sup>20</sup>

Aunque no hay datos exhaustivos sobre la importancia de la proporción de proyectos relacionados con la biotecnología basándose en el financiamiento total concedido por estos programas, la evidencia parcial aportada por algunos países (Chile, Argentina, Brasil, Venezuela) indica que la investigación relacionada con la biotecnología obtuvo una parte importante.

En Argentina, de los más de 1100 proyectos aprobados por el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica en 1997 y 1998, casi 30% se puede catalogar como I+D en biotecnología.

Otro desarrollo importante que hay que mencionar es el hecho de que estas iniciativas incluyen una parte significativa del financiamiento (créditos blandos y donaciones) para (i) el desarrollo de mejores vínculos entre las instituciones científicas y el sector productivo; y (ii) la innovación y modernización tecnológica al nivel individual de empresa. Los proyectos más recientes que han sido puestos en marcha en Argentina, Chile, Uruguay, Brasil y Venezuela, ofrecen cofinanciamiento para permitir que las instituciones de I+D (públicas y privadas) establezcan unidades empresariales para mejorar sus capacidades como proveedores de servicios tecnológicos, y para fomentar la colaboración

---

<sup>20</sup> Venezuela: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT); Chile: Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC) y Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF); Uruguay: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT); Argentina: Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT) y Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR), entre otras iniciativas.

conjunta entre empresas e instituciones científicas en actividades de I+D, además de financiamiento directo para I+D e iniciativas de innovación de firmas comerciales.

En Argentina, los proyectos relacionados con la biotecnología (tanto general como agrícola) ocupan un lugar destacado en la lista de proyectos financiados desde el comienzo de estas nuevas modalidades. Todas estas iniciativas han sido desarrolladas con la ayuda financiera del BID, y no sólo representan un apoyo fundamental para las actividades de investigación, sino también para la transferencia de tecnología. Además no suponen una sustitución del capital de riesgo para nuevos desarrollos, sino que representan un paso importante para facilitar la conexión entre las capacidades de explotación científicas y tecnológicas.<sup>21</sup>

Los programas de cooperación internacional también han jugado un papel significativo en el desarrollo de la biotecnología en general, y la biotecnología agrícola en particular, especialmente en los países pequeños (Cuadro 9). Entre los programas más importantes se encuentran el *Programa Regional de Biotecnología de las Naciones Unidas*, financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la

---

<sup>21</sup> En Argentina, FONTAR ha financiado proyectos con empresas de biotecnología y ha proporcionado apoyo para el establecimiento de unidades de servicio de carácter biotecnológico en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en áreas relacionadas con la garantía de calidad genética y sanitaria del material vegetativo en árboles frutales (cítricos, ciruelas, olivas, uvas) y hortalizas (ajo, papas, etc.), la mejora de la ganadería y sanidad animal (herramientas para diagnósticos, desarrollo de vacunas, transferencia de embriones), y la silvicultura (mejor material vegetativo), entre otras áreas.

Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

El Programa jugó un papel pionero en aplicar el proceso de difusión de las técnicas básicas en un gran número de instituciones regionales de investigación a través de la financiación de proyectos de cooperación en los que participaban instituciones de diferentes países. También trabajó en la creación de una serie de comisiones nacionales de biotecnología con el objetivo de sentar las bases para la coordinación de los esfuerzos nacionales en el área.

Entre otras de las iniciativas dirigidas a la creación de las capacidades básicas de investigación se encuentran el *Programa de Biotecnología para América Latina y el Caribe* (BIOLAC), un programa de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial y la Red de Biotecnología Agrícola de la FAO (REDBIO). Ambas iniciativas representan un importante esfuerzo de coordinación e intercambio de mecanismos para los investigadores y centros de investigación de América Latina.

A nivel subregional, existen varios programas diseñados para desarrollar la investigación cooperativa en temas de interés común para los países participantes, compartir información y transferir tecnología. El más importante es el *Centro Argentino Brasileño de Biotecnología* (CABBIO), que funciona desde 1985 y ha financiado unos 70 proyectos, una buena parte de los cuales están relacionados con la agricultura y los alimentos. CABBIO

comenzó como una iniciativa bilateral y luego se expandió a todos los países del MERCOSUR y Chile. El desarrollo de recursos humanos y la transferencia de tecnología son dos de los resultados más importantes de CABBIO hasta la fecha, pero existen importantes resultados de I+D en una serie de áreas que se están consolidando con rapidez en la fase de desarrollo de productos.

El *Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur* (PROCISUR), que reúne a los países del Cono Sur (Chile, Argentina, Uruguay, Brasil, Paraguay y Bolivia), es también una importante iniciativa por su impacto en los programas nacionales, así como por el nivel de apoyo que ha logrado obtener de los países participantes y de las organizaciones de asistencia internacional. Recientemente, PROCISUR ha llevado a cabo varios programas de cooperación regional en biotecnología agrícola, así como una agenda para la investigación biotecnológica subregional (Carneiro 2001).

Otros esfuerzos de cooperación que vale la pena mencionar son CamBioTec, una iniciativa canadiense financiada por la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI) y el Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional (IDRC) de Canadá, para promover las operaciones empresariales en América Latina fomentando las actividades en materia de normativa sobre bioseguridad, información pública, y el establecimiento de vínculos entre las capacidades de I+D y compañías de América Latina y Canadá.

**Cuadro 9**  
**Programas de cooperación regional en biotecnología**

<b>Programa</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Agencia de financiación / administrativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Inversión (US\$)</b>
Centro Argentino Brasileño de Biotecnología, CABBIO (1985, continúa)	Financiación para proyectos de investigación conjuntos a través de mecanismos competitivos	Agencia independiente / Países miembros	Todas las áreas científicas / Argentina y Brasil; desde 1993 todos los países del MERCOSUR (Chile solicitó su entrada en	\$14.000.000 desde su creación
Programa Regional de Biotecnología (1988-93)	Promoción de proyectos de investigación cooperativos centrados en el desarrollo de los recursos humanos y en la difusión de las tecnologías básicas	PNUD/UNESCO/ ONUDI	Todas las áreas científicas / Regional	5.000.000 (Programa)
BIOLAC (1988, continúa)	Formación a través de proyectos de investigación nacionales y multinacionales	Universidad de Naciones Unidas	Todas las áreas, énfasis en técnicas básicas / Regional	150.000-200.000/año
Red latinoamericana de biotecnología vegetal, REDBIO (1990, continúa)	Red de colaboración entre investigadores e instituciones de investigación	FAO	Centrado en la biotecnología vegetal / Regional	60.000/año
Programa Andino de Biotecnología (1988-93)	Formación y transferencia de tecnología en áreas estratégicas	Corporación Andina de Fomento	Todas las áreas científicas / Países de la región andina	2.000.000 (Programa)
Políticas para Biotecnología Agrícola (1988-1994)	Política biotecnológica / promoción de mecanismos reguladores de bioseguridad	CIDA Canadá / IICA	Tecnología agrícola / Regional	800.000/año
Programa de Biotecnología (1988, continúa)	Formación, algunos proyectos de investigación	Organización de los Estados Americanos (OEA)	Todas las áreas científicas / Regional	300.000/año
Programa de Biotecnología del Cono Sur (1992, continúa)	Investigación cooperativa, formación, transferencia de tecnología	Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur (PROCISUR)/IICA/BID/Países miembros	Biotecnología agrícola / Argentina, Brasil, Chile-Uruguay, Paraguay, Bolivia	120.000/año
CamBioTec (1996, continúa)	Promoción del desarrollo biotecnológico a través de consorcios entre Canadá y América Latina (tanto públicos como privados)	IDRC, CIDA y socios nacionales	Todas las áreas / Canadá, Argentina, Chile, Colombia, Cuba y México	N/A

**Fuente:** Elaborado por los autores en base a Jaffé e Infante (1996) e información de varias fuentes.

En América Central, los programas y actividades de biotecnología de los Centros de Investigación Agrícola Internacional del CGIAR (particularmente el CIAT, el CIP y el CIMMYT) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), también han prestado un apoyo fundamental para el desarrollo de la biotecnología, tanto a través de la difusión de tecnologías estratégicas, como por medio de la formación de recursos humanos. Los Centros de Investigación Agrícola Internacional han desarrollado una amplia red de colaboración en investigación con institutos avanzados de investigación, públicos y privados de países industrializados y en vías de desarrollo. Sus esfuerzos se centran básicamente en la conducción de investigación biotecnológica para cultivos y especies animales tropicales, y en desarrollar capacidades en los países en vías de desarrollo, incluyendo América Latina y el Caribe. Entre los 16 centros de investigación agrícola internacional se invierten alrededor de 25 millones de dólares al año en biotecnología, lo que representa 8% del presupuesto total del CGIAR. De esos 25 millones de dólares, aproximadamente 27% se refiere directamente a ganadería (principalmente sanidad animal). Alrededor del 15% del gasto total está destinado a la ingeniería genética (Morris y Hoisington 2000). Aunque las inversiones para I+D en biología agrícola que se realizan en conjunto pueden ser pequeñas en comparación con las empresas más importantes del sector privado, los Centros del CGIAR juegan un papel sumamente importante como mecanismos de acceso a los conocimientos básicos para los países de la región. Más allá de ese papel general, también

son importantes por su contribución directa a la investigación, así como por el fortalecimiento de las capacidades nacionales a través de sus actividades de redes y actividades de formación. Como ejemplo de la naturaleza y alcance de las actividades del CGIAR, el Cuadro 10 resume las actividades relacionadas con la biotecnología llevadas a cabo por el CIMMYT, el CIAT y el CIP, así como sus interacciones de colaboración con otras instituciones de investigación.

### **Resultado de la investigación latinoamericana en biotecnología**

La investigación en biotecnología realizada en América Latina generó nuevos conocimientos, nuevas herramientas y nueva tecnología. Sin embargo, los principales avances tecnológicos que están utilizando los agricultores (soja, maíz y algodón modificados genéticamente) y que están en la línea de acción, son resultado de los genes y herramientas desarrolladas por empresas con sede en Estados Unidos y Europa.

#### *Aportaciones al conocimiento*

El programa sobre genomas de FAPESP en San Pablo, Brasil ha obtenido los éxitos mejor divulgados en investigación biotecnológica básica. En julio de 2000 fue el primer grupo en completar la secuencia de un patógeno vegetal, *Xylella fastidiosa*, causante de la clorosis variegada, una conocida enfermedad de los cítricos. Desde entonces ha completado la secuencia del organismo que causa el cancro de los cítricos, *Xanthomonas citri*.

**Cuadro 10**  
**Capacidades de I+D biotecnológica en el CIMMYT, CIAT y CIP, 2000**

Cultivo prioritario	Actividades de investigación	Técnicas que intervienen	Institutos colaboradores
<b>CIMMYT</b>			
Maíz	Resistencia a los taladros de la caña del maíz	RFLP, RAPD, AFLP Transformación mediada por Agrobacterium Bombardeo con microproyectiles	
	Resistencia al gusano de la raíz	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia a Fusarium - putrefacción de la mazorca	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia al virus del estriado del maíz	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia al virus del mosaico	RFLP, RAPD, AFLP	
	Tolerancia a la sequía	RFLP, RAPD, AFLP	
	Tolerancia a suelos ácidos	RFLP, RAPD, AFLP	
	Maíz enriquecido en nutrientes	RFLP, RAPD, AFLP	
	Apomixis	RFLP, RAPD, AFLP Hibridación amplia	Institut de Recherche pour le Developpement (Francia); Pioneer Hi-Bred (EE.UU.); Groupe Limagrain (Francia); Novartis Seeds (EE.UU.)
Trigo	Resistencia a la roya de las hojas	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia a la roya estriada	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia a la fusariosis de la espiga del trigo	RFLP, RAPD, AFLP	International Research Center for Agricultural Sciences de Japón
	Resistencia al virus del enanismo amarillo de la cebada	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia a melanosis	RFLP, RAPD, AFLP	
	Resistencia al karnal bunt	RFLP, RAPD, AFLP	
	Tolerancia a la sequía	RFLP, RAPD, AFLP	
	Tolerancia a suelos tóxicos por aluminio	RFLP, RAPD, AFLP	
	Trigo de alto rendimiento	RFLP, RAPD, AFLP	
<b>CIAT</b>			
Frijol	Resistencia a plagas bacterianas	Rescate de embriones	
	Tolerancia a bajos niveles de fósforo	Marcadores genéticos	University of Michigan (EE.UU.)
	Tolerancia al virus del mosaico dorado	Marcadores genéticos	CORPOICA (Colombia); Novartis (EE.UU.); Plantek (Japón)

### Cuadro 10 (Cont.)

#### Capacidades de I+D biotecnológica en el CIMMYT, CIAT y CIP, 2000

Cultivo prioritario	Actividades de investigación	Técnicas que intervienen	Institutos colaboradores
Yuca	Cartografía genética de genes resistentes al mosaico	Marcadores satélite	IITA; Clemson University (EE.UU.)
	Cartografía genética de genes resistentes a la mosca blanca	Marcadores satélite AFLP	University of Florida (EE.UU.)
	Resistencia genética a plagas bacterianas	RFLP	IRD, Montpellier (Francia)
	Resistencia al taladro del tallo	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i>	CORPOICA (Colombia)
	Producción de materiales de planta limpios	Micropropagación	Universidad de Lovaina (Bélgica)
	Conservación a largo plazo	Conservación in vitro	Rutgers University (EE.UU.); IDEA (Venezuela); Empresa Polar (Venezuela)
	Deterioro fisiológico de las raíces	Marcadores microsatélite PCR	Corporación BIOTEC (Colombia)
Arroz	Resistencia al virus de la hoja blanca	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i> Bombardeo con microproyectiles	Bath University (Reino Unido)
	Mejora de la calidad y rendimiento del grano	RFLP	Cornell University (EE.UU.)
	Resistencia a piricularia	RFLP Marcadores microsatélite	Purdue University (EE.UU.); Paradigm Co. (EE.UU.)
<b>CIP</b>			
Papa	Resistencia a la polilla de la papa	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i>	Michigan State University (EE.UU.); Aventis-PGS (Bélgica); Unicrop (Finlandia)
	Resistencia al virus de la papa	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i>	John Innes Center (Reino Unido)
	Resistencia a plagas tardías	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i> RFLP, RAPD, AFLP Marcadores microsatélite	Max Planck Institute (Alemania); Centre de Recherche Public (Luxemburgo); Molecular Plant & Protein Biotechnology (Alemania); Federal Institute for Plant Research (Alemania); IRD (Francia); University of California (EE.UU.); USDA; Oregon State University (EE.UU.); Clemson University (EE.UU.); Smart Plant International (EE.UU.)
	Herramientas para diagnósticos para virus y viroides	ELISA Anticuerpos monoclonales Sondas de ácido nucleico PCR	
	Reducción de los toxígenos naturales	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i>	USDA

**Cuadro 10 (Cont.)**  
**Capacidades de I+D biotecnológica en el CIMMYT, CIAT y CIP, 2000**

<b>Cultivo prioritario</b>	<b>Actividades de investigación</b>	<b>Técnicas que intervienen</b>	<b>Institutos colaboradores</b>
Batata	Resistencia al gorgojo	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i> RFLP, RAPD, AFLP Marcadores microsatélite	Laval University (Canadá)
	Resistencia a virus	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i> RFLP, RAPD, AFLP Marcadores microsatélite	North Carolina State University (EE.UU.); Austrian Research Centers (Austria)
	Mejora de la calidad de la harina	Transformación mediada por <i>Agrobacterium</i>	IACR Long Ashton (Reino Unido)
Papa y batata	Obtención de la huella genética del germoplasma	RAPD, AFLP Marcadores microsatélite	Scottish Crop Research Institute (Reino Unido); University of Wisconsin (EE.UU.); Cornell University (EE.UU.)
Raíces y tubérculos	Conservación del germoplasma	Conservación in vitro	University of Wisconsin (EE.UU.)

Fuente: ISNAR 2001.

En abril de 2001, científicos auspiciados por el FAPESP y por cooperativas azucareras locales terminaron la secuenciación del genoma de la caña de azúcar. Otro consorcio industrial con FAPESP está empezando a trabajar en el genoma del eucalipto (Rohter 2001). Investigadores brasileños también han desarrollado tecnologías para mejorar la eficiencia de la investigación biotecnológica y han obtenido el derecho para comercializar los cultivos transgénicos que han producido<sup>22</sup>.

Los científicos de estos institutos publican los resultados de sus investigaciones en revistas nacionales e internacionales.

<sup>22</sup> Ellos han desarrollado un sistema exclusivo para transformar soja por el cual los ejes embrionarios son bombardeados con ADN plásmido (Ávila et al. 2001). La frecuencia de transformación (número de plantas transgénicas / número de ejes embrionarios bombardeados) varía de 5 a 20% dependiendo del cultivar. Son al menos cuatro las líneas de soja de elite las que han sido transformadas por este método, convertidas en plantas que han producido semillas viables.

El Cuadro 11 ofrece una medida de los trabajos publicados en biotecnología (el número de publicaciones resumidas en *Biological Abstracts*). Es importante hacer notar el dominio de Brasil y su expansión en los últimos años. Otro hecho interesante es el número de publicaciones relativamente alto de Costa Rica, un país que tiene un reducido sistema de investigación. Además, las tecnologías exclusivas que la investigación latinoamericana ha desarrollado quedan reflejadas en el número de patentes aprobadas en Estados Unidos y Europa, aunque dichas invenciones no pueden ser patentadas en sus propios países.

Otra manera de medir los resultados de la investigación en biotecnología aplicada son los ensayos de campo en nuevos cultivos modificados genéticamente.

Desde 1987 hasta 2000 se llevaron a cabo en la región unos 880 ensayos de campo sobre OMG (Cuadro 12). Esto comprende aproximadamente 20% de todos los

**Cuadro 11**  
**Publicaciones mencionadas en CAB**  
**Biological Abstracts**  
**por país de publicación**

	1991	1995	1999
Argentina	25	23	26
Belice	0	0	0
Bolivia	0	68	0
Brasil	175	104	550
Chile	8	11	1
Costa Rica	41	27	47
Cuba	4	0	1
Guatemala	0	2	0
México	98	15	43
Perú	24	17	75
Estados Unidos	3596	3983	4384
Uruguay	2	13	0

Fuente: CAB Abstracts (Junio 2001)

ensayos de campo realizados en el mundo afuera de Estados Unidos. Estas pruebas de campo se han concentrado en Argentina, Brasil y México, tres países que suman 84% de los ensayos de ALC. Argentina, Brasil y México se sitúan en cuarta, sexta y novena posición respectivamente en cuanto a número total de ensayos de campo realizados. En 1998 y 1999 sólo dos países, Estados Unidos y Canadá, realizaron más ensayos de campo que Brasil o Argentina (James 2001).

En la región, las pruebas de campo las ha realizado mayormente el sector privado, particularmente en las empresas multinacionales de insumos. En algunos países (por ejemplo México), las empresas locales de insumos juegan un importante papel. Algunas empresas (mayormente locales) papeleras y de procesado de alimentos (por ejemplo la industria azucarera) también juegan su papel. El gobierno desempeña un papel menor en Argentina y Brasil y algo mayor en México. En términos de la región en su conjunto, los organismos públicos llevaron a cabo tan sólo el nueve por ciento de los ensayos, una

proporción similar a la del sector público en los ensayos estadounidenses. El número de instituciones que realizan ensayos de campo sobre OMG da una idea de la difusión de las capacidades en investigación biotecnológica y del potencial para que evolucionen los mercados competitivos para los productos modificados genéticamente. En Argentina, por ejemplo, 32 instituciones diferentes han realizado ensayos de campo sobre OMG. En 1999, 11 instituciones diferentes realizaron ensayos sólo sobre el maíz (Cuadro 13).

#### *La difusión de los OMG en la región*

Hasta el momento se han comercializado tres OMG en la región: soja RoundupReady® (RR), maíz Bt y algodón Bt. Más de 95% del área para OMG en la región está sembrada con soja RR (Cuadro 14). Para la temporada de cultivo de 1999, más de 6 millones de ha; que es, 80% del área de soja, se había plantado con soja tolerante a herbicida (TH) en Argentina, y se calcula que 1 millón de hectáreas se estaban cultivando en Brasil. En México y Uruguay se han introducido pequeñas áreas de soja RR. El maíz Bt tiene un considerable potencial y se ha introducido en México y Argentina, pero en total tan sólo se han plantado 327,000 ha; presenta resistencia a ciertos insectos lepidópteros, el barrenador europeo del maíz en Estados Unidos, y el barrenador de la caña de azúcar en Argentina. El tercer OMG que va a ser comercializado en la región es el algodón Bt, que es resistente a determinados insectos lepidópteros. El algodón Bt ha sido cultivado en México y Argentina, pero sólo en superficies relativamente pequeñas.



**Cuadro 12**  
**Ensayos de campo de material genéticamente modificado, por año<sup>c</sup>**

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000 <sup>a</sup>	Total	% Total
<b>Argentina</b>	-	-	-	-	3	7	9	18	32	38	67	71	76	0	<b>321</b>	37%
<b>Brasil</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	88	110	24	<b>247</b>	28%
<b>México</b>	-	1	-	-	-	4	6	7	10	27	36	31	23	21	<b>166</b>	19%
<b>Chile</b>	1	-	-	-	-	4	7	6	21	-	-	-	16	-	<b>55</b>	6%
<b>Uruguay</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	<b>29</b>	3%
<b>Cuba</b>	-	-	-	1	1	2	4	5	5	-	-	-	-	-	<b>18</b>	2%
<b>Costa Rica</b>	-	-	-	-	1	4	-	2	10	-	-	-	-	-	<b>17</b>	2%
<b>Bolivia</b>	-	-	-	-	3	1	-	1	1	-	-	2	-	-	<b>8</b>	1%
<b>Colombia</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	<b>7</b>	1%
<b>Belice</b>	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	<b>5</b>	1%
<b>Guatemala</b>	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	<b>3</b>	0%
<b>Perú</b>	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	<b>2</b>	0%
<b>Total ALC</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>42</b>	<b>80</b>	<b>65</b>	<b>128</b>	<b>221</b>	<b>225</b>	<b>52</b>	<b>878</b>	
<b>Total mundo<sup>b</sup></b>	1	10	37	48	74	156	222	351	476	532	681	815	813	514	4730	
<b>% de ALC respecto al mundo<sup>a</sup></b>	100%	10%	3%	2%	11%	17%	12%	12%	17%	12%	19%	27%	28%	10%	19%	

<sup>a</sup> Los datos de los años de algunos países están incompletos.

<sup>b</sup> Excluye a Estados Unidos pero incluye a América Latina y el Caribe

<sup>c</sup> Los ensayos de campo totales se refieren al número de solicitudes para cultivos transgénicos que han sido aprobadas en cada país.

Fuentes: CONABIA, Argentina; CTNBio, Brasil; Marc Guislain, CGIAR, Perú; SAGAR, México; INIA, Chile; Instituto Colombiano de Agricultura, Colombia; Clive James, ISAAA, Belice, Bolivia, Costa Rica, Cuba, Guatemala; INIA, Uruguay; los datos a nivel mundial han sido recopilados de varias fuentes.

**Cuadro 13**  
**Número de instituciones por año y por cultivo, Argentina**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Cualquier año
Alfalfa	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
Algodón	1	2	1	1	4	1	2	3	3	
Arroz	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
Canola	-	1	2	1	2	1	-	-	-	
Girasol	-	-	-	1	-	2	3	5	5	
Maíz	1	2	5	6	10	10	12	13	11	
Papa	-	-	-	-	1	1	2	3	1	
Remolacha azucarera	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
Soja	1	1	1	3	7	4	4	5	4	
Tomate	-	-	-	1	-	-	1	-	-	
Trigo	-	-	1	-	1	1	2	2	1	
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>32</b>

Fuente: CONABIA 2001.

Las pruebas de campo son un indicio del tipo de tecnología de los materiales modificados genéticamente actual. En la región se han realizado pruebas de campo en un total de 24 cultivos diferentes, centrandose en los rasgos de tolerancia a los herbicidas (TH) y de resistencia a los insectos (RI) (Cuadro 15) de los principales cultivos comerciales (maíz, soja, algodón y girasol). Estos cuatro constituyen 80% de todos los ensayos llevados a cabo en ALC (Cuadro 16). Los ensayos sobre la calidad del producto que se han realizado hasta la fecha están dominados por la maduración tardía de tomate en México; mientras que los ensayos de cultivos resistentes a enfermedades y los resistentes a virus son cada día más frecuentes.

La evolución de los cultivos transgénicos está entonces dominada por la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos que se han añadido a las nuevas variedades de maíz, soja y algodón. Se puede esperar que estos productos amplíen el área de

estos cultivos modificados genéticamente más allá de sus fronteras actuales.<sup>23</sup>

En resumen, el panorama global del sector de la biotecnología en ALC alberga un potencial científico considerable e importantes oportunidades para que la biotecnología contribuya a mejorar la productividad agrícola y a ofrecer productos mejorados al consumidor. La capacidad científica se concentra en los países más grandes de la región, particularmente en Brasil, Argentina y México. Incluso dentro

<sup>23</sup> En Brasil, por ejemplo, las variedades de soja modificada genéticamente desarrolladas por EMBRAPA como parte de un acuerdo comercial con Monsanto para la mayoría de las regiones más importantes de soja se encuentran ahora en proceso de regulación. Las otras tecnologías que se hallan en desarrollo son la resistencia a plagas, herbicidas y virus que se han añadido a cultivos como la caña de azúcar, el girasol y la canola. Las variedades adaptadas de estos cultivos también se encuentran a la espera de su autorización administrativa. En México, además de la resistencia a plagas y enfermedades, se han realizado trabajos sobre la calidad de producto de tomate y otras hortalizas.

de estos países, la capacidad se concentra en manos de unas pocas organizaciones internacionales y hay una gran falta de conexión con la investigación aplicada. En el otro extremo del espectro, la mayoría de los países de ALC carecen de capacidades en biotecnología, tanto en el ámbito general como en el aplicado. Para este amplio grupo de países, conseguir los conocimientos técnicos incluso para poner en marcha sistemas funcionales de patentes y bioseguridad requerirá un es-

fuerzo sostenido durante unos cuantos años y un compromiso considerable de nuevas fuentes de recursos financieros. La disparidad en el potencial del sector privado para liderar la introducción de innovaciones biotecnológicas es similar. Una vez más, Brasil, Argentina y México prometen mucho, mientras los mercados de semillas en otros países se encuentran con el impedimento de su tamaño e infraestructura poco desarrollada.

**Cuadro 14**  
**Superficie de producción comercial de cultivos genéticamente modificados en 1999 (ha)**

País	Soja	Maíz	Algodón	Otros
Argentina	6.400.000	260.000	10.000	-
Brasil	1.000.000	-	-	-
Chile	-	20.000	-	-
México	500	47.000	20.1000	Tomate, calabaza, melón
Uruguay	5.000	-	-	-
<b>Total</b>	<b>7.405.500</b>	<b>327.000</b>	<b>30.000</b>	<b>-</b>

Fuentes: Argentina y México: James, 2000; Brasil: cálculos de la industria semillera; Chile: ISNAR, 2001(para exportación de semillas a EE.UU.); Uruguay comunicación privada Roberto Diaz, INIA, Uruguay, 11 de julio de 2000.

**Cuadro 15**  
**Ensayos de campo de material genéticamente modificado, por rasgo. 1987-00\***

	Argentina	Belice	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	Guatemala	México	Perú	Uruguay	N° Total	Total (%)
TH	104	3	2	112	21		11			30		19	302	35%
RI	106	2	2	95	6	2	4	10		52		10	289	34%
TH/RI	58			10	6					10			84	10%
CP	15		1		14	1	1		2	36			70	8%
RV	7			6	3	1	1	6	1	26			51	6%
RD	22				1			1		1			25	3%
MG	1		1		1			1		10			14	2%
AP	4		2							2			8	1%
Sin identif.						3	1				2		6	1%
TH/AP	1												1	0%
TH/RD	1												1	0%
TH/MG					2								2	0%
TH/RV					1								1	0%
RV/RI	1												1	0%
Otros	1							2					3	0%
<b>Totales</b>	<b>321</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>223</b>	<b>55</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>167</b>	<b>2</b>	<b>29</b>	<b>858</b>	<b>100%</b>

\* No todos los países incluyen los datos del año 2000.

Fuentes: CONABIA, Argentina; CTNBio, Brasil; Marc Guislain, CGIAR, Perú; SAGAR, México; INIA, Chile; Instituto Colombiano de Agricultura, Colombia; Clive James, ISAAA, Belice, Bolivia, Costa Rica, Cuba, Guatemala; INIA, Uruguay; los datos a nivel mundial han sido recopilados de varias fuentes.

**Cuadro 16**  
**Ensayos de campo de material genéticamente modificado, por cultivo. 1987-2000**

	Argentina	Belice	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	Guatemala	México	Uruguay	N° Total	% Total
Maíz	173	3	-	205	21	1	2	-	-	34	13	460	47%
Soja	50	1	1	62	9	-	11	-	-	15	15	164	17%
Algodón	28	1	3	36	-	1	3	-	-	38	-	110	12%
Girasol	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	5%
Tomate	-	-	-	-	6	-	-	-	2	30	-	38	4%
Potata	7	-	4	2	2	1	-	7	-	5	-	28	3%
Canola	8	-	-	-	11	-	-	1	-	2	-	22	2%
Otras hortal.	-	-	-	-	-	-	-	5	1	13	-	19	2%
Caña de azúcar	-	-	-	14	-	-	-	3	-	-	-	17	2%
Trigo	7	-	-	-	1	-	-	-	-	5	-	13	1%
Fruta	-	-	-	2	1	-	1	-	-	15	-	19	2%
Tabaco	-	-	-	2	1	-	-	3	-	4	-	10	1%
Arroz	3	-	-	3	-	1	1	-	-	1	-	9	1%
Otros	-	-	-	4	-	2	-	-	-	3	1	10	1%
Remolacha azucarera	1	-	-	-	3	-	-	1	-	-	-	5	1%
Flores	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	2	0%
Alfalfa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	0%
<b>Total</b>	<b>321</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>330</b>	<b>55</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>167</b>	<b>29</b>	<b>971</b>	

<sup>a</sup> Los ensayos de campo totales se refieren al número de solicitudes para cultivos transgénicos que han sido aprobadas en cada país.

Fuentes: CONABIA, Argentina; CTNBio, Brasil; Marc Guislain, CGIAR, Perú; SAGAR, México; INIA, Chile; Instituto Colombiano de Agricultura, Colombia; Clive James, ISAAA, Belice, Bolivia, Costa Rica, Cuba, Guatemala; INIA, Uruguay; los datos a nivel mundial han sido recopilados de varias fuentes.

## V. Desafíos para acceder a los beneficios de la biotecnología

La aplicación de estrategias biotecnológicas a la agricultura abre un amplio abanico de beneficios potenciales, aunque puede que muchos de estos beneficios no lleguen a conseguirse si no se resuelven una serie de cuestiones importantes. Algunas de esas cuestiones están relacionadas con la organización de los sistemas de tecnología e innovación con la base científica de la biotecnología y su interrelación con la investigación agrícola tradicional. Otras, en cambio, se refieren a las consideraciones sobre bioseguridad y a la aceptación por parte del consumidor. Existen además cuestiones que surgen del carácter patentado de las nuevas tecnologías y cuestiones relacionadas con las características de los mecanismos de transferencia de tecnología utilizados.

### **Crónica subinversión en investigación agrícola en relación a las fuertes inversiones y largos plazos de tiempo requeridos por la investigación biotecnológica**

El carácter novedoso de los conocimientos implicados y los períodos de tiempo relativamente largos requeridos para incorporar los productos al mercado ([Figura 1](#)) hacen que la industria de la biotecnología sea un mecanismo caro. Los casos del Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos (ARS), el Programa Internacional de Biotecnología del Arroz de la Fundación Rockefeller y los esfuerzos de China en el tema, son buenos ejemplos de los largos períodos y sustanciales inversiones involucradas.

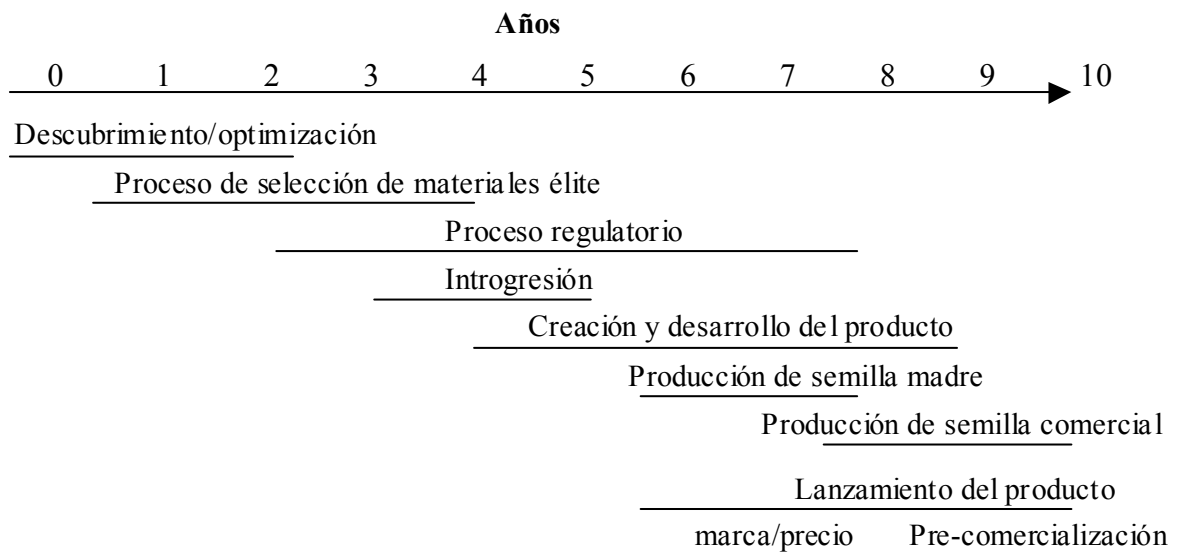
El ARS ha puesto particular énfasis en la investigación biotecnológica durante más de una década, con un presupuesto anual de al menos 110 millones de dólares<sup>24</sup>, una cantidad igual a algunos cálculos del gasto en biotecnología de todos los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola del mundo en desarrollo (Horstkotte-Wesseler y Byerlee 2000). El ARS ha llevado a cabo casi 100 ensayos de campo sobre los OMG. La investigación que realiza complementa el desarrollo de tecnología aplicada dirigida por las empresas privadas y las universidades estatales de Estados Unidos especializadas en agricultura. Sin embargo, todavía no existe biotecnología originada en el ARS que esté siendo usada por los agricultores.

La experiencia de la Fundación Rockefeller con el Programa Internacional de Biotecnología del Arroz es similar. Después de más de 15 años y más de 100 millones de dólares invertidos, acaban de comenzar a hacer pruebas de campo de las variedades de arroz transgénico en Asia, debido a los problemas encontrados para obtener los permisos de bioseguridad y la oposición pública en algunos países, así como a la complejidad de las negociaciones de los derechos de propiedad para uso comercial asociados con varios genes y procesos incorporados a las nuevas variedades (Horstkotte-Wesseler y Byerlee 2000). En ambos casos, la investigación llevada a cabo ha tenido unos logros impresionantes y ha contribuido considerablemente al desarrollo de los recursos

---

<sup>24</sup> Comunicación personal (Paul Heisey). También ver Heisey et al. (2002) para una reciente discusión acerca de la privatización del fitomejoramiento en países desarrollados.

**Figura 1. Proceso de descubrimiento y desarrollo de una variedad de cultivos transgénico**



Fuente: Covenent 2000.

humanos, pero sus efectos directos en la producción todavía son muy limitados, a pesar de haber tenido el respaldo de una fuerte y sostenida inversión.<sup>25</sup>

Estos programas de biotecnología han necesitado de inversiones grandes para obtener resultados relativamente exiguos porque es necesario primero identificar genes útiles y luego desarrollar técnicas para insertarlos en las plantas. La creación de un OMG útil conlleva la combinación de dos tareas científicas bien distintas: una fase biotecnológica y una fase de fitomejoramiento. La fase biotecnológica

produce un evento genético o transformación de un gen que es útil para resolver un problema agrícola importante desde el punto de vista económico. El gen debe entonces combinarse con una variedad de cultivo adaptada para crear un OMG comercial viable. Una vez completada con éxito la fase biotecnológica, el desarrollo de un cultivar adaptado se consigue utilizando técnicas convencionales de fitomejoramiento. La fase de fitomejoramiento es científicamente rutinaria, pero para que un OMG tenga éxito, se necesita que el evento genético se aplique en una variedad que tenga los rasgos agronómicos deseados por el agricultor. Los agricultores no aceptarán un OMG a menos que éste esté incluido en un entorno genético con rendimiento aceptable. Conseguir la aceptación de los agricultores y el acceso a las variedades mejoradas, OMG o convencionales, sigue siendo un desafío que no se ha cumplido en la mayoría de los cultivos de casi todos los países de la región.

<sup>25</sup> La experiencia de China también ha tenido efectos modestos a pesar de contar con compromisos de inversión bastante serios. China gastaba unos 90 millones de dólares al año a finales de los años noventa y en la actualidad su gasto en biotecnología agrícola supera los 100 millones de dólares (Huang et al. 2002). El principal beneficio para los agricultores ha sido la difusión del algodón Bt, que probablemente habría obtenido de las variedades de Monsanto y Delta & Pineland aunque el sector público no hubiera desarrollado variedades competitivas.

Si los programas de cultivo públicos o privados pueden obtener genes útiles como el Bt, es muy posible que la fase de fitomejoramiento tenga una gran compensación. Una institución puede ser un buen proveedor de OMG sin contar con ninguna capacidad de investigación biotecnológica. Por ejemplo, la empresa de semillas Delta and Pineland (D&PL) es una modesta empresa que sólo tiene ocho productores de algodón en Estados Unidos y tres productores en otros países y nunca ha tenido una capacidad significativa de investigación biotecnológica.<sup>26</sup> Sin embargo, por medio de contratos de licencia con Monsanto, se ha convertido en uno de los distribuidores de semillas de cultivos modificados genéticamente más grandes del mundo, con ventas de OMG en seis países entre los que se encuentran México y Argentina. Esto implica que los países de ALC pueden obtener acceso a OMG sin poseer la capacidad de producir eventos genéticos.

En la actualidad, la capacidad de las instituciones públicas de ALC, o de cualquier otro lugar del mundo, de producir eventos genéticos útiles es limitada. Los países industrializados han realizado fuertes inversiones en la investigación en biotecnología agrícola. De acuerdo a Kalaitzandonakes (2000), la inversión del sector público en la Unión Europea fue aproximadamente de 100 millones de dólares anuales a mediados de los años noventa, Japón invirtió 260 millones de dólares en 2000. Los datos sobre la magnitud del gasto realizado por parte del sector privado son poco detallados pero las pruebas disponibles sugieren que las inversiones son sustanciales. El Cuadro 17 contiene un lista-

---

<sup>26</sup> La primera inversión de D&PL en investigación biotecnológica tuvo lugar en 1998. Para el año siguiente un científico estaba trabajaba en un pequeño laboratorio destinado a la identificación de marcadores útiles.

do parcial de unos 100 acuerdos bilaterales de investigación entre firmas de productos como Pioneer y Monsanto y personas y centros dedicados a la investigación, que fueron anunciados desde 1997 hasta el año 2000. Doce de los acuerdos que han revelado sus valores contractuales oscilan entre los 20 y los 218 millones de dólares y suman un total de 838 millones de dólares. A pesar de todo, después de dos décadas y varios miles de millones de dólares invertidos, sólo han alcanzado el mercado un puñado de productos, y sólo tres de ellos han sido ampliamente adoptados (soja RR, algodón Bt y maíz Bt).

Otra incipiente limitación es que los productos de la biotecnología agrícola requieren períodos de tiempo mucho más largos hasta que el producto está preparado para su comercialización (normalmente más de 10 años). Dado que las inversiones son cada vez más escasas o incluso inexistentes para la inversión continua y actualización de los equipos, se dificulta finalizar productos potenciales en la línea de acción.

Los niveles de inversión privada en investigación de los países de América Latina también se encuentra por debajo de otras regiones. Mientras que en Estados Unidos, Australia y Canadá la I+D privada ha crecido significativamente, en ALC ésta todavía representa una proporción muy pequeña de la inversión total. Con la excepción de la investigación en el fitomejoramiento de algunos cereales y semillas oleaginosas en Argentina, Brasil y México, y en algunas plantaciones de cultivos tropicales como el café y la caña de azúcar en Brasil, Colombia y América Central, la evolución de la I+D privada ha seguido prácticamente la misma dirección



**Cuadro 17**  
**Acuerdos de investigación en biotecnología agrícola (1996 – 2000)**

<b>Empresa</b>	<b>Empresa</b>	<b>Área de investigación</b>	<b>Año</b>	<b>Valor contractual</b>
AgrEvo	GeneLogic	Resistencia a enfermedades	1998	\$45 millones
AgrEvo	Netgenics	Bioinformática	1999	N/A
American Cyanamid	Hyseq	Genómica	1999	\$60 millones
Aventis	Lynx	Genómica funcional	1999	N/A
BASF	SunGene	Biotecnología vegetal	1999	N/A
BASF	Metanomics	Biotecnología vegetal	1999	N/A
BASF	Incyte	Genómica	1996	N/A
Bayer	Arqule	Selección de genotecas	1999	\$30 millones
Bayer	Exclixis	Selección química	2000	\$200 millones
Bayer	Paradigm Genetics	Desarrollo de herbicidas	1998	\$40 millones
Ceres	Genset	Secuenciación genética	1999	N/A
Dow Agro	BioSource Technologies	Genómica funcional	1997	N/A
Dow Agro	Integrated Genomics	Desarrollo de productos	1999	N/A
Dow Chemicals	Diversa	Enzimas nuevas	2000	\$80 millones
DuPont	Maxygen	Genes nuevos	1999	N/A
DuPont	Lynx	Identificación de genes	1998	\$60 millones
FMC	Xenova	Insecticidas nuevos	1998	N/A
Hitachi	Myriad Genetics	Proteómica	2000	\$26 millones
Monsanto	Paradigm Genetics	Genómica funcional	1999	N/A
Monsanto	Genetracer	Genómica animal-vegetal	1997	N/A
Monsanto	Millenium	Genómica vegetal	1997	\$218 millones
Monsanto	Molecular Applications	Función de proteínas nuevas	1999	N/A
Novartis	Myriad Genetics	Genómica de cereales	1999	\$34 millones
Novartis	Chiron	Química combinatoria	1997	NA
Novartis Agribus	Diversa	Enzimas nuevas	1999	N/A
Novartis Institute	Invitrogen	Genómica funcional	1999	N/A
Paradigm Genetics	Lion BioSciences	Genómica	2000	N/A
Pioneer	CuraGen	Genómica	1998	N/A
Pioneer	Maxygen	Desempeño genético	1999	N/A
Pioneer	Oxford GlycoSciences	Análisis de proteínas	1998	N/A
RhoBio	Celera AgGen	Genes del maíz	1999	N/A
RhoBio	CSIRO	Expresión de gen	1999	N/A
Rhone Poulenc	Agritope	Genómica funcional	1999	\$20 millones
Rhone Poulenc	Inst. of Molecular Biology	Genómica del arroz	1999	N/A
Zeneca	John Innes Centre	Genómica del trigo	1998	N/A
Zeneca	Maxygen	Rasgos incorporados-Rasgos obtenidos	1999	\$25 millones

Fuente: Kalaitzandonakes (2000)

que el financiamiento público.<sup>27</sup> Este comportamiento de la inversión refleja el

<sup>27</sup> Las inversiones privadas para la investigación agrícola en los EE.UU. prácticamente se han triplicado en términos reales desde 1960 a 1995, llegando hasta unos 3.500 millones de dólares, que representan casi el 60% del gasto total. (Fuglie et al. 1996). En el caso de ALC, no hay ningún cálculo que situé a la investigación privada

hecho de que los mercados potenciales de la región no tienen el tamaño suficiente para respaldar los esfuerzos significativos en I+D. Los grandes mercados potenciales existen únicamente para unos pocos

por encima del 15% del gasto (Ardila 1999, Trigo 2000).

**Cuadro 18**  
**Valor estimado de los mercados**  
**comerciales de semillas**  
**en algunos países de ALC**

País	Valor (Millones US\$)
Brasil	1200
Argentina	810
México	350
Chile	120
Paraguay	70
Colombia	40
Bolivia	35
Ecuador	12
República Dominicana	7

Fuente: Desarrollado por los autores en base a publicaciones misceláneas del USDA y de la Asociación Americana de Comercio de Semillas.

cultivos en Argentina, Brasil y México (Cuadro 18).

Estos tres países juntos suman más del 80% del área cultivada de América Latina y el Caribe, y más del 85% del área dedicada a los principales cultivos comerciales de maíz, soja y algodón (Cuadro 19).

La pregunta fundamental con la que se enfrentan los sistemas nacionales de investigación con pocos recursos para ésta es ¿cuánto se debería de invertir en el desarrollo de las capacidades para llevar a cabo investigación biotecnológica? Por medio del fitomejoramiento efectivo se pueden obtener beneficios colaterales sin tener capacidad biotecnológica si se dispone de eventos genéticos útiles procedentes de otras fuentes. Sin embargo, el principal argumento para apoyar la capacidad de descubrimiento de genes es que supondrá una mayor disponibilidad de eventos destinados a abordar problemas agrícolas importantes al nivel local. Sin esta capacidad, la disponibilidad de pro-

ductos con OMG estará dominada por los eventos de clima templado desarrollados por compañías transnacionales de agricultura en otros países, principalmente en Estados Unidos.

### **Integración potencial de la biotecnología y la I+D agrícola en las universidades e institutos de investigación**

#### *Universidades e institutos de investigación*

La biotecnología no es un tipo alternativo de investigación que debiera llevarse a cabo de forma separada de las tecnologías tradicionales de investigación agrícola. Conceptualmente, la biotecnología transforma y amplía en gran manera el ámbito de las posibilidades tecnológicas de la investigación agrícola, pero debe seguir siendo considerada como un conjunto de herramientas que complementan las estrategias de investigación tradicional al hacerlas más eficientes y efectivas.

La naturaleza de esta complementariedad resulta evidente en áreas tales como la mejora de cultivos y la epidemiología. En la mejora de cultivos, las estrategias biotecnológicas (genómica e ingeniería genética moderna) pueden hacer que la mejora sea más efectiva en el tiempo y en cuanto a los objetivos buscados. La biotecnología también aporta alternativas tecnológicas que eran imposibles hace tan sólo unos años atrás, al permitir el diseño de productos completamente nuevos. Una vez que estos están disponibles, todavía existe la necesidad de retrocruzar las nuevas variedades modificadas genéticamente en la amplia base de germoplasma de las variedades comerciales existentes y llevar a cabo las evaluaciones de campo a gran escala para adaptar los nuevos productos a las condiciones ecológicas loca-

Cuadro 19

## Superficie cosechada de los principales cultivos de América Latina Promedio de 1997-99 (en miles de hectáreas)

	Maíz	Soja	Trigo	Judías	Arroz	Girasol	Yuca	Hortal.	Algodón	Banana	Papa	Plátano	Avena	Batata	Canola	Total
Brasil	11.592	12.585	1.399	3.958	3.322	75	1.574	428	714	524	174	--	196	55	17	36.615
Argentina	3.067	7.171	5.607	267	242	3.454	16	203	802	8	115	--	279	17	3	21.252
México	7.479	99	727	1.819	99	3	1	563	199	69	64	--	72	2	1	11.196
Paraguay	365	1.064	172	63	28	54	232	44	160	3	0	--	--	10	--	2.196
Colombia	528	33	20	131	409	--	190	100	54	51	167	385	--	--	--	2.067
Bolivia	283	580	169	13	132	111	36	111	51	37	131	15	5	3	--	1.678
Perú	440	3	123	98	273	--	77	170	81	--	263	115	5	15	--	1.663
Ecuador	456	20	28	59	336	0	26	78	8	204	62	63	1	0	--	1.341
Guatemala	611	18	5	130	13	--	5	39	2	24	8	7	--	--	--	862
Venezuela	373	3	1	42	158	6	44	64	37	52	18	61	--	2	--	860
Chile	93	--	380	34	22	4	--	99	--	--	62	--	88	1	21	804
Haiti	273	--	--	58	58	--	73	37	4	42	1	45	--	56	--	647
Uruguay	60	9	215	5	178	104	--	17	--	--	9	--	42	6	--	645
Honduras	409	2	2	91	11	--	1	27	1	22	2	13	--	1	--	582
Cuba	90	--	--	47	131	--	73	85	--	17	14	55	--	44	--	555
Nicaragua	245	14	--	176	71	--	5	11	2	2	2	4	--	--	--	533
El Salvador	317	1	--	79	13	--	2	8	1	6	1	3	--	0	--	431
Rep. Dom.	27	--	--	33	111	--	19	30	--	31	2	31	--	7	--	291
Costa Rica	18	--	--	39	66	--	6	14	0	48	4	8	--	--	--	204
Panamá	62	0	--	8	89	--	5	8	--	19	1	10	--	--	--	203
Guyana	3	--	--	--	139	--	2	1	--	2	--	5	--	--	--	152
Surinam	0	0	--	--	55	--	0	2	--	2	--	1	--	0	--	60
Jamaica	2	--	--	0	0	--	1	13	--	16	1	2	--	2	--	36
Belice	18	--	--	5	5	--	--	1	--	4	--	--	--	--	--	33
Martinica	--	--	--	--	--	--	0	2	--	11	--	1	--	0	--	14
Puerto Rico	0	--	--	0	--	--	0	6	--	2	--	5	--	0	--	14
Guayana Fr	0	--	--	--	9	--	2	1	--	1	--	0	--	--	--	13
S. Lucía	--	--	--	--	--	--	0	0	--	9	--	0	--	0	--	10
Trin. y Tob.	2	--	--	--	2	--	0	2	--	1	--	1	--	0	--	8
Guadalupe	--	--	--	--	--	--	0	2	--	6	--	1	--	0	--	8
S.Vic. y Gran	1	--	--	--	--	--	0	0	--	4	--	0	--	1	--	6
Dominica	0	--	--	--	--	--	0	1	--	3	0	1	--	0	--	5
Barbados	1	--	--	--	--	--	0	2	--	0	--	--	--	1	--	3
Bahamas	0	--	--	--	--	--	0	2	--	0	--	--	--	0	--	3
Granada	0	--	--	0	--	--	0	0	0	1	--	0	--	0	--	2
Anti. y Barb.	0	--	--	--	--	--	0	0	1	0	--	--	--	0	--	1
Montserrat	0	--	--	--	--	--	--	0	0	0	0	--	--	0	--	0
Is. Cayman	--	--	--	--	--	--	0	0	--	0	--	--	--	0	--	0
S.Kittis y Nevis	--	--	--	--	--	--	--	0	0	--	0	--	--	0	--	0
Is. Virgen Br.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0	--	--	--	--	--	0
<b>ALC total</b>	<b>26,814</b>	<b>21,601</b>	<b>8,847</b>	<b>7,155</b>	<b>5,975</b>	<b>3,812</b>	<b>2,391</b>	<b>2,174</b>	<b>2,117</b>	<b>1,222</b>	<b>1,100</b>	<b>833</b>	<b>688</b>	<b>225</b>	<b>42</b>	<b>84,996</b>
% Superf.	32%	25%	10%	8%	7%	4%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	100%

Fuente: FAO

les y a prácticas culturales. Este paso todavía está por hacerse a través de la producción tradicional de cultivos y el trabajo agronómico y el tipo de colaboraciones público/privadas sobre las que se han basado hasta ahora los sistemas de desarrollo de tecnología agrícola.<sup>28</sup>

Un hecho que ha sido fundamental para la biotecnología es que muchos países han hecho que las nuevas instituciones lleven a cabo investigación básica relevante para la investigación agrícola, pero a menudo estas nuevas instituciones no tienen una estrecha relación con organizaciones de investigación y transferencia de tecnología agrícola.

Mientras que la tecnología agrícola tradicional ha sido desarrollada dentro de lo que podríamos llamar un marco institucional “dedicado” (institutos nacionales, centros de investigación agrícola especializados, universidades agrícolas), la biotecnología está vinculada al entorno de la ciencia básica. La I+D agrícola tradicional tiene una estructura vertical en la que el desarrollo de los conocimientos básicos y sus aplicaciones para la generación de tecnología están estrechamente interrelacionados, normalmente llevados a cabo por el mismo organismo. El desarrollo de la biotecnología, sin embargo, tiene una naturaleza horizontal. El descubrimiento del ADN<sub>r</sub> y los principios de la ingeniería genética son aplicables a una amplia gama de materias en las áreas de la salud, el medio ambiente, la industria y la agricultura. Las capacidades de la biotecnología son de naturaleza genérica y su entorno institucional natural son los departamentos de ciencia básica de las universidades e institutos de

investigación avanzada, los cuales en la actualidad no tienen vínculo alguno con los sistemas de transferencia de tecnología de la región.

Un estudio de la FAO realizado a comienzos de los años noventa (Villalobos 1997) identifica a más de 1000 investigadores trabajando en áreas relacionadas con la biotecnología; la mayoría de ellos en universidades. Mientras que las instituciones de investigación agrícola sumaban alrededor del 35% y las empresas privadas el resto. Los indicadores de producción científica también respaldan la mayor diversidad de la participación institucional en el desarrollo de la biotecnología. Según CABI, a mediados de los años noventa, aproximadamente el 65% de las publicaciones sobre biotecnologías intermedias y cerca del 70% de las relativas a las tecnologías modernas o avanzadas, pertenecen a investigadores universitarios. Los datos más recientes de un estudio del ISNAR también presentan a las universidades como los profesionales más activos en la especialidad, y muestran que las instituciones de investigación agrícola aparecen reflejadas sólo en el caso de los países más grandes.

El Cuadro 20 muestra que la mayoría de las organizaciones que intervienen en trabajos sobre biotecnología lo hacen como parte de amplios acuerdos de redes de colaboración en los que participan instituciones de su mismo país (45,5%), otros países de ALC (13%) y del resto del mundo, como Europa (21,2%), Estados Unidos (18,8%), etc. Esta mayor diversidad de autores tiene importantes implicaciones para la elaboración de políticas en materia de tecnología. Una de las implicaciones es que, dado que las costumbres e incentivos de las organizaciones varían considerablemente entre instituciones, se necesitan programas e incentivos especia-

---

<sup>28</sup> Para una reciente discusión sobre el papel del sector público y privado en la investigación sobre el fitomejoramiento en países en vías de desarrollo ver Morris y Ekasingh (2002).

les para persuadir a los biólogos y científicos agrícolas que trabajen juntos.<sup>29</sup>

La segunda implicación es que, mientras que en el entorno tradicional de la política pública de cara a la investigación agrícola estaba determinada en su mayor parte por inversiones directas (asignaciones presupuestarias) y el establecimiento de líneas prioritarias para los institutos públicos de investigación, en el nuevo entorno institucional más diversificado las asignaciones de fondos a nivel institucional dejan de ser tan relevantes como instrumentos de política pública en relación con otros mecanismos como los fondos competitivos.

#### *Sector público y privado*

Los pasos de la biotecnología y de la investigación en fitomejoramiento encaminados a OMG de producción comercial han tenido lugar en la misma institución sólo de manera ocasional y no tienen siquiera que ocurrir en el mismo país. De hecho, en la actualidad casi todos los OMG de producción comercial en cualquier parte del mundo son el resultado de eventos genéticos producidos en los Estados Unidos y con pocas excepciones basados en la investigación biotecnológica llevada a cabo por empresas

multinacionales.<sup>30</sup> Los acuerdos comerciales entre compañías que proporcionan incidentes genéticos y las empresas de semillas son de diversa índole, siendo los más utilizados los contratos de licencia y de derechos de patentes. Hasta la fecha las multinacionales han demostrado estar dispuestas a permitir el acceso a los eventos genéticos prácticamente a toda empresa interesada. Según la experiencia de la región y del resto del mundo, está claro que por medio del uso de licencias, una institución puede ser un proveedor exitoso de OMG sin disponer de ninguna capacidad de investigación en biotecnología.

El sector privado generó unos ingresos no superiores a los 20 millones de dólares por las ventas de semillas con OMG en América Latina y el Caribe durante el año 2000, y quizás la mitad de esa cantidad en países en vías de desarrollo del resto del mundo. La lentitud con la que se están resolviendo los obstáculos de carácter político, bioseguridad y de derechos de propiedad que encuentran el uso OMG sugiere que el sector privado no tendrá prisa en dedicar un fuerte compromiso de inversión a la región. Hasta entonces, es probable que el interés privado siga centrándose en adaptar eventos ya desarrollados para la agricultura estadounidense

---

<sup>29</sup> Un ejemplo de lo que se puede hacer está en el instituto virtual del genoma financiado por la FAPESP (la Fundación de Apoyo a la Investigación del estado de São Paulo Brasil, [www.fapesp.br](http://www.fapesp.br)). Este programa reunió a biólogos de 30 universidades, facultades de medicina, facultades de agricultura, institutos de investigación agrícola, y programas de investigación del sector privado para secuenciar el patógeno vegetal *Xylella fastidiosa*. Aportó dinero para equipamiento, material fungible de investigación, edificios y la emoción de trabajar en la vanguardia de la ciencia. El resultado fue que fueron el primer grupo en todo el mundo en completar la secuencia de un patógeno vegetal.

---

<sup>30</sup> Las excepciones son 400 ha de papaya resistente a virus en Hawaii desarrollada por la Universidad de Cornell (James 2001) y aproximadamente 100,000 ha plantadas de algodón Bt por la Academia China de Ciencias Agrícolas (Pray et al. 2001). En ALC, la transformación del algodón Bt fue lograda por Monsanto e introducida en México y Argentina en una variedad de Delta & Pine-land, DP33b, la misma variedad utilizada para introducir el algodón Bt en los ESTADOS UNIDOS. La soja RR, el OMG comercial más importante, también está basada en un gen procedente de Monsanto.

**Cuadro 20**  
**Colaboración con institutos de investigación avanzada en biotecnología en ALC, 2000**

País Encuestado	País del instituto avanzado													Total
	MP	AR	BR	CU	MX	AL	US	CA	UK	FR	ES	OE	OD	
Argentina	44	-	-	-	2	-	14	-	2	1	5	10	4	<b>82</b>
Brasil	62	1	-	-	2	3	16	1	1	11	7	4	5	<b>113</b>
Chile	47	2	2	3	5	8	16	1	2	1	3	5	4	<b>99</b>
Colombia	56	1	4	6	1	10	30	2	1	8	2	19	6	<b>146</b>
Costa Rica	14	-	-	-	5	2	4	-	2	6	1	9	-	<b>43</b>
Ecuador	9	-	-	-	-	10	4	-	1	-	-	10	-	<b>34</b>
Guatemala	9	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	<b>10</b>
Jamaica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paraguay	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perú	3	2	1	2	-	1	14	1	3	2	-	9	-	<b>38</b>
Trinidad y Tobago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uruguay	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Venezuela	36	-	-	1	-	7	7	-	-	-	1	2	-	<b>54</b>
<b>TOTAL</b>	<b>280</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>42</b>	<b>105</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>29</b>	<b>19</b>	<b>68</b>	<b>19</b>	<b>619</b>

Notas: US= Estados Unidos; CA= Canadá; UK= Reino Unido; FR= Francia; SP= España; OE= Otros países europeos; OD= Otros países desarrollados; MP= Mismo país; AR= Argentina; BR= Brasil; CU= Cuba; MX= México; AL= Otros países de América Latina.

Fuente: ISNAR (2001).

y en unas cuantas plantaciones de cultivos de alto rendimiento cuya cadena comercial favorece la captación de la propiedad intelectual. En otras palabras, se podría esperar ver OMG desarrollados y comercializados para el maíz y el algodón en Brasil, Argentina y México y para el café y la caña de azúcar en varios países. En cambio, no se puede esperar que el sector privado realice importantes inversiones en el desarrollo de incidentes para cultivos de línea pura como ser el trigo, el arroz y los frijoles. Es muy probable que el sector privado no esté dispuesto a respaldar las grandes inversiones necesarias para llevar a cabo investigación dedicada a los eventos en América Latina y el Caribe hasta que el clima comercial sea más certero.

Para poder acceder a tecnologías patentadas y aplicarlas a cultivos menores o de línea pura, las instituciones del sector público van a tener que trabajar con empresas del sector privado. En algunos casos, las compañías privadas pueden estar dispuestas a donar la tecnología si se les garantiza que ésta no será utilizada para competir con ellos y que se usará de manera que no conduzca a problemas de relaciones públicas o de responsabilidad. En algunos casos, el sector público podría comprar estas tecnologías mediante el pago de una única suma de dinero o bien mediante concesiones. En unos pocos casos el sector público puede tener tecnología o germoplasma para ofrecer como intercambio por el acceso a tecnología. El sector público podría conseguir acceso a las tecnologías teniendo como intermediario un centro internacional como el

CIMMYT o el IRRI (Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz) o una organización como el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Biotecnológicas (ISAAA). Por último, existe la posibilidad de establecer colaboraciones de investigación a más largo plazo con compañías privadas, las cuales proporcionarían al sector público no sólo el acceso a las tecnologías específicas, sino también a algunos de los conocimientos y herramientas científicas que controlan dichas compañías. En la actualidad no hay ninguna institución pública de la región que haga uso más que ocasionalmente de los insumos de investigación patentados por otras instituciones, públicas o privadas. Es necesario contar con un mecanismo para institucionalizar la búsqueda de tecnologías agrícolas útiles y de negociar su uso a nivel regional

La compra de tecnología y las colaboraciones de investigación entre el sector público y el privado requieren a menudo que existan nuevas actitudes y políticas; incluyendo el deseo de trabajar con científicos del sector privado, la capacidad de negociar con empresas y gestionar las cuestiones relacionadas a los derechos de la propiedad intelectual, y a concentrarse en lograr ganancias.

### **Una capacidad confiable de supervisión en materia de bioseguridad**

La biotecnología moderna ofrece un amplio abanico de beneficios para el desarrollo agrícola y para los consumidores. Sin embargo, dado el carácter novedoso de algunos de sus componentes, en particular los OMG, la biotecnología suscita una serie de preocupaciones relativas a su seguridad para la salud humana y para el medio que han sido abordadas por un

gran número de estudios, comisiones y comités.<sup>31</sup> A pesar del consenso general sobre la seguridad de las nuevas tecnologías, dada la novedad que suponen y la falta de pruebas científicas sólidas en algunos campos (en su mayor parte en relación con las consideraciones ecológicas sobre la transferencia genética a especies de la misma familia y a los impactos para la biodiversidad). La buena disposición del público para aceptar los productos biotecnológicos está estrechamente ligada a su confianza en la integridad y validez científica de los organismos reguladores. Por lo tanto, contar con un sistema regulador competente, apolítico y transparente es una condición necesaria para el desarrollo de la industria biotecnológica. Son pocos los países del mundo que cumplen esta condición.

El Cuadro 21 resume la situación de la normativa en materia de bioseguridad de los países de América Latina y el Caribe. El panorama global adolece de una extrema debilidad. Sólo unos pocos países (México, Costa Rica, Cuba, Brasil y Argentina) cuentan con sistemas operativos, mientras que el resto tienen en su mayoría estructuras reguladoras muy recientes o parciales (Colombia, Perú, Bolivia, Paraguay, Chile, Uruguay), o carecen por completo de un mecanismo formal. Incluso en el caso de los sistemas más avanzados, algunas evaluaciones realizadas recientemente indican que hay que analizar con detenimiento los marcos reguladores y reforzarlos, particularmente en lo que se refiere a su autonomía de operación y al acceso y disponibilidad de la información científica para respaldar el proceso de evaluación de riesgos. Un estudio del ISNAR sobre el caso de Argentina (probablemente el país más avanzado en

---

<sup>31</sup> Para un resumen de las investigaciones de los diferentes estudios, ver ISNAR (2001).

cuanto al alcance del uso comercial de los OMG) ha llegado a la conclusión de que los mecanismos existentes necesitan mejoras en al menos cuatro áreas: (i) la clarificación de las funciones institucionales y de las responsabilidades de los distintos niveles administrativo, técnico y político que intervienen en los procesos de evaluación y autorización; (ii) el ámbito y profundidad de la base científica que respalda la toma de decisiones; (iii) la eficiencia y transparencia de los procesos de revisión; y (iv) concienciación y aceptación pública (Burachik y Traynor 2002).

Las preocupaciones sobre bioseguridad giran en torno a varios asuntos clave, entre ellos los procesos de cruce y el flujo de genes desde los OMG hasta las especies relacionadas y silvestres, modificaciones en la resistencia a enfermedades e insectos, y efectos sobre los organismos ajenos al objetivo (por ejemplo lombrices de tierra, microorganismos, descomposición de las hojas caídas, artrópodos ajenos al objetivo, incluidos los polinizadores y los artrópodos beneficiosos, aves y mamíferos herbívoros). Estas áreas apenas eran objeto de interés antes de la aparición de las técnicas de ingeniería genética. Por consiguiente, es relativamente escaso el conocimiento acumulado o la capacidad científica existente al respecto en la región. El flujo de genes, la resistencia a las plagas y los efectos ajenos al objetivo son temas que requieren estudios que tengan una amplia cobertura geográfica y temporal y por tanto un considerable compromiso de recursos humanos y financieros.

Otra capacidad científica necesaria para la regulación de la tecnología transgénica es la capacidad de llevar a cabo evaluaciones sobre inocuidad de los alimentos. Evaluaciones sanitarias serias con-

tribuirán de forma fundamental a lograr la confianza del consumidor en los productos biotecnológicos. Se pueden identificar dos niveles de capacidad para la seguridad alimentaria. El primer nivel se refiere a los productos transgénicos que ya han sido autorizados en algún otro país, como el caso de la soja RR. La autorización requerirá la capacidad de evaluar los ensayos sanitarios realizados en el país donde se obtuvo en primer lugar la legalización y de identificar cualquier laguna científica relevante.

El segundo nivel, más sofisticado, es la capacidad de llevar a cabo los análisis de laboratorio necesarios para generar los datos alimenticios (nutrientes: como ser proteínas, aminoácidos, calorías, vitaminas; y composición inmediata: cenizas, contenido de humedad, proteína bruta, grasa bruta, carbohidratos brutos), así como evaluaciones del potencial alergénico, toxígenos naturales, efectos antinutritivos y digestibilidad de las proteínas.

Por último, la capacidad de idear, monitorear y aplicar estrategias de manejo de la resistencia a plagas es importante y todavía no se ha probado. Los planes actuales de manejo de la resistencia todavía confían en el mantenimiento de suficientes refugios de cultivos convencionales para conservar poblaciones de variedades no resistentes a insectos que puedan cruzarse con poblaciones resistentes si estas llegaran a desarrollarse. Los programas de algodón Bt en México, por ejemplo, exigen a los agricultores que siembren con variedades transgénicas una superficie no superior a 80% de su área aldononera. El seguimiento al grado de cumplimiento de los pequeños agricultores resultará extremadamente difícil. Incluso en Estados Unidos no queda claro cuál es el grado de cumplimiento.



**Cuadro 21**  
**Resumen de la situación de la normativa sobre bioseguridad en los países de ALC, 2000**

<b>País</b>	<b>Existencia de mecanismos formales</b>	<b>Nivel de la norma</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Experiencia de funcionamiento</b>
<b>Argentina</b>	Sí	Resolución ministerial (1991)	Sólo plantas y microorganismos para uso veterinario (el reglamento específico para los animales está siendo estudiado; se han realizado evaluaciones voluntarias sobre animales).	Comisión Asesora. El procedimiento incluye evaluaciones sanitarias y medioambientales; evaluados también los riesgos comerciales de la introducción de OMG.	Más de 500 ensayos de campo, incluidos las liberaciones a escala comercial, en maíz, soja, algodón, girasol, papas, canola, trigo, arroz y remolacha azucarera. Liberaciones a escala comercial en soja, maíz y algodón.
<b>Chile</b>	Sí	Resolución ministerial (1993)	Sólo plantas	Mecanismo asesor basado en la adaptación de leyes sobre semillas. Énfasis en los “viveros de invierno,” situaciones actualmente ampliadas para cubrir las liberaciones a nivel local.	Ensayos de campo realizados en maíz, soja, tomate, canola, trigo, tabaco y remolacha azucarera.
<b>Uruguay</b>	Sí	Resolución ministerial	Sólo plantas	Mecanismo asesor basado en la adaptación de leyes sobre semillas. Énfasis en los “viveros de invierno,” situaciones actualmente ampliadas para cubrir las liberaciones a nivel local. No cubre la experimentación en laboratorio, sólo los experimentos de campo.	Ensayos de campo realizados en varias especies. Liberaciones a escala comercial autorizados para soja y maíz.
<b>Paraguay</b>	Sí	Resolución ministerial	Sólo plantas	Mecanismos asesores para decisiones ejecutivas.	No hay experiencia sobre su funcionamiento.
<b>Brasil</b>	Sí	Ley (Ley Nacional de Bioseguridad # 8974 de 1995)	Amplia cobertura (plantas, animales, microorganismos) sobre sanidad, agricultura y medio ambiente	Mecanismo ejecutivo; incluye sanciones a los infractores.	Gran número de ensayos de campo en maíz, soja, algodón, papa, caña de azúcar, frutas, tabaco y arroz; ninguna autorización comercial.
<b>Bolivia</b>	Sí	Resolución Ministerial	Sólo plantas	Mecanismos asesores para decisiones ejecutivas.	Algo de experiencia con ensayos de campo en algodón y papas. Ninguna liberación a escala comercial.
<b>Perú</b>	Sí	Ley (1999)	Amplia cobertura (plantas, animales y microorganismos)	Mecanismo de naturaleza asesora que forma parte de la ley de protección de la biodiversidad. Los procedimientos específicos aplicables al sector agrícola todavía en fase de revisión.	

**Cuadro 21 (Cont.)**  
**Resumen de la situación de la normativa sobre bioseguridad en los países de ALC, 2000**

<b>País</b>	<b>Existencia de mecanismos formales</b>	<b>Nivel de la norma</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Experiencia de funcionamiento</b>
<b>Colombia</b>	Sí	Resolución ministerial (1998)	Sólo plantas	Mecanismos asesores; no cubre el trabajo de laboratorio, sólo evaluaciones de campo.	Algo de experiencia con ensayos de campo en flores y algodón. Ninguna liberación a escala comercial autorizada.
<b>Venezuela</b>	Aprobado y en proceso de organización	Ley de Diversidad Biológica, aprobada en mayo de 2000, incluye un apartado sobre bioseguridad, que sirvió de base para el sistema que se está estableciendo (se espera que entre en funcionamiento en el 2º semestre de 2001)	Todos los OMG y sus derivados	El sistema que se está organizando se basa en una Comisión Asesora sobre Bioseguridad que actuará en el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, mientras que las funciones de vigilancia y control deben ser aplicadas por los distintos ministerios sectoriales (agricultura, sanidad, etc.)	
<b>Países de habla inglesa del Caribe</b>	No existe marco legal a nivel regional			Algunos países (Jamaica, Trinidad y Tobago) tienen normativas para la importación de plantas genéticamente modificadas; su cobertura abarca los ensayos de laboratorio y de campo. En Jamaica se están aplicando a la papaya TG.	
<b>Cuba</b>	Sí	Decreto Ley # 190 sobre Seguridad Biológica	Amplia aplicación (plantas, animales y microorganismos)	Sigue las directrices del Convenio sobre la Diversidad Biológica.	Ensayos de campo autorizados en papa, canola, hortalizas, caña de azúcar y tabaco. Ninguna liberación a escala comercial.
<b>Costa Rica</b>	Sí	Comité Técnico Asesor Nacional sobre Bioseguridad (Ley de Protección de los Cultivos N° 7664)	Sólo plantas	Énfasis normativo en el control de situaciones en “viveros de invierno.”	Ensayos de campo en maíz, soja, algodón y trigo.
<b>México</b>	Sí	Legislación Federal Mexicana (1995)	Amplia cobertura (plantas, animales, microorganismos)	Resoluciones de aplicación obligatoria.	Ensayos de campo autorizados en maíz, soja, algodón, tomate, verdura, canola, trigo, frutas, tabaco, arroz y alfalfa.

Notas: Ecuador, Republica Dominicana, Panamá, Nicaragua, Honduras, El Salvador, y Guatemala no informan de mecanismo formal alguno en funcionamiento.

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base del documento del ISNAR (2001), sitios web de agencias reguladoras e información y comunicaciones personales de autoridades competentes.

## La “apropiabilidad” de las nuevas tecnologías

En comparación con las estrategias convencionales de investigación, las nuevas biotecnologías provocan un desplazamiento del “espacio tecnológico” hacia una dimensión de carácter privado. No se trata solamente de que una gran parte de los productos finales están sujetos a los mecanismos de protección de la propiedad intelectual. Las reivindicaciones de exclusividad se están extendiendo con rapidez las herramientas que utilizan los investigadores para desarrollar nuevos productos. Esta es la característica (que prepara el terreno para la posibilidad de proteger y recuperar las inversiones en I+D) con la que se ha proporcionado un incentivo para que el sector privado movilice grandes sumas de dinero e invierta en investigación y desarrollo en biotecnología agrícola. Sin embargo, esta tendencia conlleva una serie de implicaciones para la organización y manejo de la investigación, así como para los papeles que desempeña el sector público y privado en el desarrollo de la tecnología.

En primer lugar, la creciente importancia de los derechos de propiedad aplicables, que abarcan tanto las herramientas como los productos de la investigación, exige que el sector público haga un nuevo examen de su papel en las actividades de investigación y desarrollo agrícola, incluyendo los mecanismos de manejo y financiación. En parte, todo el tema de los bienes públicos debe ser revisado cuidadosamente ya que la existencia de derechos de propiedad potencialmente aplicables hace que la distinción entre bienes públicos y privados deje de ser tan clara como antes. Con la posibilidad de aplicar derechos de propiedad en áreas que anteriormente eran de dominio público, se está poniendo en peligro la

total legitimidad de los subsidios públicos destinados a la investigación en estas áreas y debería someterse a revisión, particularmente en el contexto de la situación de permanente escasez de financiación que reina en las instituciones públicas de investigación. Al mismo tiempo, si se deja el proceso a la suerte de las fuerzas de mercado solamente, se producirá con toda probabilidad una tendencia a concentrar la investigación en aquellas áreas en las que la protección de los derechos de propiedad intelectual es más efectiva y rentable, pudiendo llevar en ocasiones a la monopolización de las tecnologías clave. Las instituciones de investigación potentes del sector público pueden servir como instrumentos efectivos de regulación del mercado para evitar que los proveedores de insumos tengan un comportamiento monopolístico. Al ofrecer fuentes alternativas de productos de biotecnología, o tecnologías precompetitivas, los NARS pueden contribuir a hacer que los mercados sean competitivos al rebajar las barreras de entrada para las pequeñas empresas que pueden ser incapaces de absorber todos los costos del desarrollo de productos.

Incluso si se acepta que el volumen total de las inversiones e innovaciones procederán de las operaciones inversionistas del sector privado y estarán sujetas a la protección de los derechos de propiedad intelectual, los institutos de investigación públicos seguirán siendo esenciales (i) para desarrollar y aplicar las estrategias de acceso a las tecnologías patentadas de importancia para el país (empresas conjuntas, licencias enmarcadas en acuerdos de segmentación de mercado, etc.); (ii) para garantizar las aplicaciones de las nuevas tecnologías de cara a una provisión más eficiente y eficaz de bienes privados (por ejemplo epidemiología y áreas relacionadas con el manejo y la conserva-

ción de recursos naturales); y (iii) para que al sector privado le resulte más atractivo invertir en investigación en las áreas que, de otra manera, no atraerían suficientes inversiones debido al tamaño o riesgo del mercado. Casos como el girasol en Argentina, o los cultivos tropicales en general, son un buen ejemplo del tipo de interacción necesaria.

Una segunda implicación es que los derechos de propiedad intelectual complican y encarecen el manejo de la investigación. Los investigadores cuentan ahora con un conjunto de herramientas mucho más potentes para trabajar, pero deben aprender a manejar los complejos instrumentos de los derechos de propiedad intelectual que controlan su disponibilidad. Los mecanismos arraigados de comunicación intelectual, esenciales para el funcionamiento de las instituciones académicas, ya se están viendo perturbados al producirse considerables retrasos en las publicaciones debido a cuestiones de propiedad intelectual. Existe un riesgo real de que los usuarios potenciales de biotecnología se sientan intimidados por la complejidad de las cuestiones relativas a la propiedad intelectual y la falta de experiencia de las pequeñas empresas y del sector público. Saber manejar los asuntos relacionados con los derechos de propiedad intelectual es una aptitud clave para las instituciones de investigación. La negociación, priorización, libertad de evaluación y la determinación de la demanda de patentes son aptitudes y conocimientos técnicos que no están plenamente desarrollados en todas las instituciones del sector público. Esto es aún más importante tomando en cuenta que a partir del primero de enero de 2002, se prevé que todas las tecnologías serán registradas en todos los países.

La creciente relevancia de los derechos de propiedad intelectual en el germoplasma ya está resultando un problema para los productores públicos que denuncian tener cada vez más dificultades para poder acceder a las prácticas genéticas tanto de fuentes privadas como públicas. Si se puede decir que ha sido difícil negociar el acceso a la tecnología privada, también se debe admitir que no existe un buen modelo para compartir la tecnología patentada entre las instituciones de los sectores público y privado. Como ejemplo de las complicaciones que existen, las transferencias a terceras partes entre instituciones del sector público de Estados Unidos y América Latina y el Caribe pueden encontrar impedimentos incluso si la institución estadounidense tiene el título de propiedad en ese país, ya que las tecnologías patentadas que han concedido licencias para desarrollar el producto pueden no ser transferibles. Así pues, es poco frecuente compartir tecnología a nivel internacional entre instituciones del sector público. Esta es una cuestión fundamental que hay que resolver ya que el futuro ritmo de progreso tecnológico generado por las instituciones del sector público puede depender casi tanto de su habilidad para negociar el acceso a las tecnologías de componentes ya existentes como de su capacidad científica para montar los componentes. En este sentido no habrá ninguna institución que pueda actuar como si fuera “tecnológicamente autónoma”.

Más allá de la cuestión del acceso a los conocimientos y materiales, también se halla la mayor complejidad del manejo de los derechos de propiedad intelectual necesarios para algunos de los trabajos biotecnológicos. La investigación privada se encuentra en mejor posición para manejarse en estas situaciones, tanto por la flexibilidad de su organización como por

su mayor solidez financiera para afrontar los gastos que genera el poder acceder a los derechos que se necesitan en cada caso. Dada esta situación, los organismos públicos de investigación tienen que desarrollar capacidades y estrategias específicas para poder acceder a los conocimientos y tecnologías que necesitan para llevar a cabo su labor, pero esto no está resultando una tarea fácil ya que implica un alejamiento del tipo de organización tradicional de la mayoría de los sistemas de investigación.

En tercer lugar, las cuestiones relativas a los derechos de propiedad intelectual son parte integral de los acuerdos comerciales. Según el Acuerdo sobre Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio (ADPIC) firmado en el marco de la Organización Mundial del Comercio, los países miembros están obligados a proporcionar al menos un mínimo grado de protección bajo patente a toda invención de cualquiera de las especialidades de la tecnología durante un mínimo de veinte años y, en el caso de las variedades vegetales, en forma de patentes y/o mediante un sistema efectivo *sui generis*.<sup>32</sup> En el caso de las innovaciones biotecnológicas está claro que aquéllas que surgen de los procesos microbianos o de microorganismos se encuadran dentro de la norma, pero en el caso de genes, la definición de “descubrimiento” no está tan clara. En general, a los países en vías de desarrollo se les dio de plazo hasta el año 2001 para cumplir con este requisito (a los países menos desarrollados se les permitió disponer de hasta once años para poner sus sistemas a punto para dicho cumplimiento). El impacto de estos requisitos está todavía abierto a debate. Los principales

temas sometidos a consideración se refieren a cómo proteger los derechos de los agricultores y de comunidades indígenas y a los argumentos éticos sobre el potencial aumento de la concentración de la oferta de tecnología. Sin embargo, las implicaciones más directas recaen sobre los sistemas agrícolas orientados a la exportación que son, en muchos casos, los que se encuentran en mejor posición para explotar el potencial de las nuevas tecnologías. Sin un marco estructural adecuado para los derechos de propiedad intelectual, esos países pueden quedarse sin acceso al mercado.

Por último, la experiencia que ha tenido el sector privado en la protección de la propiedad intelectual fuera de Norteamérica no es alentadora y las dificultades persistirán incluso en la presencia de legislaciones. Si se mide el área de adopción, los OMG que mayor éxito han obtenido son la soja resistente a herbicidas en Argentina y el algodón Bt en China. A pesar de ello, parece que los responsables del desarrollo de los OMG no han conseguido obtener ingresos de siquiera la mitad de la superficie plantada en ninguno de los casos debido a la piratería en el mercado de semillas.

La situación de los países de América Latina y el Caribe en cuanto a sus marcos estructurales para los derechos de propiedad intelectual es bastante grave. En el Cuadro 22 se resume la situación de la legislación sobre derechos de propiedad intelectual en aquellos países de los que se dispone de información. Honduras, El Salvador, Guatemala, República Dominicana, y los países caribeños de habla inglesa, no cuentan aparentemente, con sistema formal alguno de cobertura de los derechos de propiedad intelectual, ni para plantas ni para invenciones de otro tipo.

---

<sup>32</sup> En Lele et al. (2000) se puede encontrar un comentario exhaustivo sobre el tema.

**Cuadro 22**  
**Situación en América Latina y el Caribe sobre protección de los derechos de propiedad intelectual en áreas relacionadas con la biotecnología agrícola, 2000**

País	Descubrimiento	Proceso Biol.	Plantas <sup>c</sup>	Variedades de plantas <sup>d</sup>	Animales (razas)	Microorganismos	Genes
Argentina	no	si	si	si	si	si	si
Chile	no	si	?	si	no <sup>e</sup>	si	?
Brasil	no	si	no	si	no	no	no
Uruguay	no	no	no	si	no	si	no
Paraguay	no	no	no	si	no	?	?
Bolivia <sup>a</sup>	no	no	no	si	no	?	?
Perú <sup>a,b</sup>	no	no	no	si	no	?	?
Ecuador <sup>a</sup>	no	no <sup>f</sup>	si	si	no	si	si
Colombia <sup>a</sup>	no	no	no <sup>g</sup>	si	no	si	?
Venezuela <sup>a</sup>	no	no	no	si	no	si	si
México	no	no	si	si	no	si	?
Costa Rica	no	no	no	no	no	?	?

Notas: **no** significa falta de protección; **si** significa que existe protección; **?** significa que las regulaciones nacionales no están claras.

(a) Legislación acorde con la Decisión 344 del Protocolo de Cartagena.

(b) Dos aplicaciones archivadas para patentes de genes (No. 262710.95 y No.273859.95) pero que no están aprobadas.

(c) UPOV 78 y/o 91.

(d) Modificación genética.

(e) Las razas de animales son evidentemente excluidas de la patentabilidad (Ley 19.039, Art. 37b) pero no los animales como tal.

(f) Sí en el caso de variedades de plantas. No en el caso de animales.

(g) No definido. El documento de WIPO reporta que no existe exclusión de plantas para la patentabilidad pero que al mismo tiempo no es posible obtener una patente para una planta como tal.

Fuente: Elaborado por los autores sobre la base del documento del ISNAR (2001), IICA (1993), Banco Mundial (1999) y WIPO (2001).

El punto más importante se refiere a los casos en los que existe legislación y sin embargo su cobertura no es clara, podría decirse que ninguno de los países cumple totalmente con el acuerdo ADPIC. Un reciente informe del ISNAR sobre el tema pone de manifiesto con acierto que éstas son cuestiones nuevas y complejas y que, en muchos casos, todavía se están discutiendo los términos y condiciones. Por lo que pasará algún tiempo hasta que queden establecidos y legalmente definidos (Salazar et al. 2000).

La situación es algo diferente en cuanto a la protección de las variedades vegetales, ya que los derechos de los productores tienen un historial más largo en la región. En Argentina, Chile y Uruguay existe legislación sobre este tema desde hace unos veinte años, aunque su total aplicación entró en vigor hasta mediados de los ochenta. Desde entonces, México, los países del Pacto Andino y Brasil también han adoptado leyes al respecto. En Brasil, la promulgación de las leyes sobre variedades de plantas ha tenido un importante impacto en las inversiones en la industria de semillas, en cambio el efecto ha sido menor en otros países.

Sin embargo, un estudio realizado por Jaffé y van Wijk (1995) demuestra que el impacto de este tipo de legislación es pequeño, incluso en aquellos países en los que existe desde hace tiempo. También demuestra que se ha producido un impacto indirecto considerable por medio del fortalecimiento de los programas locales de mejora genética (sobre todo en las especies de polinización libre) y a través de la mejora del acceso de las industrias a las variedades avanzadas. Este último impacto parece ser de gran importancia para los productores de frutas y flores (Banchero et al. 1999).

Esta es un área donde existe gran potencial para los países de la región que trabajan juntos en la definición de interpretaciones y estrategias comunes para gestionar los recursos y oportunidades que en numerosas ocasiones son de naturaleza transfronteriza. A nivel de organismos de investigación, las cuestiones sobre derechos de propiedad intelectual también se entienden y gestionan de manera insuficiente. Según el mismo estudio del ISNAR (2001), que abarca cinco países de la región, en 33% de los casos en los que los investigadores utilizaban tecnologías protegidas, éstos no tenían información sobre los métodos de protección y la mayoría de los encuestados desconocían los principios de territorialidad de las patentes o de las posibles consecuencias para su investigación. La mayoría de los casos que informaron de la existencia de acuerdos formales se referían a acuerdos de transferencia de materiales y permitían el uso de las tecnologías para investigación, pero restringían su uso por parte de terceras partes así como la posible comercialización de los productos resultantes. Sin embargo, la mayor parte de los centros de investiga-

ción (70%) no preveían problemas por la divulgación de los productos finales derivados de sus investigaciones biotecnológicas, aunque el informe refleja sus altas expectativas de poder proteger esos productos; de los 50 productos reportados para el informe, se esperaba que el 74% fueran protegidos bien por patentes o por protección de las variedades vegetales (Salazar et al. 2000).

En resumen, la situación descrita anteriormente pone de manifiesto la extrema confusión que caracteriza a esta era de transición y las dificultades a las que se enfrentan los organismos de investigación para acceder y explotar las herramientas de las nuevas tecnologías. Es necesario introducir innovaciones en las instituciones y en los mecanismos de manejo si quieren poder formar parte del nuevo escenario de la I+D que se está creando. La definición de políticas institucionales (que pueden o no contemplar la creación de servicios de derechos de propiedad intelectual) y la formación de investigadores en el manejo de asuntos relacionados con los derechos de propiedad intelectual parecen ser los pasos comunes mínimos que deben dar todos los organismos. He aquí otra área en la que puede haber economías de escala que justifiquen una estrategia regional o subregional para algunos asuntos, complementando las actividades nacionales.

#### *Infraestructura para la transferencia de tecnología*

Las capacidades de I+D no son por sí solas suficientes para explotar los beneficios potenciales que ofrece la biotecnología. La mayoría de los productos relevantes que son fruto de los enfoques biotecnológicos de la I+D son tecnologías de tipo “incorporada,” que para poder producir sus beneficios potenciales, deben

ser incluidas en un paquete, ya sean semillas u otro tipo de insumos físicos (como herramientas para diagnósticos, vacunas o levadura y otros insumos de tipo industrial). En consecuencia, la capacidad de desarrollar prototipos y extrapolarlos a la escala de producción y comercialización industrial, es un componente fundamental para desarrollar el sector de la biotecnología.

En este contexto, la existencia de un mercado e industria de semillas (en términos de volumen de variedades) es probablemente el sector más decisivo ya que son las semillas el vehículo a través del cual se incorporan a los sistemas de alimentos y fibra la mayoría de las innovaciones. La importancia estratégica del sector de semillas queda corroborada por lo que le ha sucedido a su estructura a lo largo de los últimos diez años y por el surgimiento de la industria de las “ciencias de la vida.” El apoyo a la industria de las semillas debería probablemente materializarse en primer lugar para fortalecer las instituciones claves del mercado (como un corpus legal en materia de propiedad intelectual y su aplicación, racionalización de las leyes que controlan la importación de semillas y el registro de variedades) y para las agrupaciones de comerciantes y empresarios del sector de las semillas. Otras áreas en las que se necesitan capacidades industriales son las del cultivo de tejidos, el diagnóstico y los productos veterinarios. En general, estas capacidades son una característica intrínseca de las empresas de nueva creación “basadas en el conocimiento,” que intervienen de manera activa en el proceso de I+D, en ocasiones a través de colaboraciones conjuntas con instituciones de investigación, pero muy a menudo con programas de investigación desarrollados en la propia empresa.

Esta tendencia se ve reforzada por el hecho de que en muchas áreas de la biotecnología la frontera entre la investigación básica y la aplicada no está claramente definida puesto que muchos esfuerzos en investigación básica tienen importantes aplicaciones potenciales de carácter comercial. Esto justifica la inversión directa de capital privado y hace que la clásica asignación de responsabilidades pública-básica, privada-aplicada en el proceso de desarrollo de la tecnología quede menos definida que en el pasado.

Los mecanismos de transferencia de tecnología (en otras palabras, la existencia de un mercado activo de insumos tecnológicos) son importantes no sólo por lo que significan para la organización del proceso de I+D, sino también porque, dadas las circunstancias, la política pública y los instrumentos de promoción deben tener en cuenta, además de los instrumentos propios de la investigación, las actuaciones e instrumentos relacionados del desarrollo de la industria de insumos. En el caso de las semillas, tan sólo unos pocos países de la región parecen contar con programas efectivos de mejoramiento de cultivos y un mercado de semillas con un volumen de ventas suficiente para respaldar una línea de acción activa de innovaciones basadas en la biotecnología. En lo relativo a otras áreas de oportunidades la situación no parece ser muy diferente. La mayoría de las fuentes señalan la existencia de tan sólo unas cuantas compañías que están activamente involucradas en el desarrollo y comercialización de productos biotecnológicos animales y vegetales. La mayoría de esos esfuerzos se producen en las áreas más simples y tradicionales (cultivo de tejidos y diagnóstico), siendo sólo unas pocas empresas las que utilizan la biología molecular y la ingeniería genética como parte de su actividad empresarial central.



Una revisión del sector realizada por el ISNAR (2001) señala que unas 35 empresas en Argentina, 45 en Brasil, 30 en Chile y 25 en México están involucradas en actividades de producción o servicios en el área de la biotecnología.<sup>33</sup> En términos generales, el cultivo de tejidos y las aplicaciones de micropropagación son las tecnologías en uso más extendidas; sin embargo, también existen experiencias importantes en productos de sanidad animal y vegetal, pero no en las tecnologías más avanzadas. En conjunto, la debilidad de los desarrollos del sector privado a este nivel es una de las limitaciones más sustanciales para el futuro desarrollo del sistema. El origen de esta debilidad no parece estar vinculada al potencial científico, sino a otras restricciones que afectan a la creación de nuevas empresas y a las inversiones en I+D. La debilidad de los mercados de capital locales y la ausencia de mecanismos de capital de riesgo en la mayoría de los países son factores clave y áreas potenciales para la futura intervención.

En relación a la habilidad de cada país para explotar los beneficios de las nuevas tecnologías es importante analizar la capacidad de disponer de sistemas de mercado para gestionar los OMG y demás productos de la biotecnología al margen de sus contrapartes. Esto hace referencia a la infraestructura logística necesaria para hacer funcionar sistemas de “preservación de la identidad” por

---

<sup>33</sup> Otras fuentes mencionadas en Trigo (1999) también identifican un número muy reducido de empresas que operan en países como Uruguay, Colombia, Costa Rica y Venezuela. Cuba también comercializa una serie de productos biotecnológicos, incluidos algunos como vacunas animales recombinantes, anticuerpos vegetales y cultivos transgénicos, así como cultivo de tejidos y aplicaciones de la micropropagación a escala comercial.

medio de la cadena de comercialización y para cumplir con los requisitos de etiquetado que están emergiendo en muchos mercados. En estos momentos, estos requisitos constituyen una barrera para la difusión de la tecnología ya que la diferencia de precios no parecen justificar su desarrollo y los productores no han sido partidarios de respaldar las iniciativas para conseguirlo. No obstante, el debate sobre el etiquetado ha sido siempre abordado desde su lado negativo (para proteger el derecho del consumidor a saber que están ante un incidente potencialmente “nocivo”). Cuando el tema se encuadra bajo una perspectiva a más largo plazo, la relevancia de este debate toma un giro diferente. La necesidad de segregación y preservación de la identidad de los OMG dentro de la cadena alimenticia se convierte en un aspecto fundamental para el futuro desarrollo de la tecnología, no por las cuestiones relacionadas con la protección y los derechos del consumidor sino como instrumento esencial para justificar o proteger las inversiones en esta área.

En cualquier caso, ya sea de cara a las consideraciones de hoy en día sobre la protección del consumidor y del medio ambiente, o a la futura viabilidad de las oportunidades de diferenciación, el factor que limita la explotación de los beneficios potenciales (costos de producción más bajos, o nuevas características de calidad en los productos) es la capacidad de los sistemas logísticos para segregar los OMG de los cultivos que no han sido sometidos a un proceso de modificación genética.

En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, los sistemas de comercialización, particularmente los de grano, semillas oleaginosas y otros alimentos básicos, han adaptado su desarrollo para explotar las economías de escala

en situaciones en las que la preservación de la identidad de lotes individuales no tenía valor. En el caso de los nuevos OMG, la segregación pasa a ser el punto clave para la adopción y la difusión, ya que sólo a través de ella los mercados serán capaces de ajustar las indicaciones de sus precios a favor de los nuevos productos, si los consumido-

res están dispuestos a pagar un precio mayor por las características de calidad ofrecidas. La necesidad de inversiones privadas para la nueva infraestructura logística sólo quedará satisfecha si se introducen innovaciones institucionales en los actuales sistemas reguladores del mercado y de los contratos.

## VI. Utilización de las oportunidades de la biotecnología agrícola

La situación de la biotecnología en América Latina y el Caribe se puede resumir en torno a dos observaciones. En primer lugar, en la región existen áreas donde se concentra una capacidad de investigación biotecnológica de alta calidad en técnicas de transformación molecular, pero existen serias debilidades tanto en su distribución geográfica como en las áreas de investigación. En realidad hace falta una visión estratégica y la habilidad para establecer prioridades y coordinar los componentes del sistema de innovación que abarca una amplia gama de limitaciones de producción, especies de cultivo y ganado. Esta capacidad ha evolucionado en un clima de financiación para I+D muy restrictivo y por tanto se ve limitada. Por otra parte, son pocos los países en los que la capacidad de investigación pública está respaldada por un entorno adecuado de bioseguridad y derechos de propiedad intelectual. La segunda observación se formula en términos de aplicaciones al nivel comercial, la biotecnología está todavía en una fase muy temprana de desarrollo. El uso comercial está concentrado principalmente en la biología celular y las técnicas de diagnóstico. Las aplicaciones de la ingeniería genética se concentran en dos países, se utilizan en su mayor parte para la producción en clima templado, y los eventos utilizados fueron desarrollados por corporaciones multinacionales de fuera de la región.

Estas tendencias no deben sorprender ya que los patrones de difusión de todas las tecnologías novedosas tienden a reflejar la base científica y el tamaño de los mercados, y hasta la fecha la mayoría de los esfuerzos científicos tienen una aplicación más directa sobre la situación de la producción agrícola de clima templado. Sin embargo, los inter-

rogantes que realmente importan se refieren a cuál se espera que sea la evolución de la biotecnología, ya sea si puede atender a las necesidades de la sociedad, y de qué manera las iniciativas que tomen los países para sus políticas pueden mejorar el acceso a las tecnologías que pueden favorecer a la agricultura y al medio ambiente. El resto de esta sección se centra, en primer lugar, en los posibles escenarios para el desarrollo de las tecnologías y, en segundo lugar, en el examen de las alternativas que cada país puede estar dispuesto a considerar. Prestando especial atención a las cuestiones en las que podría asistir el BID.

### **Posibles escenarios para la evolución de la biotecnología**

En el debate sobre los posibles escenarios de la evolución de la biotecnología, hay que tener en cuenta dos tipos de consideraciones. Uno de los escenarios es la posible evolución de la ciencia, basada en el tipo de investigación que se está llevando a cabo y en la probabilidad de que estas investigaciones tengan éxito. El segundo tipo de consideración se refiere a aspectos no relacionados con la ciencia que pueden influir en el flujo de recursos para la investigación y en la posible aceptabilidad de los resultados de la investigación.

Teniendo en cuenta sólo el primer tipo de consideraciones, el Cuadro 23 presenta lo que se espera estará disponible en términos de I+D en el corto y medio plazo. A partir de esa información se deduce que los beneficios potenciales para los países de América Latina y el Caribe son bastante evidentes, ya que lo que está en vías de ser disponible abarca la mayoría de los principales cultivos

**Cuadro 23**  
**Resumen de las características de los OGM a corto y medio plazo**

<b>Corto plazo</b> <b>(1-5 años)</b>	<p><b>Características referidas a la producción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tolerancia a herbicidas extendida al algodón<sup>a,b</sup>, maíz<sup>a</sup>, arroz<sup>a</sup>, girasol<sup>a</sup>, trigo<sup>b</sup>, papa<sup>a</sup>, altramuz<sup>b</sup>, trébol<sup>b</sup>, chícharo<sup>b</sup>, remolacha forrajera, remolacha azucarera, caña de azúcar<sup>a</sup>, alfalfa<sup>a</sup>, tomate, lechuga, girasol, eucalipto<sup>a</sup>, canola<sup>a,b</sup>, y soja<sup>a</sup>.</li> <li>▪ Resistencia a insectos en alfalfa<sup>a</sup>, arroz, soja<sup>a</sup>, girasol<sup>a</sup>, tomate<sup>a,b</sup>, caña de azúcar<sup>a</sup>, batata<sup>a</sup>, chícharo<sup>b</sup>, manzana, col<sup>a</sup>, tabaco<sup>a</sup>, y álamo.</li> <li>▪ Resistencia duradera a insectos utilizando Bt múltiple y otros genes en algodón<sup>a,b</sup>, girasol<sup>a</sup>, y maíz<sup>a</sup>.</li> <li>▪ Resistencia a virus en trigo<sup>a</sup>, papa<sup>a,b</sup>, altramuz<sup>b</sup>, trébol blanco, tomate, pimiento dulce, caña de azúcar<sup>a,b</sup>, cebada<sup>b</sup>, papaya<sup>a,b</sup>, tabaco<sup>a</sup>, melón<sup>a</sup>, y calabaza<sup>a</sup>.</li> <li>▪ Resistencia a bacterias/hongos en maíz (grano), trigo<sup>a</sup>, banana, girasol<sup>a</sup>, arroz, papa<sup>a</sup>, canola<sup>b</sup>, clavel<sup>b</sup>, y tabaco<sup>a</sup>.</li> </ul>
	<p><b>Características referidas a la calidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alimentos y piensos más saludables y nutritivos de maíz<sup>a</sup>, soja<sup>a</sup>, canola<sup>a</sup>, trigo<sup>ab</sup>.</li> <li>▪ Remedios para deficiencias vitamínicas – arroz dorado<sup>b</sup>.</li> <li>▪ Microelementos potenciados – niveles de hierro en arroz<sup>b</sup>.</li> <li>▪ Estructura química mejorada – mejor sabor, color, gusto, almacenaje de la papa<sup>a</sup>, tomate<sup>a</sup>, clavel<sup>a</sup>, canola<sup>b</sup>, banana<sup>a</sup>, y piña<sup>a,b</sup>.</li> <li>▪ Calidad mejorada de la fibra del trigo<sup>b</sup>.</li> </ul>
<b>Medio plazo</b> <b>(5-10 years)</b>	Aumento del rendimiento del trigo por medio de la hibridación.

Notas: (a) En ensayo en uno o más países de ALC; (b) En ensayo en países afuera de ALC. La información sobre los ensayos de campo incluye los siguientes países: ALC: Argentina, Belice, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, México, Perú, y Uruguay. No ALC: EE.UU., Austria y Australia.

Fuentes: James (2000), James (1996), Brasil CTNBIO Ministerio da Ciencia e Tecnologia, INIA de Chile, Instituto Colombiano de Agricultura, SAGAR Dirección General de Sanidad Vegetal de México.

de la región. Sin embargo, esta evidencia también refleja una inclinación hacia la producción de clima templado en la orientación de la investigación industrial. Los principales eventos que han conseguido llegar al mercado hasta la fecha son esencialmente de clima templado, al igual que los que están próximos a su comercialización. Esto no debe causar sorpresa ya la capacidad de I+D, el tamaño del mercado y la infraestructura de transferencia de la tecnología se aglutinan en entornos de agricultura de clima templado. Sin embargo, también está claro que el potencial, tanto para la explotación de la biodiversidad, como para mejorar las condiciones socioeconómicas, reside en la agricultura tropical. La tendencia industrial hacia el desarrollo de productos de clima

templado no cambiará a corto plazo ya que ni las capacidades científicas, ni el tamaño del mercado, ni las infraestructuras de transferencia de la tecnología parecen ser las adecuadas para que se desarrollen eventos significativos. Con la sola excepción de Brasil y de los cultivos de plantación como el café, el cacao, las bananas y la caña de azúcar, ningún país de la región dispone de la solidez científica que se requiere para llevar a cabo los esfuerzos necesarios en combinación con un área de mercado suficiente para atraer el nivel de actuaciones del sector privado necesario para llenar el vacío existente.

Bajo una perspectiva más amplia, el Cuadro 24 presenta tres escenarios alternativos para el desarrollo del sector de la biotecnología,

añadiendo a la información existente sobre líneas de acción en I+D y probabilidad de disponibilidad de productos bajo diferentes comportamientos inversionistas posibles, la concienciación pública y las condiciones de la demanda. El escenario “optimista” asume que la consolidación de la tecnología y su transformación en fuerza impulsora del cambio técnico en los sectores de la fibra y de los alimentos. También da por hecho que se mantienen los niveles actuales de inversión y que se ven cumplidas la mayoría de las expectativas presentes. Se trata del escenario de los “altos beneficios”.

En el otro extremo, la perspectiva “pesimista” da por hecho un deterioro de la situación actual de la aceptación pública y que, debido a la acontecimiento de una serie de efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, la I+D fracasa en transferir conforme a lo esperado, o lo más probable, una mezcla de ambas situaciones. En este escenario no hay otros beneficios más allá de los que se puedan obtener de las estrategias convencionales.

La tercera alternativa representa la proyección de la situación actual con una progresiva inclinación hacia el escenario optimista, y es la que proponemos para evaluar las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías. En este caso son dos los tipos de consideraciones pertinentes. Uno es el desarrollo de buenos mecanismos de evaluación de riesgos y bioseguridad y la constante acumulación de evidencia científica favorable a la aplicación de las nuevas tecnologías conforme se vayan liberando al medio ambiente un número cada vez mayor de OMG sin consecuencias negativas.

Para llegar a ese punto, debe ponerse en marcha un sistema de vigilancia continuo bien diseñado durante al menos cinco años cuando se liberen nuevos productos al medio ambiente tropical. Aunque la incidencia en

la salud humana sería mucho más difícil de vigilar debido a los muchos factores que intervienen, resulta relativamente sencillo seleccionar zonas donde llevar a cabo estudios de la incidencia medioambiental a medio plazo. La divulgación de este tipo de datos entre el público también ayudaría a cambiar la percepción del ciudadano.

El segundo aspecto es el comienzo de la transición a nivel de producto de las características vinculadas a la producción a las características referidas a la calidad. Dado que los consumidores se convierten en principales beneficiarios de las biotecnologías, también convendría prever una actitud más positiva hacia la biotecnología. Esta tendencia debería verse reforzada por el creciente esfuerzo que se está ejercitando en una serie de países para mejorar la percepción pública de las tecnologías.<sup>34</sup>

Todos estos elementos podrían actuar en la misma dirección positiva de cara a la aceptación pública y, a su vez, revertiría en niveles de inversión más elevados y mayor volumen de productos finales.

### **Componentes de una estrategia de desarrollo de la biotecnología agrícola**

En el futuro probablemente será más importante el cómo acceder y explotar la tecnología, que la aceptación del consumidor y la comercialización. La experiencia de América Latina y el Caribe con OMG parece indicar que los vínculos estratégicos vitales entre la investigación y el agricultor se encuentran en la existencia de capacidades de tipo

---

<sup>34</sup> La reciente nueva Directiva de la Unión Europea sobre OMG, que implica el levantamiento de la moratoria *de facto* sobre los OMG vigente desde 1998, es un indicio de la dirección que está tomando el debate y del tipo de política medioambiental que se puede esperar conforme evoluciona el desarrollo tecnológico.

**Cuadro 24**  
**Tres escenarios alternativos para el desarrollo de la biotecnología**  
**en los próximos 20 años**

	<b>Optimista</b>	<b>Estable</b>	<b>Pesimista</b>
General	La biotecnología se convierte en el paradigma tecnológico dominante de los sistemas agrícola y alimentario.	Situación actual. La biotecnología agrícola sigue suscitando controversia y la inversión en I+D se queda estancada y principalmente dirigida a áreas no relacionadas con el consumo.	Una mayor virulencia en la oposición a los OMG por parte de grupos ecologistas y de consumidores se extiende hasta los EE.UU. Se generaliza el etiquetado. Se produce una reducción de las inversiones en I+D.
Perspectiva de la demanda	Mayor aceptación del consumidor en Europa, Japón y EE.UU. China se convierte en uno de los principales participantes en la industria. Las ventas en 2010 alcanzan US\$ 25 mil millones.	Europa y Japón permiten utilizar OMG para piensos animales y se produce un lento pero gradual aumento de la aceptación del consumidor debido a la ausencia de problemas serios de salud y medio ambiente y al etiquetado.	Los mercados europeos se cierran a los OMG; el etiquetado se generaliza.
Situación 2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso del cultivo de tejidos y otras estrategias celulares se generaliza para producir materiales de planta mejorados así como subproductos biológicos.</li> <li>• Las herramientas para diagnósticos basados en estrategias moleculares están disponibles para una amplia gama de aplicaciones de sanidad animal y vegetal y calidad alimentaria.</li> <li>• La tolerancia a los herbicidas se extiende a la mayoría de los cultivos.</li> <li>• La investigación genómica se extiende y abarca la mayoría de los cultivos convirtiéndose en una herramienta habitual.</li> <li>• Comienza a extenderse la resistencia a virus y hongos.</li> <li>• Aumenta el rendimiento gracias a los híbridos del algodón y del maíz.</li> <li>• Se extienden los aceites y proteínas de mejor calidad y se convierten en las principales fuentes de ingresos.</li> <li>• Los suplementos naturales para la salud de procedencia vegetal están disponibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso del cultivo de tejidos y otras estrategias celulares se generaliza para producir materiales de planta mejorados así como subproductos biológicos.</li> <li>• Las herramientas para diagnósticos basados en estrategias moleculares están disponibles para una amplia gama de aplicaciones de sanidad animal y vegetal y calidad alimentaria.</li> <li>• La tolerancia a los herbicidas y Bt se extiende a la mayoría de los cultivos pero con menor incidencia en la productividad.</li> <li>• Se extienden los cultivos resistentes a enfermedades – resistencia a virus y hongos.</li> <li>• Aumenta el rendimiento gracias a los híbridos de la canola.</li> <li>• El trabajo de la canola progresa pero a un ritmo lento.</li> <li>• Los aceites de calidad mejorada y la proteína mejorada para el maíz son fuentes menores para el aumento de beneficios (muchos sustitutos y coste de la segregación).</li> <li>• Los suplementos naturales para la salud de procedencia vegetal se llevan una parte muy pequeña del mercado de suplementos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso del cultivo de tejidos y otras estrategias celulares se generaliza para producir materiales de planta mejorados así como subproductos biológicos.</li> <li>• La resistencia a plagas fracasa rápidamente, otros genes no son tan efectivos para controlar las plagas.</li> <li>• El rendimiento aumenta sólo debido a los híbridos de la canola.</li> <li>• Los trabajos de la genómica se vuelven muy restringidos y limitados a fines de investigación.</li> <li>• Los aceites de calidad mejorada y la proteína mejorada para el maíz no producen beneficios (muchos sustitutos y coste de segregación).</li> <li>• Los suplementos naturales para la salud de procedencia vegetal se llevan una muy parte pequeña del mercado de suplementos.</li> </ul>

**Cuadro 24 (Cont.)**  
**Tres escenarios alternativos para el desarrollo de la biotecnología**  
**en los próximos 20 años**

	<b>Optimista</b>	<b>Estable</b>	<b>Pesimista</b>
Situación 2010	<p>Se extiende el arroz rico en vitamina A.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se continua el desarrollo de nuevos genes para la protección de cultivos.</li> <li>• La transgénesis se extiende a los cultivos tropicales.</li> <li>• Aumento del rendimiento gracias a los híbridos del trigo y otros cultivos.</li> <li>• Los rasgos de calidad se diversifican y extienden a las variedades de cultivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El arroz rico en vitamina A se extiende con lentitud porque a los agricultores no les gusta el color y el sabor.</li> <li>• La resistencia a plagas desarrolla hasta convertirse en la primera generación de productos biotecnológicos –se continua el desarrollo de nuevos genes para la protección de los cultivos.</li> <li>• Aumenta el rendimiento a través de los híbridos del arroz, maíz y otros cultivos.</li> <li>• Los usos industriales sólo ofrecen una pequeña ventaja en los costes frente a los métodos convencionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las herramientas para diagnósticos basados en estrategias moleculares están disponibles para una amplia gama de aplicaciones de sanidad animal y vegetal y calidad alimentaria.</li> <li>• El arroz rico en vitamina A se extiende con lentitud porque a los agricultores no les gusta el color y el sabor.</li> <li>• La resistencia a plagas desarrolla hasta convertirse en la primera generación de productos biotecnológicos –las sustituciones son lentas.</li> <li>• El aumento del rendimiento a través de los híbridos no es suficiente para cubrir el incremento en los costes de producción.</li> <li>• Los usos industriales no ofrecen ventaja alguna en los costes frente a los métodos convencionales.</li> </ul>
Situación 2020	<p>La mejor calidad se convierte en norma habitual.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Importantes incrementos del rendimiento gracias al aumento de la eficiencia de la planta.</li> <li>• Desarrollo de nuevos productos químicos para la protección de cultivos y la potenciación del rendimiento.</li> <li>• Se autoriza el uso en humanos de los complementos alimenticios clínicamente probados (cáncer, infartos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importantes aumentos del rendimiento gracias al incremento en la eficiencia de la planta.</li> <li>• Se continúa el desarrollo de nuevos genes para la protección de los cultivos.</li> <li>• Desarrollo de nuevos productos químicos para la protección de cultivos y la potenciación del rendimiento.</li> <li>• Complementos alimenticios probados químicamente que reducen el riesgo de cáncer e infarto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento gradual del rendimiento gracias al incremento en la eficiencia de la planta.</li> <li>• Desarrollo más rápido de nuevos genes para la protección de cultivos.</li> <li>• Desarrollo de nuevos productos químicos para la protección de cultivos y la potenciación del rendimiento.</li> <li>• Los usos industriales adquieren un carácter práctico.</li> </ul>

Fuente: los autores.

más básico, es decir, programas de fitomejoramiento tradicional y mercados de semillas operativos, así como labores de micropropagación comercial y otro tipo de capacidades industriales (por ejemplo, los sectores del diagnóstico vegetal, los sectores de la medicina veterinaria comercial, etc.), más que en la capacidad científica necesaria para desarrollar los correspondientes eventos o productos. Tal y como se comentaba en el Capí-

tulo 5, todos los OMG producidos comercialmente en cualquier parte del mundo son el resultado de eventos genéticos desarrollados en Estados Unidos, con unas pocas excepciones basadas en la biotecnología llevada a cabo por compañías multinacionales.

Los países de América Latina y el Caribe en general tienen frente a sí un amplio potencial para obtener biotecnología. Pueden

aprovechar el potencial de los beneficios colaterales que se pueden devengar de las inversiones ya en marcha para I+D en los países desarrollados (principalmente en Estados Unidos), pero en algunos casos, también en países europeos, y cada vez más en China. Además, pueden explotar las nuevas tecnologías en sus propios programas de investigación para mejorar la producción de bienes públicos y sacar el máximo provecho de la riqueza y diversidad de sus recursos naturales. Es cierto, sin embargo, que para muchos países de la región; sus oportunidades se ven mermadas por el estado de subdesarrollo de su infraestructura de I+D agrícola, o por la escala y naturaleza de su industria agrícola (sus mercados son demasiado pequeños para respaldar las inversiones en I+D y sus mercados de semillas no están suficientemente desarrollados). Las estrategias de desarrollo de la biotecnología agrícola deberían tener su punto de mira en cuatro áreas fundamentales: (i) la creación de un entorno que permita el uso de las nuevas tecnologías; (ii) el desarrollo de la capacidad biotecnológica; (iii) el apoyo al desarrollo de las capacidades industriales y comerciales, particularmente en el sector clave de la distribución de semillas; y iv) el apoyo a la recopilación, conservación y manejo de los recursos genéticos.

### **Creación de un entorno favorable para el uso de la tecnología**

Existen dos áreas esenciales para que las inversiones en el sector de la biotecnología se desarrollen de una manera sostenible. La primera está relacionada con las posturas adoptadas en el establecimiento de la política en materia de biotecnología; la segunda es la existencia o no de un sistema de bioseguridad que funcione y de un marco estructural para los derechos de propiedad intelectual.

Las empresas privadas se muestran renuentes a invertir en investigación biotecnológica y a transferir tecnología a menos que los responsables de las políticas estén lanzando un mensaje que indique claramente que la biotecnología es bien recibida. En la actualidad los responsables de formular las políticas de una serie de países de América Latina no saben todavía qué hacer con el tema de la biotecnología y van tomando decisiones al respecto según van surgiendo las necesidades. Estos responsables en América Latina y el Caribe necesitan tener cierta capacidad de analizar los costos y beneficios de muchas alternativas para las políticas en materia de biotecnología. A nivel nacional, muchos países podrían beneficiarse de una estrategia biotecnológica en la que los mejores economistas y científicos examinaran las opciones que tienen ante sí los responsables de las políticas. Una vez realizado este ejercicio, los responsables de las políticas y las agencias de financiación para la investigación deberían ser capaces de examinar todas las nuevas cuestiones que van surgiendo, haciendo uso de empresas de consultoría o de sus propios recursos sobre política económica y científica. El fortalecimiento de estas capacidades, tanto a nivel regional como nacional, debe ser una prioridad en toda iniciativa encaminada a apoyar el desarrollo de la biotecnología en la región.

La existencia de un sistema de bioseguridad y un marco institucional para los derechos de propiedad intelectual que funcionen, así como sus correspondientes capacidades de manejo, constituyen las dos piedras angulares para la creación de las condiciones necesarias para la explotación de las nuevas tecnologías. A través de la existencia y el adecuado funcionamiento de estos dos desarrollos institucionales interrelacionados, los países podrán acceder al conocimiento y herramientas de investigación que necesitan y desarrollar la aceptación pública y el apo-



yo para su aplicación para mejorar la producción de alimentos y fibra.

El apoyo a la normativa sobre bioseguridad necesita estar dirigido hacia estas tres áreas fundamentales: (i) el desarrollo de normas y reglamentos; (ii) la generación de información científica relevante para el análisis de riesgos; y (iii) la institucionalización de los procedimientos administrativos y capacidades para su aplicación. Además, es importante incorporar el apoyo a la investigación en evaluación de riesgos ecológicos y manejo de riesgos vinculado a las necesidades identificadas en ALC, incluyendo estudios de viabilidad ecológica. En general, las cifras relativas a los costos de implementación y aplicación de la normativa sobre bioseguridad y seguridad alimentaria y alimenticia, y mejores prácticas de laboratorio no se conocen a ningún nivel: investigación y desarrollo y sistemas de diseño de políticas.

En muchos países no se han promulgado leyes sobre derechos de propiedad intelectual, pero incluso en aquellos donde existe un marco estructural establecido para los derechos de propiedad intelectual, hay una necesidad de desarrollar las capacidades de las instituciones de investigación para trabajar en dicho contexto. El apoyo debe consistir, entre otras cosas, en el desarrollo de bases de datos de derechos de propiedad intelectual, políticas y formación a nivel institucional, así como mecanismos todavía más avanzados tales como servicios de consultoría en temas de propiedad intelectual y “consorcios” de patentes.<sup>35</sup>

Los derechos de propiedad intelectual y la bioseguridad son esencialmente temas que se refieren a la formación institucional. Como tales, deberían formar parte de los pro-

yectos de ciencia y tecnología, así como de iniciativas más amplias de desarrollo institucional. Estos no son temas independientes sino que forman parte del marco general institucional del país (incluyendo tanto las capacidades de legislación como de aplicación).

Los esfuerzos relativos al fortalecimiento del manejo de la biodiversidad y de los derechos de propiedad intelectual representan un desafío particular para los países de menor tamaño. Los institutos de investigación de dichos países se enfrentan tanto a temas de conflicto de intereses (los solicitantes de patentes son los únicos que cuentan con una buena formación para juzgar el carácter novedoso y original de la patente), como a las restricciones que ponen las economías de escala a la aglutinación de la pericia científica y las bases de datos necesarias. Dadas estas limitaciones, se debería considerar especialmente el prestar apoyo a un proceso de armonización regional o subregional de las estrategias reguladoras y a la creación de cámaras de compensación para bioseguridad e instalaciones para las evaluaciones de riesgos. Los programas regionales relativos a estas áreas pueden ser la única alternativa viable para las regiones de pequeños países como América Central, el Caribe, e incluso la Zona Andina, y constituyen, además, una alternativa lógica para apoyar los esfuerzos de integración económica. La estrategia común de cara a estas cuestiones facilitará el comercio intrarregional así como una explotación más eficiente de los recursos humanos e institucionales disponibles y, con el tiempo, el surgimiento y consolidación de un mercado regional de tecnología.

Por último está la cuestión de la percepción que tiene el público de la biotecnología y sus productos. Los grupos ambientalistas han sido realmente efectivos en la creación de una imagen negativa de los OMG y otros productos de la biotecnología. Sus campañas

---

<sup>35</sup> Más información sobre propuestas específicas relativas a este tipo de mecanismos en Krattiger (Marzo 2001).

públicas están en el mismo fondo de la moratoria de la Unión Europea en materia de ensayos con OMG y de la moratoria no oficial de México en materia de maíz modificado genéticamente (que está vigente desde 1999), así como de situaciones similares que se están produciendo en otros países. No hay duda de que estas campañas no están basadas en la evidencia científica disponible y tienen un efecto tremendamente negativo ya que aumentan los costos y hacen peligrar las actividades reguladoras, ya de por sí costosas.<sup>36</sup> Por muy negativas que puedan ser estas campañas, también es cierto que la reacción contra ellas no puede venir de fuentes gubernamentales, sino de las organizaciones industriales y otros grupos de la sociedad a favor de la tecnología. Los gobiernos deberían participar garantizando un proceso regulador transparente y serio y facilitando toda la información que les sea posible sobre el desempeño de los OMG.

### **Desarrollo de la capacidad de investigación científica**

Aunque el tema sea la biotecnología, hay que recalcar que su desarrollo no se producirá ajeno a lo que sucede en los sistemas nacionales de investigación y otros sistemas más amplios de ciencia y tecnología. América Latina se enfrenta a un declive prolongado de la investigación agrícola y en el apoyo a la ciencia en general. Hay que cambiar esta situación radicalmente. Por ello debe seguir siendo la principal prioridad en toda estrategia y programa de apoyo. Sin embargo, es importante destacar que el enfoque sectorial utilizado hasta la fecha puede no ser el más adecuado para apoyar la biotecnología, ya que hay un interés y una necesidad

---

<sup>36</sup> Por ejemplo, CINVESTAV ha desarrollado en Urapuato una variedad de maíz modificado genéticamente tolerante al aluminio, que podría ser valioso para recuperar grandes superficies del país para la producción de maíz pero que no puede pasar a la fase de ensayos de campo debido a la moratoria.

de incorporar instituciones no agrícolas a los esfuerzos de la biotecnología agrícola. A la hora de diseñar nuevas iniciativas, las cuestiones a tener en cuenta son: (i) integrar las estrategias biotecnológicas en la investigación agrícola tradicional como el fitomejoramiento y los instrumentos de sanidad animal y vegetal (epidemiología, diagnóstico, protección); (ii) aumentar la interacción entre las capacidades de las ciencias biológicas no agrícolas (universidades, institutos avanzados) y los institutos de investigación agrícola;<sup>37</sup> y (iii) intensificar la cooperación y colaboración de la investigación pública y privada en biotecnología.

El enfoque regional es también una dimensión importante a considerar en relación con el desarrollo de las capacidades, ya que las empresas en las que intervienen varios países (a nivel regional o subregional) pueden servir como única alternativa para trabajar en asuntos que no son viables a nivel de un solo país, pero que se hacen factibles y rentables cuando se financian y ejecutan desde una perspectiva más global. La larga experiencia cooperativa que existe en la región así como las iniciativas de integración económica regional, son valores importantes cuando se consideran los mecanismos regionales que podrían contribuir a crear las condiciones para explotar las grandes economías de escala y los beneficios colaterales que parecen estar presentes en la investigación y desarrollo de la biotecnología.

Está demostrado que los acuerdos de redes de colaboración para establecer un enlace entre científicos de diferentes instituciones y países, y el desarrollo de centros de excelencia (o apoyo a los ya existentes) diseñados para trabajar en los problemas que son perti-

---

<sup>37</sup> Esto adquirirá particular importancia en los análisis de inocuidad de alimentos de los OMG cuando la integración con las ciencias médicas y otros socios de sectores no agrícolas se convierta en una necesidad del negocio.

nentes para muchos de países de la región, son dos mecanismos operativos para trabajar a nivel supranacional.<sup>38</sup> Cada estrategia cuenta con potencial para incrementar el flujo de información científica, inducir a economías de escala y reducir al mínimo la duplicación de esfuerzos. Las redes pueden organizarse en torno a misiones capaces de acomodarse a cualquier nivel de apoyo financiero y las tecnologías modernas de la información y la comunicación están ampliando con rapidez el ámbito y eficiencia de las posibilidades de las redes, llevándolas cada vez más cerca de convertirse en centros virtuales y traspasando el modo inicial de intercambio de información.<sup>39</sup>

Los centros internacionales han demostrado ser efectivos para generar una determinada masa científica especializada que puede ser compartida por varios países y/o situaciones de producción. Los centros del CGIAR en general, y aquellos ubicados en la región en particular, (el CIMMYT, el CIAT, el CIP y en menor medida el IRRI) son buenos ejemplos del tipo de beneficios que se pueden obtener de disponer de una reserva de recursos detrás de los problemas que traspasan las fronteras nacionales. Así pues, dada la naturaleza del desafío de la biotecnología, debería considerarse estos centros internacionales

---

<sup>38</sup> El establecimiento de redes de colaboración también es una alternativa que debería considerarse como componente esencial de todo esfuerzo nacional de biotecnología. Dada la naturaleza de la competencia científica requerida, ninguna institución se encuentra en posición de tener ella sola todos los recursos necesarios y, probablemente, no tendría ningún sentido tratar de tenerlos.

<sup>39</sup> Existen muchos ejemplos de redes exitosas, algunos que adquieren relevancia para nuestro discurso son el Programa Internacional de Biotecnología del Arroz (IRBP) de la Fundación Rockefeller, CABBIO y los componentes biotecnológicos de los Programas Cooperativos de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PROCI). El IRBP financió proyectos de investigación en 76 instituciones con un gasto anual de 6-9 millones de dólares (Horstkothe-Wesseler y Byerlee 2000).

como primera alternativa para apoyar el avance de la biotecnología en la región, ya que (i) tienen el potencial para generar beneficios colaterales en un gran número de países y cultivos; (ii) cuentan ya con una masa crítica (incluidos los vínculos operativos con instituciones científicas avanzadas) que puede movilizarse en un breve plazo de tiempo cuando se llega a disponer de los recursos; (iii) disponen de una base de germoplasma muy amplia; (iv) tienen un largo historial de formación y cooperación con programas de fitomejoramiento en ALC; y (v) hacen que el transferir y el compartir la tecnología entre países resulten más fáciles.

### **Apoyo al desarrollo de la capacidad industrial y comercial**

Las aplicaciones biotecnológicas necesitan estar respaldadas por un sector de servicios e insumos tecnológicos capaz de hacer llegar los productos de la I+D a los agricultores y por último a los mercados de alimentos y fibras. Los sectores de insumos y servicios son los componentes fundamentales para la transferencia de los productos de la investigación en biotecnología agrícola.

En el apartado de los insumos intervienen no sólo empresas ya establecidas sino también aquéllas de nueva creación. Éstas han jugado un papel fundamental en el desarrollo de la industria, especialmente en determinados campos como en el de los productos veterinarios, la sanidad vegetal, la genética de especialidades de cultivos y el cultivo de tejidos y células, entre otros. Para prestar el apoyo que se necesita, habría que facilitar los cambios institucionales para que se puedan desarrollar colaboraciones conjuntas entre los sectores público y privado, y conceder donaciones para proyectos de I+D privados. Los proyectos con estos objetivos incluyen tanto la investigación agrícola tradicional como los programas del sector de la ciencia y tecnología.

Estrechamente relacionada con lo anterior, surge una necesidad de asistencia para el desarrollo y consolidación de mecanismos de capital de riesgo (prácticamente inexistentes en la mayoría de los países de la región), donde los programas crediticios podrían desempeñar un papel fundamental facilitando la implicación de los sistemas financieros locales en este campo.

Por el lado de los productos agrícolas, se producirá una creciente necesidad de mejores mecanismos de preservación de la identidad (trazabilidad) y sistemas de calidad y certificación, que podrían ayudar a satisfacer la necesidad de etiquetar adecuadamente los productos, y a la vez servir de base para los procesos de diferenciación de productos que irán surgiendo conforme los productores vayan teniendo rasgos de calidad a su disposición. Por una parte, se requerirá la revisión de las normas y el desarrollo de nuevos sistemas de calidad, pero en la mayoría de los casos también se necesitarán inversiones específicas para los sistemas de almacenamiento y manipulación, de manera que queden descentralizados y sean más flexibles en cuanto al tamaño de los lotes individuales en toda la cadena comercial. La responsabilidad de todo esto recaerá en parte en el sector público, pero el total tendrá que llevarse a cabo con inversiones privadas. Probablemente los apoyos financieros deberían incorporarse en los préstamos agrícolas generales destinados al desarrollo rural o a la mejora de la competitividad.

### **Funciones del sector público y opciones de políticas**

Las oportunidades no son las mismas para todos los países de la región. La capacidad de acceder a las tecnologías, así como las posibilidades de explotar los beneficios potenciales están fuertemente influenciadas por la solidez de cada uno de los sistemas nacionales de investigación y por las capacidades

científicas y tecnológicas en general, así como por la madurez de los sectores de insumos y servicios en general y de los mercados de semillas en particular. Los países más grandes se enfrentan a todo el continuo, desde la investigación básica y el desarrollo de la tecnología hasta su explotación. Las opciones para las políticas de los países más pequeños deberían probablemente centrarse en establecer las estructuras institucionales adecuadas para un proceso seguro de transferencia de la tecnología. Las iniciativas regionales destinadas a facilitar capacidades básicas, formación y reducción de costos de acceso y manejo de la bioseguridad y de los derechos de propiedad intelectual podrían desempeñar una función fundamental. El Cuadro 25 resume las funciones del sector público, y los objetivos e instrumentos de las políticas en una estructura cada vez más compleja, que podría tomarse como un continuo, partiendo desde lo mínimo que debe tener cada país si pretende incorporar las estrategias biotecnológicas a sus sistemas de desarrollo de la tecnología, hasta llegar a una situación en la que pueda entrar a funcionar plenamente en la industria.

### *Capacidad limitada*

En el punto más bajo de la escala, las cuestiones primordiales hacen referencia a: (i) el establecimiento de capacidades de adquisición de tecnología; y (ii) el reconocimiento de que la mayor parte de la tecnología y de las inversiones procederán del exterior y, en gran medida, de las empresas multinacionales.

En esta situación se encuentran dos tipos de países. En primer lugar los países con sistemas de investigación muy débiles y sin sistemas de distribución de semillas en funcionamiento. La biotecnología ofrece oportunidades muy limitadas a estos países ya que es posible que ni siquiera estén explotando

**Cuadro 25**  
**Funciones del sector público y opciones de políticas para el desarrollo de la biotecnología**

Características del país	Objetivos de las políticas	Capacidades requeridas	Instrumentos
<p align="center"><b><i>Países pequeños</i></b></p> <p>Perú, Honduras, Nicaragua, Paraguay, República Dominicana, Panamá, la mayoría de los países de habla inglesa del Caribe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas nacionales muy débiles.</li> <li>• Sistemas de distribución de semillas subdesarrollados incapaces de hacer llegar al agricultor las nuevas variedades de una manera continuada.</li> </ul>	<p>El objetivo se centra en el desarrollo de las capacidades convencionales y en acceder a estrategias celulares como el cultivo de tejidos y las tecnologías de micropropagación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidades de investigación aplicada y de adaptación en agronomía y producción convencional.</li> <li>• Instalaciones para el cultivo de tejidos y la propagación para cultivos estratégicos.</li> <li>• Marco institucional para el desarrollo del mercado de semillas.</li> <li>• Marcos mínimos de bioseguridad y DPI y capacidades de gestión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo para el desarrollo de la infraestructura y recursos humanos de los sistemas nacionales.</li> <li>• Legislación en materia de semillas.</li> <li>• Mecanismos de apoyo para la evaluación de riesgos y bioseguridad a nivel regional y/o subregional.</li> <li>• Mecanismos de apoyo para la información/gestión de los DPI a nivel regional y/o subregional.</li> </ul>
<p align="center"><b><i>Países intermedios</i></b></p> <p>Ecuador, Bolivia, Guatemala, El Salvador</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas nacionales con capacidades limitadas de investigación aplicada; programas de producción de cultivos que proporcionan germoplasma al agricultor en algunos cultivos.</li> <li>• Mercados de semillas activos para algunos cultivos.</li> </ul>	<p>Crear el entorno para acceder a los beneficios colaterales potenciales a partir de inversiones existentes en investigación y desarrollo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco para los DPI (mínimo los derechos del obtentor).</li> <li>• Capacidades reguladoras de bioseguridad.</li> <li>• Capacidades científicas y técnicas complementarias para orientar y apoyar una estrategia de adquisición de tecnología, incluyendo (i) formulación de estrategias y prioridades, y (ii) un programa funcional de cultivo de plantas capaz de incorporar los rasgos que se desean en las variedades comerciales.</li> <li>• Un mercado de semillas operativo, con sistemas institucionales y logísticos capaces de diferenciar en toda la cadena producción-comercialización, los productos biotecnológicos del resto de producción agrícola.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legislación sobre DPI (UPOV, patentes).</li> <li>• Capacidades sobre normativas de bioseguridad y su aplicación.</li> <li>• Mecanismos de apoyo para la evaluación de riesgos y bioseguridad a nivel regional y/o subregional.</li> <li>• Mecanismos de apoyo para la información/gestión de los DPI a nivel regional y/o subregional.</li> <li>• Apoyo a los sistemas nacionales e instituciones de ciencia y tecnología para el desarrollo de infraestructuras y recursos humanos.</li> <li>• Apoyo financiero (institucional y/o de proyectos) para investigación en áreas relacionadas con la tecnología y la evaluación de la bioseguridad.</li> <li>• Legislación en materia de semillas, apoyo a las agrupaciones de comerciantes y empresarios del sector de las semillas.</li> <li>• Legislación que apoye / permita un nuevo mecanismo de coordinación / integración proveedor – productor – procesador.</li> <li>• Sistemas de calidad, certificación y preservación de la identidad.</li> <li>• Inversiones públicas y apoyos crediticios para la participación del sector privado en el desarrollo de la infraestructura logística.</li> </ul>

**Cuadro 25 (Cont.)**  
**Funciones del sector público y opciones de políticas para el desarrollo de la biotecnología**

Características del país	Objetivos de las políticas	Capacidades requeridas	Instrumentos
<p><b><i>Países pequeños avanzados</i></b>            Uruguay, Chile, Venezuela, Colombia, Costa Rica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Una o más instituciones sólidas de ciencia general.</li> <li>• NARS con capacidades de investigación aplicada y programas de producción.</li> <li>• Mercados de semillas privados activos.</li> </ul>	<p>Mejorar la producción de bienes públicos y fortalecer/desarrollar capacidades para la adquisición de tecnología y la explotación de la I+D relacionada con la sanidad animal y vegetal y para investigación transgénica dirigida a cultivos importantes.</p>	<p>Capacidades científicas y tecnológicas para aplicar a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategias celulares y moleculares en áreas relacionadas con la conservación y evaluación de recursos genéticos, epidemiología y control de plagas y enfermedades.</li> <li>• Tecnologías de marcadores moleculares y estrategias de ingeniería genética para incorporar (transformar) genes ya existentes en nuevos cultivos.</li> <li>• Programas de productos básicos nacionales con capacidades sólidas de producción.</li> <li>• Intervención del sector privado en el desarrollo y comercialización tanto de semillas como de otros sectores de insumos tecnológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo a los sistemas nacionales e instituciones de ciencia y tecnología para el desarrollo de infraestructuras y recursos humanos.</li> <li>• Apoyo financiero para proyectos de investigación que integren las capacidades de diferentes instituciones, incluidas del extranjero.</li> <li>• Mecanismos para facilitar las colaboraciones conjuntas de los sectores público y privado en proyectos de I+D relacionados con la biotecnología.</li> <li>• Financiación pública para los proyectos de I+D del sector privado (cofinanciación, créditos subvencionados, créditos por impuestos pagados para I+D).</li> <li>• Promoción de un mecanismo de capital de riesgo</li> </ul>
<p><b><i>Países grandes avanzados</i></b>            Brasil, Argentina            Países con una amplia base científica, grandes programas de investigación del sector público y sectores bien desarrollados de insumos y servicios.</p>	<p>Promoción y apoyo para la investigación básica y estratégica destinada a mejorar la eficiencia y ámbito de las actividades del desarrollo de la tecnología en su conjunto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidades de investigación básica y estratégica transgénica y genómica, tanto del sector público como privado.</li> <li>• Programas de productos básicos nacionales con capacidades integrales de producción (amplio abanico de cultivos e investigación pre-cultivo).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo a los sistemas nacionales e instituciones de ciencia y tecnología para el desarrollo de infraestructuras y recursos humanos.</li> <li>• Mecanismo de financiación para proyectos de una o varias instituciones participantes.</li> </ul>

Fuente: los autores.

los beneficios de las estrategias convencionales.

La función del sector público consiste en apoyar el desarrollo de las capacidades básicas en los sistemas nacionales. En lo que se refiere a biotecnología, las oportunidades se limitan al cultivo de tejidos y aplicaciones de micropropagación para material vegetativo mejorado, probablemente en un número pequeño de cultivos de exportación y por medio de acuerdos institucionales *ad hoc*.

#### *Capacidad modesta*

El segundo grupo de países son los beneficiarios potenciales de los beneficios colaterales. En él se incluyen los países que tienen servicios nacionales de investigación agrícola con capacidades limitadas pero operativas (relativas básicamente a la producción de cultivos), y sistemas de distribución de semillas capaces de proveer regularmente a los agricultores de materiales mejorados. El objetivo de la política de estos países es crear las condiciones necesarias para el proceso de transferencia y adquisición de tecnología, incluido el marco regulador necesario para que ello ocurra, es decir, un régimen transparente de derechos de propiedad intelectual (condición exigida por los acuerdos comerciales de los que son signatarios la mayoría de los países) y un mecanismo operativo de bioseguridad. Sin estas capacidades ningún país será capaz de acceder a los beneficios de las nuevas tecnologías, ya que es muy poco probable que las entidades públicas o privadas que tengan capacidades tecnológicas que ofrecer firmen un acuerdo de transferencia de tecnología, bien porque la falta de protección de los derechos de propiedad intelectual pondría en peligro las posibilidades de recuperar los costos

de inversión, o porque sin un mecanismo de bioseguridad vigente no habría posibilidades de movilidad segura y liberación al medio ambiente. Más allá de estos aspectos, la ausencia de un sistema de semillas que asegure un volumen de ventas mínimo a nivel del agricultor hará que sea imposible incorporar eficazmente los rasgos innovadores a los procesos de producción. La mayoría de las actuaciones que hay que llevar a cabo para crear estas condiciones son, tal y como se ha puesto de manifiesto anteriormente, esencialmente las mismas que las que se necesitan para promocionar las tecnologías convencionales. Sin embargo, las capacidades relacionadas con la bioseguridad y los derechos de propiedad intelectual presentan algunas diferencias que deben considerarse de manera particular.

La normativa sobre bioseguridad y las estrategias de evaluación de riesgos no sólo requieren de capacidades normativas, administrativas y de cumplimiento, sino también de un nivel sustancial de insumos científicos (información y juicio científicos), que se asemejan bastante a los que necesitan para poder utilizar las tecnologías de desarrollo de productos. Para muchos de los países del grupo descrito en el párrafo anterior, esto se traduce potencialmente en una situación de conflicto de intereses, ya que no existe una reserva de capacidades científicas (personas e instituciones) lo suficientemente grande para separar por completo la función reguladora del proceso de I+D y evitar el indefectible conflicto y pérdida de transparencia que se producirá si las personas e instituciones que intervienen en el desarrollo de una tecnología son las mismas que ofrecen información y juicio en los procesos de evaluación de riesgo y garantía de la bioseguridad. En estas circunstancias, una opción a tener en cuenta es la de fomentar

mecanismos regionales o subregionales que por medio del mantenimiento de una reserva de recursos, podría ofrecer información y apoyo a las instituciones nacionales competentes en materia de bioseguridad. Los derechos de propiedad intelectual presentan problemas de naturaleza similar, aunque no están relacionados con posibles conflictos de interés, sino con los costos de mantenimiento de las bases de datos y capacidades de consultoría adecuados y las posibilidades de crear economías de escala importantes con su explotación si dichas capacidades se desarrollan y ponen a disposición para varios países en lugar de hacerlo individualmente en cada país.

#### *Capacidad intermedia*

Países con sistemas nacionales de investigación y sistemas de servicios agrícolas más desarrollados, se incorporan funciones que tienen que ver con el aprovechamiento de las nuevas tecnologías para mejorar la producción de bienes públicos. Esa producción estará muy influenciada por la solidez de las capacidades tradicionales ya existentes, y por los esfuerzos del sector público por fomentar la participación del sector privado, reduciendo los riesgos o niveles de inversión necesarios mediante inversiones en investigación pública, promoción de colaboraciones conjuntas públicas y privadas en I+D o subsidios directos a la investigación privada, y/o fomentando los mecanismos de capital de riesgo para facilitar el desarrollo de empresas de nueva creación para explotar los resultados de la I+D que sean prometedores.

#### *Capacidad integral*

Se trata de la fase final de todos los componentes anteriores que forman la función del sector público, incluyendo la promo-

ción del desarrollo en áreas estratégicas por medio de apoyos a la ciencia básica. La naturaleza de los instrumentos utilizados en las políticas evoluciona a la par que la complejidad de las diferentes funciones alternativas al (i) pasar a ser menos dedicados, tanto en el sentido institucional como sectorial, y más horizontales, es decir, más orientados a los componentes científicos genéricos; y (ii) prestar cada vez más atención a los incentivos para la investigación del sector privado y la participación de la industria de insumos.

En resumen, en la gran mayoría de los países (Honduras, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, la mayoría de los países de habla inglesa del Caribe, Guatemala, El Salvador, Bolivia y Ecuador<sup>40</sup>), ni siquiera existen las capacidades básicas, por lo tanto los esfuerzos deberían concentrarse en la creación de un entorno favorable. En un pequeño grupo de países (Colombia, Chile, Uruguay, Costa Rica, y en menor medida, Venezuela) se da la confluencia de un sistema científico e institucional relativamente fuerte y unos mercados de exportación agrícola dinámicos, en los que ya hay señales de que el sector público empieza a desempeñar funciones adicionales así como una participación del sector privado, al menos en las biotecnologías más tradicionales (cultivo de tejidos y propagación vegetal, tecnologías inmunológicas, herramientas para diagnósticos, etc.). Sólo Brasil, México, Argentina y Cuba, superan el nivel inter-

---

<sup>40</sup> La inclusión de estos países en la primera o segunda categoría del cuadro es sólo indicativa, ya que los criterios establecidos para su inclusión en cualquiera de ellos se basan en el comportamiento de una serie de indicadores, muchos de los cuales son difíciles de cuantificar y los valores para la transición de una fase a otra bastante subjetivos. Los juicios utilizados para asignar a los países no se basan en lo que podrían considerarse excepciones, sino en aquello que hace destacar lo que puede considerarse como la situación “típica” del país.



medio y podría decirse que pueden potencialmente funcionar plenamente en el desarrollo de la tecnología e incluso llegar a ser fuente de beneficios colaterales para el resto de los países.

### **Oportunidades de apoyo del BID**

En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe la evolución de la biotecnología agrícola se encuentra todavía en sus fases más tempranas. Sin embargo, no hay duda del potencial que ofrecen dichas tecnologías y de que, a medida que se consolida la línea de acción tecnológica y son más sus productos disponibles, se convertirán en la base para un nuevo paradigma tecnológico. También es cierto que una buena parte de sus beneficios potenciales no estarán al alcance a menos que se establezca una coyuntura adecuada para acceder y explotar las tecnologías. Esta es una tarea que debe llevarse a cabo, esencialmente, a nivel nacional, ya que requiere decisiones sobre las políticas a seguir en áreas que son competencia exclusiva de las autoridades nacionales, en las que intervienen no sólo prioridades sobre la inversión de recursos, sino también nuevos marcos institucionales y legales. Es asimismo cierto, por otra parte, que muchas de las cuestiones involucradas tienen puntos coincidentes en todos los países que justifican el uso de mecanismos regionales. Las agencias internacionales, y particularmente los organismos financieros internacionales, como el BID, tienen un papel fundamental que desempeñar para ayudar a los países de la región a establecer las condiciones adecuadas para incorporar las nuevas tecnologías a sus sectores productivos. Algunos países (Brasil, Venezuela) están ejecutando préstamos financiados por el BID, los cuales incluyen el fortalecimiento de la capacidad de investigación en biotecnología agrícola.

A la hora de desarrollar una estrategia para trabajar con los países, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La biotecnología agrícola debería considerarse como una parte integral de los esfuerzos realizados en investigación agrícola y desarrollo de la tecnología, y no como una estrategia independiente.
- En cuanto a las capacidades de investigación científica requeridas, las universidades y los centros de investigación avanzada no agrícolas son tan importantes como las instituciones tradicionales de investigación agrícola.
- Las siguiente áreas son cruciales para que la biotecnología vegetal progrese en la región: (i) la capacidad de distribuir semillas a los agricultores; (ii) las inversiones sustanciales del sector público para mejorar la recolección y conservación de germoplasma; (iii) el fitomejoramiento convencional; y (iv) apoyos para crear las condiciones favorables para la inversión del sector privado en el desarrollo de semillas.
- Existen economías de escala significativas que están surgiendo a raíz de las complejidades de la ciencia y de los laboriosos procesos de garantía de la bioseguridad que intervienen, en relación con el tamaño de los mercados potenciales de las nuevas tecnologías, lo cual pone de manifiesto la necesidad de mecanismos innovadores regionales y/o subregionales, tanto en I+D como en otras actividades.

- El sector privado está jugando un papel protagonista en el desarrollo de la biotecnología. Es más, la mayoría de las tecnologías y eventos relevantes para las condiciones agrícolas de la región están en la actualidad patentados, haciendo que la interacción entre los sectores público y privado y las estrategias de manejo activo de los derechos de propiedad intelectual sean elementos esenciales en todas las actuaciones relacionadas con la biotecnología agrícola.
- La capacidad de modernizar la estructura institucional y física que sustenta los mercados de productos y de insumos será tan importante para la transferencia de las nuevas tecnologías como la creación de capacidades en I+D mejoradas.

A la vista de un contexto de estas características, el BID no sólo debe ayudar a los países individualmente por medio de los tradicionales créditos a programas y proyectos, sino que también debe asumir un papel activo para extender el ámbito de las iniciativas regionales y subregionales. Dichas iniciativas permitirán a los países una mejor explotación de las economías de escala y el potencial de beneficios colaterales que tienen inherentemente áreas como la bioseguridad, la negociación para la adquisición de tecnología del sector privado y el desarrollo de un entorno para el manejo de los derechos de propiedad intelectual.

#### *Acciones a nivel nacional*

El Cuadro 25 identifica una serie de instrumentos para las políticas que necesitan ser desarrollados y recibir apoyo. La mayoría de dichos instrumentos ya se están teniendo en cuenta en los créditos para el sector agrícola en programas de investi-

gación o de ciencia y tecnología agrícola. En este punto, la cuestión no está tanto en los instrumentos específicos que haya que incluir en el diseño de proyectos, sino en hacer de la explotación biotecnológica un mecanismo de apoyo a la I+D y a los sistemas de innovación, y en ayudar a los países clientes a establecer estrategias que aprovechen las oportunidades clave y las limitaciones de recursos. Para conseguir que todo esto se refleje en el diseño de los programas y proyectos apoyados por el Banco, hay que prestar especial atención a las siguientes áreas.

*Apoyo al diseño de las políticas y a la identificación de prioridades.* Dados los altos niveles de inversión que intervienen, los esfuerzos en biotecnología deben estar priorizados en relación con los objetivos agrícolas nacionales (por ejemplo, entre tipos de tecnologías, cultivos y especies de animales de cría, beneficiarios, etc.). Las estrategias de adquisición de tecnología deben estar correctamente equilibradas y secuenciadas (I+D propia en relación con la tecnología importada, alianzas estratégicas con otros países, organismos internacionales, empresas privadas, etc.). Deben preverse los impactos de la introducción de las estrategias biotecnológicas en los sistemas agroalimentarios y hay que saber identificar los futuros requisitos de inversión en infraestructuras logísticas y de comercialización. Contar con asistencia para desarrollar información de utilidad para el análisis de las opciones y la puesta en práctica de sistemas de monitoreo, y desarrollar un consenso público para la estrategia elegida será crucial debido a las numerosas cuestiones controvertidas que surgen del carácter novedoso de la tecnología y de su rápida evolución.

*Sistemas de transferencia de tecnología.* La transferencia de los beneficios de la biotecnología vegetal depende fundamen-

talmente de la capacidad de desarrollar y distribuir germoplasma. Ya sea que se originen en el sector público o privado, una vez descubiertos los eventos genéticos deben ser incorporados a una variedad con los rasgos agronómicos deseados por los agricultores y consumidores. Para los cultivos de la mayoría de los países de la región, conseguir la aceptación del agricultor y acceso a las variedades mejoradas (tanto modificadas genéticamente como convencionales) sigue siendo un desafío por solucionar. El Banco puede ofrecer dos tipos de ayudas fundamentales en esta área. El primer tipo son ayudas para fortalecer el fitomejoramiento convencional en el sector público, incluido un creciente apoyo para los bancos de germoplasma. El segundo se refiere a ayuda para la creación de condiciones de mercado favorables a la inversión del sector privado. Aquí podrían incluirse iniciativas relacionadas con la racionalización del registro de variedades, regionalización de las autorizaciones para las variedades, apoyo a las asociaciones nacionales de semillas y regionales, fortalecimiento de la legislación sobre propiedad intelectual y su aplicación, racionalización de la legislación que controla la importación de semillas, y apoyos a los bancos de genes.

*Apoyo a los estudios de base para la actividad reguladora.* A pesar de que se está divulgando mucha información sobre cuestiones de seguridad alimentaria y ecológica, está claro que todavía queda sin cobertura una amplia abanico de áreas, especialmente si se tiene en cuenta el hecho de que América Latina es el centro de origen de un número relativamente alto de especies. Es necesario que sigan realizándose estudios sobre flujo de genes y su potencial efecto sobre las poblaciones, resistencia a insectos, potencial alérgico, toxicidad y cuestiones de nutri-

ción, entre otros, para poder desarrollar protocolos efectivos de evaluación de riesgo. Al mismo tiempo que las autorizaciones comerciales van abarcando una gama más amplia de especies, también se produce una necesidad de establecer sistemas de monitorización a largo plazo, que contribuirían a reforzar los datos de la base científica para las evaluaciones de riesgo y servirían de mecanismos de aviso anticipado para el hipotético desarrollo de efectos no deseados o inesperados.

*Desarrollo de la capacidad de investigación científica.* El Banco ha apoyado siempre el desarrollo de las capacidades en los programas de ciencia y tecnología, incluyendo tanto recursos humanos como infraestructuras y ayudas directas a proyectos para el desarrollo de tecnologías de interés público. El desarrollo de la biotecnología seguirá necesitando este tipo de apoyos. Se debería dar más importancia a una perspectiva global del sistema y allá donde estén ubicadas las capacidades, atender la necesidad de crear una masa crítica para el manejo de unas determinadas técnicas. También es importante el fomentar el establecimiento de redes para su utilización, en lugar de prestar el apoyo institucional tradicional que ha predominado hasta ahora en el diseño de proyectos destinados al fortalecimiento de los NARS. Este enfoque más amplio del desarrollo de las capacidades también debería incluir un mayor uso de alianzas estratégicas con centros de excelencia de otros países y del sector privado como vía más rápida y efectiva para acceder a las tecnologías esenciales, acelerar el desarrollo de productos y conseguir que la formación de los científicos esté a la vanguardia.

*Apoyo a los sistemas regulatorios.* Dos aspectos fundamentales que hay que considerar son los elevados costos del establecimiento de circuitos institucionales

para las evaluaciones de riesgos y valoraciones de la bioseguridad y el hecho de que se trata de procesos extremadamente complejos que requieren capacidades analíticas sustanciales en disciplinas tales como la biología, la ecología y las ciencias sociales. Aunque las instituciones reguladoras son con frecuencia extensiones de capacidades ya existentes en las áreas de la agricultura y la seguridad alimentaria, existe un marco legal internacional que está evolucionando rápidamente y que los países tienen que tener en cuenta. Debido a los posibles conflictos de interés, las nuevas instituciones no pueden depender de los recursos humanos especializados de las instituciones de investigación. Como mínimo, la revisión a fondo de los marcos reguladores existentes y la valoración de su aptitud para gestionar cuestiones de bioseguridad, debería ser parte integral de la preparación de proyectos y programas, no sólo en los proyectos de investigación agrícola sino también en las operaciones con objetivos más amplios en materia de agricultura y recursos naturales. Serán necesarios recursos sustanciales para conseguir que los países cumplan los requisitos del protocolo de Cartagena y del CODEX.

#### *Gestión de los sistemas tecnológicos*

La biotecnología conlleva un nuevo paradigma para la organización de los sistemas de tecnología con unos requisitos de manejo mucho más claros y definidos que los de las tecnologías agrícolas convencionales. Los conocimientos científicos procedentes de los distintos tipos de instituciones, los diferentes niveles y tipos de requisitos de inversión, y los nuevos tipos de interacción entre los sectores público y privado, requieren de destrezas de manejo bastante diferentes de las que disponen la mayoría de las instituciones de I+D. El apoyo en esta área debería incluir el desa-

rollo de capacidades organizativas para trabajar en un entorno donde se tengan conocimientos sobre todo en lo relacionado con las patentes (propiedad intelectual, incluidas las habilidades de negociación de la tecnología) y se puedan gestionar consorcios entre el sector público y privado.

#### *Apoyo a las iniciativas regionales*

*Cuestiones sobre la percepción pública.* Directamente relacionada con todo lo dicho anteriormente, se encuentra la necesidad de apoyos para un adecuado manejo de las cuestiones relacionadas con la concienciación pública. El debate público y la educación, tanto a nivel de productores como de consumidores, es un aspecto crítico para el uso exitoso de las estrategias biotecnológicas. La mayoría de las instituciones nacionales están mal equipadas para generar la información y el tipo de mecanismos de diálogo necesarios para establecer una interacción transparente y constructiva entre las partes interesadas en las cuestiones relacionadas con la biotecnología.

Por muy importante que sea el apoyo a nivel nacional, en las estrategias regionales y subregionales es donde la ayuda económica internacional podría ser más innovadora y tener mayor impacto. Para un gran número de países de la región, el acceso a las nuevas tecnologías tendrá que tener necesariamente una perspectiva de mercado más global si quieren ser económicos. A este nivel, el apoyo debería centrarse en (i) fortalecer las capacidades internacionales y regionales para poner en práctica I+D relacionada con la producción de bienes públicos internacionales y/o en las áreas de alto potencial de beneficios colaterales; (ii) facilitar a grupos de países el acceso a las tecnologías patentadas de interés común; y (iii) reducir el co-

sto de la puesta en marcha de marcos y procesos reguladores.

En la primera área relativa al fortalecimiento de las capacidades regionales de I+D, el apoyo debería centrarse en (i) fomentar un papel más activo de los centros del CGIAR en el desarrollo de eventos biotecnológicos relevantes para las condiciones regionales, incluyendo su participación en la adquisición de genes o tecnologías de valor estratégico para la región de grupos de países en la que están ubicados; (ii) fortalecimiento del papel de los Programas Cooperativos de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PROCI) y otros mecanismos de redes existentes como CABBIO, como facilitadores para el desarrollo de iniciativas de I+D a nivel multinacional; y (iii) fortalecimiento de los fondos competitivos regionales como FONTAGRO para permitirles desempeñar un papel más activo en la promoción de esfuerzos conjuntos entre los propios sistemas nacionales de investigación de la región, los centros del CGIAR y otros centros de excelencia de otras regiones y partes del mundo.

Además de los proyectos regionales, los países pueden aprovechar individualmente la capacidad investigadora de la región para contratar trabajos de investigación o bien llevar a cabo investigación colaborativa. Por ejemplo, el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) y el estado de California están financiando ONSA, el instituto virtual de genómica del sector público en São Paulo, para secuenciar la bacteria *Xylella*, que causa la enfermedad de Pierce en Estados Unidos

En el acceso a las áreas donde intervienen tecnologías patentadas, la resolución de cuestiones relativas a derechos de propie-

dad intelectual y el desarrollo de estrategias viables de libertad de operación van a ser dos obstáculos claves a superar para explotar los beneficios potenciales que ofrecen las nuevas tecnologías. Los países tienen frente a sí tanto los procesos de desarrollo de la legislación nacional sobre propiedad intelectual y la necesidad de cumplir con las complejidades de los tratados internacionales (OMC, ADPIC, CDB). Pero, en muchos casos, carecen de las capacidades para hacerlo. Una manera rentable de reducir los elevados costos de transacción que intervienen en este tipo de actividades podría ser el apoyo a mecanismos regionales destinados a generar las bases de información necesaria para conseguir libertad de operación en diferentes campos y ayudar a países e instituciones de investigación concretos en la propia negociación de los acuerdos de transferencia de tecnología.

En cuanto a la normativa sobre bioseguridad, las oportunidades del BID a ayudar en los esfuerzos de armonización de los marcos reguladores y en el establecimiento de mecanismos de información adecuados, no sólo para facilitar la transferencia de la tecnología, sino también, lo que es más importante, para proporcionar una base más sólida y transparente para el crecimiento continuo del comercio internacional de productos biotecnológicos. El Banco debería considerar formalmente apoyar los esfuerzos de armonización que ya han puesto en marcha otros organismos institucionales (ONUDI, FAO, OCDE y OMC) de manera que se garantice que países diferentes hagan frente a los requisitos reguladores bajo la misma perspectiva. La participación del BID en esta área es de gran importancia para promover la aprobación entre los países de obligaciones en biodiversidad. Junto a todo esto, para los países más pequeños, la creación de paneles científicos regionales o subre-

gionales pudiera ayudar individualmente a cada país con el proceso de valoración de riesgos.

En la discusión sobre la dimensión regional del apoyo al desarrollo de la biotecnología agrícola, es necesario hacer un último comentario para destacar su relación con el proceso más general de integración económica regional y con el desarrollo de una zona de libre mercado para todas las Américas. Las tres áreas que hemos mencionado son fundamentales para fortalecer los sectores agrícolas nacionales y para ampliar el ámbito del comercio intrarregional.

Sin un proceso de transferencia de tecnología más activo, no es probable que se pueda desarrollar por completo el potencial agrícola de los recursos naturales de la región como base para un proceso de

negociación más equitativo entre las diferentes regiones del hemisferio.

En este sentido, facilitar la eliminación de las diferencias en cuanto a conocimiento básico y el movimiento transfronterizo de los futuros productos fruto de la aplicación de las nuevas tecnologías, tendría que considerarse como una inversión estratégica para aumentar los potenciales del mercado y las oportunidades comerciales, y a través de todo ello llegar a ser un incentivo más para la puesta en marcha de esa zona de libre comercio. Con un potencial así, parece que las estrategias tradicionales de donaciones y créditos blandos para financiar los mecanismos de cooperación regional tienen que ser revisadas y considerar más seriamente programas alternativos de participación multinacional más realistas.

## Referencias

- Anderson, K., C.P. Nielsen, S. Robinson, y K. Thierfelder. 2001. Estimating the Global Economic Effects of GMOs. En *The Future of Food: Biotechnology Markets and Policies in an International Setting*, P.G. Pardey (ed.). IFPRI, Washington, DC.
- Ardila, J.Y. 1999. *Escenarios para la Agricultura de América Latina y el Caribe: Una Aproximación desde la Perspectiva del Cambio Técnico*. Documento presentado en la reunión del Comité Ejecutivo, 22-23 de Abril. IICA, San José, Costa Rica.
- Avila, F., T. Rego Quirino, E. Contini, y E.L. Rech Filho. 2001. *Social and Economic Impact Ex-Ante Evaluation of Embrapa's Biotechnology Research Products*. Documento presentado en la 5a Conferencia Internacional del International Consortium on Agricultural Biotechnology Research (ICABR), Ravello, Italia.
- Banchero, C., C. Correa y S. Bergel. 1999. *Difusión de la Biotecnología en Argentina y Brasil: El Caso de las Plantas Transgénicas*. Seminario Argentina-Brasil, 10-22 de junio de 1999, Rio de Janeiro, Brasil.
- Banco Asiático de Desarrollo. 2000. *Agricultural Biotechnology and the Asian Poor*. Asian Development Bank, Australian Agency for International Development, Australian Centre for International Agricultural Research. Manila.
- Banco Interamericano de Desarrollo. 2000. *Estrategia para el desarrollo agroalimentario en América Latina y el Caribe*. Serie de políticas y estrategias del Departamento de Desarrollo Sostenible. BID, Washington, D.C.
- Banco Mundial. 1999. *Agricultural Biotechnology and Rural Development: Issues and Options for the World Bank Support to Research and Capacity Building*. Borrador de Informe, Marzo de 1999. Washington, D.C.
- Biotechnology and Development Monitor. 2001. *Public Perceptions*. No. 47. The Network University. The Netherlands.
- Biotechnology and Development Monitor. 2000. *The Cartagena Protocol on Biosafety*. No. 43. The Network University. The Netherlands.
- Burachik, M. S. y P. L. Traynor. 2002. *Analysis of a National Biosafety System: Regulatory Policies and Procedures in Argentina*. Informe del País 63, ISNAR. La Haya, Países Bajos.
- Byerlee, D., G. Alex, y R. G. Echeverría. 2002. The Evolution of Public Research Systems in Developing Countries: Facing New Challenges. En *Financing and Organizing Agricultural Research in an Era of Privatization: Case Studies of Change*, D. Byerlee y R.G. Echeverría (eds.). Oxon, UK: CABI Publishing.

- Byerlee, D., G. y R. G. Echeverría (eds.). 2002. *Financing and Organizing Agricultural Research in an Era of Privatization: Case Studies of Change*. Oxon, UK: CABI Publishing.
- Carneiro, M. 2001. *Estrategias de biotecnología agropecuaria para el Cono Sur*. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR). Montevideo, Uruguay.
- CEPAL. 1999. *Panorama Social de América Latina 1998*. Santiago de Chile.
- Chrispeels, M. J. 2000. Biotechnology and the Poor. *Plant Physiology* 124: 3-6.
- CONABIA (Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria) [National Advisory Committee on Agricultural Biosafety]. 2001. Genetically engineered crops: Releases in Argentina. <http://siiap.sagyp.mecon.ar/http-his/english/conabia/luik.htm>. Consultada en septiembre de 2001.
- Convención sobre la Diversidad Biológica. 2000. Establishment of the Biosafety Clearing-House. UNEP/CBD/BS/TE-BCH/1/2 4 de agosto de 2000. Montreal, Canadá.
- Covenant, B. 2000. The Role of the Private Sector in Providing Biotechnology Access to the Poor. *En Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the Benefits for the Poor*, M. Qaim, A.F. Krattiger y J. von Braun (eds.), Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Países Bajos.
- Courtmanche, A., C.E. Pray, y R. Govindasamy. 2001. The importance of intellectual property rights in the international spread of private sector agricultural biotechnology. Report to the World Intellectual Property Organization. New Brunswick, NJ: Rutgers University, Department of Agricultural, Food, and Resources Economics, Mimeo.
- CTNBio (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança) [Biosafety National Technical Commission], Brasil. 2001. OMG. <http://www.ctnbio.gov.br/ctnbio/Sistema/LIBERACOESogm.asp>. Consultada en Septiembre de 2001.
- Dyson, T. 1999. World food trends and prospects to 2025. *PNAS* 96: 5929-36.
- Echeverría, R.G. 2000. Opciones para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe. *Revista de la CEPAL* 70 (Abril): 147-160. Santiago de Chile.
- Echeverría, R. G. 1998. Agricultural research policy issues in Latin America: an overview. *World Development*. Vol. 26(6): 1103-11.
- Echeverría, R.G., E.J.Trigo, y D. Byerlee 1996. *Cambio institucional y alternativas de financiación de la investigación agropecuaria en América Latina*. Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, DC.



- Falconi, C.A. 1999. *Agricultural Biotechnology Research Capacity in Four Developing Countries*. Briefing Paper No. 42, ISNAR. La Haya, Países Bajos.
- FAO. 1998. REDBIO '98. III Encuentro Latinoamericano de Biotecnología Vegetal. Food and Agriculture Organization of the United Nations, La Habana, Cuba.
- Fuglie, K., N. Ballenger, K. Day, C. Klotz, M. Ollinger, J. Reilly, U. Vasavada, y J. Yee. 1996. *Agricultural Research and Development: Public and Private Investments Under Alternative Markets and Institutions*. Agricultural Research and Development Report Number 735, ERS/USDA. Washington, D.C.
- Gianessi, L.P. y J. Carpenter. 1999. *Agricultural Biotechnology: Insect Control Benefits*. Mimeo. National Center for Food and Agricultural Policy. Washington, D.C.
- Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional ( CGIAR). 2000. *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Proceedings of an International Conference, G.J. Persley and M. M. Lantin, (eds.). CGIAR. Washington, DC.
- Hartke, D. 2001. Who Will Buy? Lots of talk, but few demand non-GM grain. *Top Producer*, febrero 2001. En: [http://www.farmjournal.com/magazines/article.cfm?art\\_ID=5291&ID=2&issueID=244](http://www.farmjournal.com/magazines/article.cfm?art_ID=5291&ID=2&issueID=244).
- Heisey, P. W., C.S. Srinivasan y C. Thirtle. 2002. Privatization of plant breeding in industrialized countries: causes, consequences, and the public sector response. En *Financing and Organizing Agricultural Research in an Era of Privatization: Case Studies of Change*, D. Byerlee and R.G. Echeverría (eds.). Oxon, UK: CABI Publishing.
- Horstkotte-Wesseler, G. y D. Byerlee. 2000. Agricultural Biotechnology and the Poor: The Role of Development Assistance Agencies. En *Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the Benefits for the Poor*, M. Qaim, A.F. Krattiger y J. von Braun (eds.), Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Países Bajos.
- Huang, J., R. Hu, C. E. Pray and S. Rozelle. 2002. Reforming China's agricultural research system. In *Agricultural Research Policy in an Era of Privatization*, D. Byerlee y R. G. Echeverría (eds.). Oxon, UK: CABI Publishing.
- IICA. 1993. *Requerimientos Técnicos para la Investigación y Desarrollo en Agrobiotecnologías*. Serie de Publicaciones Misceláneas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- IICA. 1992. *Formulación de Políticas para el Desarrollo de la Biotecnología en América Latina y el Caribe*. Programa II Generación y Transferencia de Tecnología. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- ISNAR. 2001. *Implications of Developments in Agricultural Biotechnology in Latin America and the Caribbean for IDB Lending*. ISNAR. Informe para el BID (contrato no. EMD.0.072.00-F).

Background Report prepared for the Sustainable Development Department. Inter-American Development Bank. La Haya, Países Bajos.

- Jaffé, W., y J. van Wijk. 1995. *The Impact of Plant Breeders' Rights in Developing Countries*. Directorate General for Development Cooperation. La Haya, Países Bajos.
- Jaffé, W., y D. Infante. 1996. *Oportunidades y Desafíos de la Biotecnología para la Agricultura y Agroindustria de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. No. ENV – 105. Washington, DC.
- James, C. y A. Krattiger. 1996. *Global review of the field testing and commercialization of transgenic plants-1986 to 1995*. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Brief No. 1. ISAAA. Ithaca, NY.
- James, C. 2001. *Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2000*. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA), Brief No. 23. ISAAA. Ithaca, NY.
- Kalaitzandonakes, N.G. 2000. Agrobiotechnology and Competitiveness. *American Journal of Agricultural Economics* 82(5): 1224-33.
- Kishore, G. M. y C. Shewmaker. 1999. Biotechnology: Enhancing human nutrition in developing and developed world. *PNAS* 93: 5968-72.
- Krattiger, Anatole F. 2001. *Biotechnology and Proprietary Science Management: Proposals to Strengthen Biotechnology Transfer in Latin America*. ISAAA. Ithaca, NY.
- Lele, U., W. Lesser y G. Horstkotte-Wesseler. 2000. *Intellectual Property Rights in Agriculture: The World Bank's Role in Assisting Borrower and Member Countries*. Banco Mundial. Washington, D.C.
- Morris, M.L. y D. Hoisington. 2000. Bringing the Benefits of Biotechnology to the Poor: The Role of the CGIAR Centers. En *Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the Benefits for the Poor*, M. Qaim, A.F. Krattiger y J. von Braun (eds.), Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Países Bajos.
- Morris, M.L. y B. Ekasingh. 2002. Plant breeding research in developing countries: what roles for the public and private sectors? En *Financing and Organizing Agricultural Research in an Era of Privatization: Case Studies of Change*, D. Byerlee y R.G. Echeverría (eds.). Oxon, UK: CABI Publishing.
- National Academy of Science (NAS). 1987. *Introduction of Recombinant DNA-Engineered Organisms into the Environment: Key Issues*. Washington, D.C: National Academy Press.
- National Academy Press. 2000. *Transgenic Plants and World Agriculture*. Washington, D.C: National Academy Press.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico ( OECD). 2000. *Report of the Working Group on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology*. [http://www.oalis.oecd.org/olis/2000doc.nsf/c5ce8ffa41835d64c125685d005300b0/c125685b0057c558c12568ea003e344b/\\$FILE/10078081.PDF](http://www.oalis.oecd.org/olis/2000doc.nsf/c5ce8ffa41835d64c125685d005300b0/c125685b0057c558c12568ea003e344b/$FILE/10078081.PDF) (25 de mayo, 2000; consultada el 7 de Enero de 2002)
- Pinstrup-Andersen, P., R. Pandya-Lorch, y M. W. Rosegrant. 1999. *World Food Prospects: Critical Issues for the Early Twenty-First Century. 2020 Vision Food Policy Report. 1999*. IFPRI, Washington, D.C.
- Pinstrup-Andersen, P. y J. Babinard. 2001. Food, agriculture, and natural resources in 2020. En *Development of Rural Economies in Latin America and the Caribbean*, R. G. Echeverría (ed.). Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C.
- Pray, C.E., J. Huang, D. Ma, y F. Qiao. 2001. Impact of Bt Cotton in China. *World Development* 29(5): 813-825.
- Qaim, M. y C. A. Falconi. 1998. *Agricultural Research Biotechnology Indicators: Mexico*. Discussion Paper No. 98-20, ISNAR. La Haya, Países Bajos.
- Rohter, L. 2001. Model for Research Rises in a Third World City. *New York Times*. 24 de abril de 2001. ([www.nytimes.com](http://www.nytimes.com) consultada el 3 de Julio de 2001).
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), México. 2001. Regulación de Organismos Genéticamente Modificados de Uso Agrícola. <http://www.sagar.gob.mx?Conasag/svtransgen.htm>. Consultada en septiembre de 2001.
- Salazar, S., C. Falconi, J. Komen, y J.I.Cohen. 2000. *The Use of Proprietary Biotechnology Research Inputs at Selected Latin American NAROs*. Briefing Paper 44, ISNAR. La Haya, Países Bajos.
- Technical Advisory Committee. "System-wide Review of Plant Breeding and Biotechnology: Findings and Recommendations", Technical Advisory Committee of the CGIAR, FAO: Roma, 2000.
- Torres, R. y C. A. Falconi. 2000. *Agricultural Biotechnology Research Indicators: Colombia*. Discussion Paper No. 00- 5 ISNAR. La Haya, Países Bajos.
- Traxler, G., S. Godoy-Avila, J. Falck-Zepeda, y J. Espinoza-Arellano. 2001. *Transgenic Cotton in Mexico: Economic and Environmental Impacts*. Documento presentado en el 5th International Conference, "Biotechnology, Science and Modern Agriculture: a New Industry at the Dawn of the Century." Ravello, Italia.
- Trigo, E.J. 2000. The Situation of Agricultural Biotechnology Capacities and Exploitation in Latin America and the Caribbean. En *Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the Benefits for the Poor*, M. Qaim, A.F. Krattiger y J. von Braun (eds.), Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.

Trigo, E.J. 1999. *Elementos estratégicos para el desarrollo en la investigación agrícola en América Latina y el Caribe*. IICA. San José, Costa Rica.

Virginia Polytechnic Institute and State University. 1999. *Ecological Effects of Pest Resistance Genes in Managed Ecosystems*. Proceedings of a workshop on Information Systems for Biotechnology. Blacksburg, VA.

WIPO. 2001. [http://www.wipo.int/eng/meetings/2001/igc/pdf/grtkfic1\\_6.pdf](http://www.wipo.int/eng/meetings/2001/igc/pdf/grtkfic1_6.pdf).