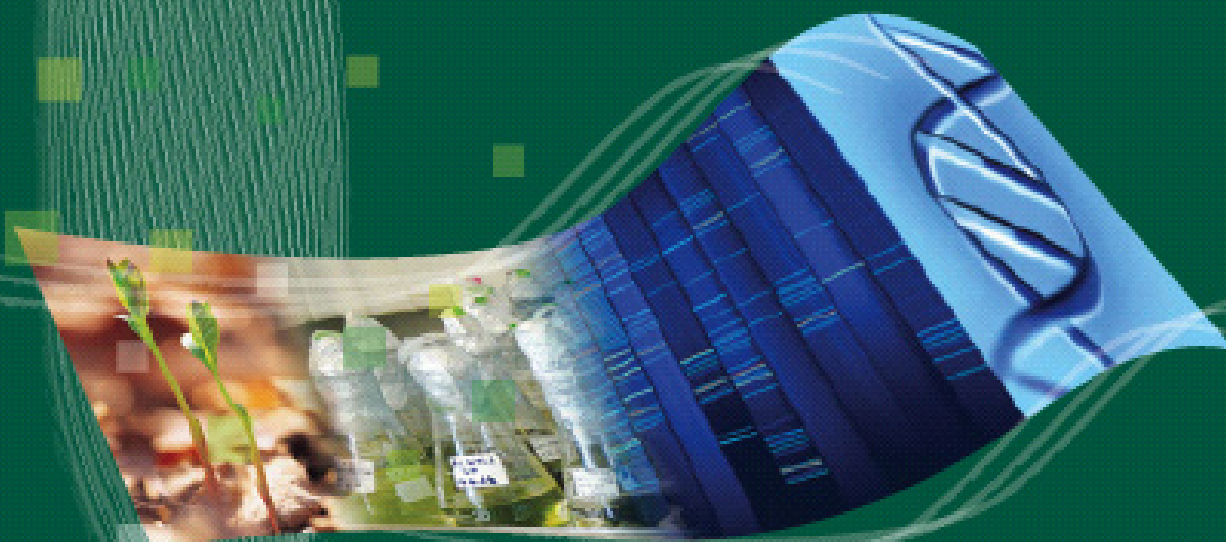


# Agrobiotecnología en América Latina y el Caribe:

- estado actual de su desarrollo y adopción



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

# Agrobiotecnología

en América Latina y el Caribe:

- estado actual de su desarrollo y adopción



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

© Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2008

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.iica.int>.

Coordinación editorial: Assefaw Tewolde, Eduardo Rojas y Adriana Chavarría

Corrección de estilo: Máximo Araya

Diagramado: Ana Catalina Lizano

Diseño de portada: Karla Cruz

Impresión: Imprenta IICA, Sede Central

Agrobiotecnología en América Latina y el Caribe: estado actual de su desarrollo y adopción / IICA -- San José: IICA, 2008.  
62 p.; 28 cm. –

ISBN13: 978-92-9039-967-4

1. Agricultura 2. Biotecnología – América Latina  
I.IICA II. Título

AGRIS  
F30

DEWEY  
631.523

San José, Costa Rica  
2008

# Tabla de contenido

<b>Prefacio</b>	<b>5</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>7</b>
1. Introducción	11
2. Antecedentes	15
3. Situación actual de la agrobiotecnología en el hemisferio	17
3.1 Región Andina	17
3.1.1 <i>Bolivia</i>	18
3.1.2 <i>Colombia</i>	19
3.1.3 <i>Ecuador</i>	21
3.1.4 <i>Perú</i>	22
3.1.5 <i>Venezuela</i>	24
3.2 Región Caribe	27
3.3 Región Central / Centroamérica	29
3.3.1 <i>Belice</i>	30
3.3.2 <i>Costa Rica</i>	31
3.3.3 <i>El Salvador</i>	33
3.3.4 <i>Guatemala</i>	33
3.3.5 <i>Honduras</i>	35
3.3.6 <i>Nicaragua</i>	36
3.3.7 <i>Panamá</i>	37
3.4 Región Sur	38
3.4.1 <i>Argentina</i>	39
3.4.2 <i>Brasil</i>	41
3.4.3 <i>Chile</i>	44
3.4.4 <i>Paraguay</i>	45
3.4.5 <i>Uruguay</i>	47
3.5 Región Norte	49
3.5.1 <i>México</i>	49
3.5.2 <i>Estados Unidos y Canadá</i>	52
3.6 Inversiones en la formación de recurso humano en biotecnología	53
4. Potencial y limitaciones de la agrobiotecnología para el desarrollo del hemisferio	55
5. Conclusiones	59
6. Literatura citada	61



# Prefacio

**E**n esta publicación, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) ofrece una revisión del estado actual del desarrollo de la agrobiotecnología en los países de América Latina, a fin de proveer a sus Estados Miembros de información actualizada sobre un tema que requiere la atención de las instituciones de producción de todo el continente.

Dicha información fue recopilada de documentos suministrados por los países, de numerosas publicaciones relacionadas con ese tema y de consultas realizadas a diversos expertos nacionales e internacionales. También se incluyó información generada por el Programa Hemisférico de Biotecnología y Bioseguridad del IICA, en cuyo marco se realizan reuniones regionales de expertos convocadas por el IICA para determinar la situación particular de los países en el tema.

De los 23 países que ya utilizan agrobiotecnologías, en América Latina se encuentran diez de ellos, lo que convierte a esta región aquella en que se ha dado la mayor adopción de biotecnologías por parte de sus países, incluidos los mayores exportadores de alimentos a nivel mundial.

La importancia de los cultivos biotecnológicos en las Américas lamentablemente no guarda relación con la cantidad de instituciones y recursos humanos altamente calificados que hay en el continente, ni con la inversión en

investigación y desarrollo que se realiza en esa área, principalmente en determinadas subregiones de América Latina y el Caribe. Debido a esta situación, el IICA considera importante llevar a cabo este tipo de análisis en la región, con el fin de que los países tomen conciencia de la imperiosa necesidad de un mayor esfuerzo colectivo dirigido a estimular las áreas de investigación, desarrollo, inocuidad y comercialización de productos agrobiotecnológicos.

Es deseo del IICA que este documento sirva como estímulo para reconocer los logros alcanzados por algunos de los países de la región en el área de la biotecnología y para estimular a aquellos que se encuentran desarrollando sus capacidades en dicha área a incrementar sus esfuerzos en ese sentido.

La información aquí recopilada puede también ser útil para localizar los centros de excelencia que existen en la región y para incrementar la colaboración Norte-Sur y Sur-Sur, mediante la cual se pueden subsanar las asimetrías identificadas entre subregiones y países.

Es muy importante estimular la colaboración horizontal en biotecnología entre los países de las Américas, ya que hay varios factores que la facilitan: el uso de un mismo idioma en muchos de sus países, la similitud cultural y la presencia de centros altamente calificados para apoyar el desarrollo biotecnológico de los países.



# Resumen ejecutivo

**S**e estima que en el año 2050 la población de América Latina será de 800 millones de personas. Además de ese incremento poblacional, el probable aumento de las economías de estos países traerá una demanda de alimentos, la cual difícilmente podrá ser cubierta con los actuales sistemas de producción. El reto que se presenta es incrementar la productividad agrícola sin destruir los recursos genéticos de la región y sin aumentar en forma drástica la frontera agrícola. Las nuevas tecnologías, incluida la agrobiotecnología, constituyen opciones para enfrentar con éxito ese problema.

El continente americano es rico en biodiversidad, pues de los 17 países mega-diversos del mundo, seis están ubicados en los trópicos americanos (Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela). El hemisferio es el centro de origen de varias especies importantes para la producción mundial de alimentos y de otras especies que tienen varios usos, las cuales fueron domesticadas por las poblaciones nativas. El potencial de incrementar el número de especies nativas de los trópicos americanos útiles para el desarrollo humano es todavía muy grande, debido al escaso conocimiento que aún existe de la biodiversidad de esa región. Los recursos genéticos de las Américas y el conocimiento que tienen de ellos las comunidades nativas podrían ser de gran utilidad para desarrollar nuevas tecnologías, tanto tradicionales como nuevas agrobiotecnologías.

La humanidad ha utilizado la biotecnología desde la antigüedad. Desde las primeras

etapas de la civilización, se domesticaron plantas y animales y se elaboraron bebidas y alimentos utilizando organismos vivos, como el caso de la cerveza, el pan y el queso. Sin embargo, no fue sino hasta inicios del siglo XX que, con los adelantos en la bioquímica y la microbiología, se lograron establecer las bases científicas de esos procesos, lo que permitió el desarrollo de procedimientos industriales. A partir de las investigaciones sobre el ADN, el descubrimiento del código genético y el desarrollo de la tecnología del ADN recombinante in vitro, que permitieron cortar y empalmar fragmentos de ADN provenientes de cualquier organismo, se abrió un enorme campo de posibilidades. Estos conocimientos sentaron las bases para utilizar tecnologías dirigidas al mejoramiento genético de las especies y, con base en ellos, en 1983 se produjeron las primeras plantas transgénicas.

Las plantas transgénicas u organismos vivos modificados (OVM) se comenzaron a utilizar comercialmente en 1996. Los cultivos biotecnológicos que se están sembrando en la actualidad son soja, maíz, algodón, colza, papa y papaya. Estos cultivos se caracterizan por la inclusión en sus genomas de genes que confieren tolerancia a herbicidas, insectos y virus. Durante los últimos diez años se ha producido un avance importante en la aceptación de estas tecnologías por los agricultores.

Durante el año 2006 se sembraron 102 millones de hectáreas con cultivos biotecnológicos en 22 países, de los cuales 11 son desarrollados y 11 se encuentran en vías de desarrollo. Los



países de América Latina que están utilizando cultivos transgénicos son: Argentina (18 millones de hectáreas cultivadas de soja, maíz y algodón), Brasil (11,5 millones de hectáreas con soja y algodón), Paraguay, Uruguay, México y Colombia, estos cuatro últimos con extensiones mucho más reducidas, pero con tendencia al incremento. Se estima que en 2007 habrá 200 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos y que habrá 44 países usuarios de biotecnología. El uso de los cultivos biotecnológicos seguirá creciendo en los próximos diez años.

A nivel de investigación se han desarrollado un gran número de alternativas para el desarrollo de nuevas especies biotecnológicas, con potencial para incrementar la productividad agrícola y mejorar la calidad nutricional de los alimentos.

América Latina identificó a la biotecnología como una valiosa herramienta para incrementar la competitividad del sector agropecuario. Sin embargo, aunque los países latinoamericanos han incursionado en el uso y aplicación de la biotecnología, existe una gran diversidad de capacidades instaladas y de personal capacitado en la región. Estas capacidades están relacionadas con el desarrollo tecnológico y económico de cada uno de los países latinoamericanos.

Ante esa situación, el Instituto Interamericano de Cooperación a la Agricultura (IICA), mediante la resolución 386 de la Junta Interamericana de Agricultura (JIA), recibió de sus países miembros el mandato de formular e implementar el Programa Interamericano en Biotecnología y Bioseguridad, cuya implementación fue aprobada por el Comité Ejecutivo del IICA.

La región de América Latina que presenta mayores capacidades institucionales en biotecnología es la Región Sur. Los países que la integran cuentan con instituciones y personal calificado en cantidades muy

superiores a las de otras regiones. Como resultado de las actividades de investigación y desarrollo (I+D) y las alianzas con el sector privado, existe una serie de industrias que desarrollan productos biotecnológicos, no solo en el área agrícola sino también en salud humana, animal, productos ambientales, moleculares químicos y afines. En los países más grandes de la Región Sur, el avance en los últimos diez años ha sido constante, con una tendencia al incremento de actividades relacionadas con la biotecnología.

La Región Andina se encuentra en una situación de desarrollo mediano a nivel de América Latina. Los países cuentan con infraestructura y recursos humanos de importancia media y cuentan, en mayor o menor grado, con programas de formación académica. Las tecnologías que se están implementando, aunque importantes, todavía tienen mucho espacio para su evolución. Uno de los aspectos resaltantes es que la gran mayoría de la inversión en el área de la biotecnología proviene de fondos públicos. La ausencia de un sector privado involucrado en el desarrollo de productos derivados de la biotecnología es uno de los factores más limitantes para el desarrollo integral de esta área. Colombia se destaca en la utilización de productos biotecnológicos con empresas dedicadas a producir en forma comercial material de siembra libre de enfermedades, bioinsecticidas y productos derivados de los recursos genéticos y productos afines. Sin embargo, otros países de la Región Andina también están realizando acciones tendientes al aprovechamiento de los recursos genéticos tan importantes en la región.

La región de Centroamérica posee un desarrollo básico de la agrobiotecnología y cuenta con capacidad instalada en infraestructura y recursos humanos. Existen diferencias entre los países; sin embargo, la presencia de centros de excelencia en Costa Rica, Honduras y Panamá puede ser la base para un intercambio de información,

conocimientos y recursos. La biodiversidad presente en la zona es uno de los mayores recursos para potenciar la biotecnología en la región.

El Caribe es la región que se encuentra más rezagada en el desarrollo de la biotecnología. Tres países poseen capacidad instalada y recursos humanos preparados para la investigación y el desarrollo de la biotecnología: Jamaica, República Dominicana y Trinidad y Tobago, los cuales pueden ser los motores para el desarrollo biotecnológico en esa región.

En general, América Latina se encuentra en una etapa temprana del desarrollo de la agrobiotecnología. La región, sin embargo, tiene gran potencial para ese desarrollo, debido a la base de recursos naturales que posee. Por otra parte, actualmente cuenta con infraestructura básica, pero con una tendencia a una rápida

expansión. Sin embargo, existen diferencias notables en el desarrollo biotecnológico entre los diferentes países del continente. Debido a esa razón se considera de gran valor la iniciativa del IICA y de otras instituciones dirigida al desarrollo de una estrategia regional diferenciada que impulse el avance del desarrollo y adopción de la agrobiotecnología, así como el intercambio de conocimientos, experiencias y personal calificado entre los países. Ello debe ir acompañado de un marco regulatorio de bioseguridad acorde con las características y necesidades particulares de cada país.

Este documento presenta el panorama regional actual de América Latina y el Caribe, con excepción de los países de lengua inglesa y francesa del Caribe, en el tema de la biotecnología en lo referente a instituciones, legislación, políticas, investigación y recursos humanos. Es un documento dinámico que tiene que actualizarse periódicamente.



La agricultura deberá alimentar a una población creciente que, según las últimas proyecciones, en el año 2020 llegará a 8000 millones de personas, de los cuales 6700 millones habitarán en los países en desarrollo (<http://www.fao.org/biotech/sector2.asp>). El aumento sostenido en la demanda de alimentos podría llegar a ser tan grande que en breve se colmará la capacidad de carga de la superficie disponible para la agricultura, la que contrariamente a la población se reduce. Las tecnologías tradicionales no serán suficientes para garantizar la producción de alimentos que ese crecimiento poblacional requiere. El desafío tecnológico consiste en aumentar la productividad agrícola, sin destruir la base de los recursos naturales de la región y sin aumentar en forma drástica la frontera agrícola. Las nuevas tecnologías, incluida la agrobiotecnología, constituyen un medio para aumentar la productividad agrícola y garantizar así garantizar la disponibilidad de alimentos para satisfacer la demanda que las proyecciones actuales estiman para el futuro cercano.

Actualmente, las principales aplicaciones biotecnológicas en el ámbito agrícola son el cultivo de tejidos, la selección con ayuda de marcadores y la tecnología transgénica. El cultivo de tejidos incluye la micropropagación, la recuperación de embriones, la regeneración de plantas a partir del callo y la suspensión de células, así como el cultivo de protoplasma, anteras y microsporas, que se utilizan sobre todo para la multiplicación de plantas en gran escala. La micropropagación es particularmente útil para producir material de plantación de alta calidad y exento de enfermedades en una vasta gama de cultivos, tales como banano, plátano, cacao y frutales, entre otros. El cultivo de tejidos también

constituye el medio para superar las barreras aislantes que impiden la reproducción de plantas cultivadas con plantas silvestres afines de parentesco distante, mediante la recuperación de embriones y la fusión de protoplastos.

La tecnología de marcadores moleculares permite apoyar y acelerar la selección del fitomejoramiento convencional. Se trata de un método sumamente útil para identificar la base genética de las características que tengan potencial para el mejoramiento agrícola y se utiliza para trazar mapas con el fin de localizar genes particulares que determinan características beneficiosas. Mediante la utilización de marcadores moleculares se han elaborado mapas genéticos sumamente detallados y precisos para numerosas especies de cultivos. Los marcadores, que resultan particularmente útiles para analizar la influencia de características complejas como la productividad de las plantas y la tolerancia a condiciones de cultivo extremas, actualmente se utilizan para desarrollar cultivares idóneos de los principales cultivos, logrando una aceleración en su producción por unidad de tiempo.

La generación de plantas transgénicas modificadas genéticamente con toda una gama de características añadidas utiliza técnicas avanzadas de ADN recombinante, que incluyen la ingeniería genética y la clonación. Se han distribuido comercialmente varios cultivares transgénicos de importantes cultivos alimentarios como soja, maíz, algodón, colza, papas y papaya, que contienen genes de resistencia a herbicidas, insectos y virus. Se estima que la superficie total plantada con cultivos transgénicos durante el año 2006 alcanzó las 102 millones de hectáreas

localizadas en 22 países, de los cuales 11 son países desarrollados y 11 países en vías de desarrollo. En América Latina los países que están utilizando cultivos transgénicos son Argentina (18 millones de hectáreas cultivadas con soja, maíz y algodón), Brasil (11,5 millones de hectáreas con soja y algodón), Paraguay, Uruguay, México y Colombia, estos últimos cuatro con extensiones mucho más reducidas que los dos primeros, pero con una tendencia al aumento. Se estima que el uso de cultivos biotecnológicos crecerá en los próximos diez años en un 100%, alcanzando las 200 millones de hectáreas sembradas en el año 2017 con un total de 44 países usuarios de la tecnología (ISAAA 2006). En contraposición con el sector agrícola, el uso de la biotecnología en el sector pecuario ha sido limitado en la región.

El continente americano es sumamente rico en biodiversidad. En él ha habido importantes centros de endemismo y de biodiversidad, así como centros de domesticación de cultivos. Estos centros se encuentran en Mesoamérica, la región Andina y la región Amazónica. De los 17 países megadiversos del mundo, seis están ubicados en los trópicos americanos (Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela). El hemisferio es el centro de origen de diferentes especies que hoy se utilizan mundialmente en la producción de alimentos, fibras, medicinas, colorantes, ornamentales y microorganismos. El potencial de incrementar el número de especies útiles para el desarrollo humano es todavía muy grande, debido al escaso conocimiento de la diversidad biológica del continente, así como de la diversidad genética que existe dentro de una misma especie. Muchas de estas especies de la región están siendo afectadas negativamente por actividades humanas, particularmente por la destrucción de los ecosistemas. La parte positiva es que, como resultado de la Convención de Biodiversidad (1992), se ha incrementado en forma sustancial la conciencia de los gobiernos y el público en general sobre la necesidad de conservar e incrementar los conocimientos sobre los recursos genéticos,

así como el potencial que ellos significan para el desarrollo de los países.

Los recursos genéticos son la base para el desarrollo de las modernas biotecnologías, ya que muchos de los beneficios se derivan de la utilización de estos recursos. Además, son la fuente de los genes que se utilizan en los procesos de transformación genética, que son la base de los avances que se han logrado en esta área en los últimos años. Los recursos genéticos han sido empleados en forma continua por las comunidades nativas, las cuales nos han legado valiosa información sobre la utilidad y las cualidades de muchas de estas especies. Varios productos biotecnológicos, por ejemplo plantas medicinales, los “chips” de papas andinas que se comercializan en Estados Unidos y Europa y los extractos de plantas que se usan en las industrias farmacéutica y cosmética, provienen directamente del uso de estos recursos genéticos.

En relación con el sector pecuario, una aplicación de la ingeniería genética en animales de granja es efectiva para el diseño de vacunas. La gastroenteritis transmisible es una enfermedad mortal para los lechones producida por el coronavirus TGEV. Se han producido ratas transgénicas cuya leche transmite un anticuerpo monoclonal recombinante que neutraliza ese virus; ello ha dado como resultado la inmunización de la camada mediante la ingesta de leche.

El crecimiento de los animales superiores está regulado por la secreción de una hormona del crecimiento cuya secuencia está muy conservada en la escala evolutiva. A dicha secreción ayuda el llamado factor liberador de la hormona del crecimiento. Los genes que codifican dichas hormonas han sido clonados desde distintos animales de granja. Normalmente están en una sola copia por genoma pero por microinyección se ha conseguido producir animales en los que existen múltiples copias de dichos genes y, por ende, mayores cantidades de la hormona del crecimiento en el torrente sanguíneo. En el caso

del cerdo, los transgénicos presentan un notable incremento de peso y un ligero incremento en la eficacia de conversión de peso.

La glándula mamaria de las hembras de mamífero es el mejor fermentador que existe en la naturaleza. Una vaca en producción puede dar lugar a 10.000 litros de leche con una concentración de proteína de 35 g/l. Estos datos llevaron hace tiempo a formular la posibilidad de producir proteínas de alto valor añadido en la leche de animales de granja; mediante el uso de los promotores de los genes que codifican la lactoglobulina, la proteína ácida de la leche o la caseína, se ha logrado expresar cantidades importantes de distintas proteínas de alto valor añadido en la leche de distintos animales transgénicos de granja. De particular relevancia son los casos de la antitripsina 1 humana (tratamiento de la fibrosis quística), la interleuquina-2 humana (generación de respuesta inmune) y la calcitonina (osteoporosis). En el caso de los peces, la situación es diferente; se han construido salmones transgénicos que portan múltiples copias del gen de la hormona del crecimiento del salmón bajo el control del promotor del gen de la metalotioneína de salmón. En este caso hay un aumento de tamaño y los animales que se obtienen alcanzan antes la madurez sin problemas alternativos.

Es importante reconocer que existe preocupación con respecto a la producción y el comercio de los productos derivados de algunas de las biotecnologías aplicadas en la actualidad, como es el caso de los cultivos y alimentos producidos a partir de organismos vivos modificados (OVM). Estas inquietudes se relacionan con la seguridad del medio ambiente y los consumidores. En un caso, se argumenta sobre la posibilidad de que ocurra flujo de transgenes por cruzamientos entre el OVM y malezas o especies silvestres relacionadas que podría

afectar esas poblaciones. Asimismo, existen preocupaciones con respecto al posible desplazamiento de cultivares tradicionales y recursos genéticos debido a la utilización de cultivares modificados genéticamente. Además, a pesar de que se ha demostrado a través de pruebas validadas que los cultivos genéticamente modificados son inocuos a la salud humana, existen cuestionamientos en relación con la inocuidad del alimento derivado de cultivares transgénicos.

Por estas razones y con el fin de garantizar que no se produzcan efectos nocivos para el medio ambiente ni para los usuarios de los productos biotecnológicos, es necesario que los países latinoamericanos dispongan de reglamentos adecuados y armonizados internacionalmente en materia de bioseguridad. Además, deben evaluarse con información científica los efectos en el medio ambiente, así como los costos y beneficios del uso de cultivos transgénicos y determinar la medida en que los beneficios del producto o proceso compensen un riesgo calculados. En este sentido, es vital para la región latinoamericana que se establezcan y apliquen los mecanismos e instrumentos apropiados para vigilar la utilización de OVM.

Actualmente, existe un amplio marco normativo internacional con sistemas regulatorios basados en el conocimiento científico, los cuales se están actualizando constantemente a medida que avanzan estas tecnologías. Ello tiene la finalidad de garantizar la inocuidad de los productos derivados de estas tecnologías, a medida que su uso se extiende. Sin embargo, ante este escenario y dado el limitado desarrollo de las políticas nacionales en biotecnología y bioseguridad en América Latina, es patente la necesidad de desarrollar marcos regulatorios de bioseguridad funcionales pero flexibles y que se ajusten a la realidad latinoamericana.



La humanidad ha utilizado la biotecnología desde la antigüedad: domesticación de plantas y animales; elaboración de bebidas y alimentos utilizando organismos vivos, como en el caso de la cerveza (por ejemplo, en las civilizaciones de Sumeria y Babilonia, 6000 años a.C) y el pan (civilización egipcia, 4000 años a.C); la fabricación de quesos y el cultivo de hongos (Iáñez, 2005). Por lo tanto, aunque el uso de la biotecnología no es nuevo, la base de muchos de los procesos mencionados anteriormente no se conoció sino hasta la llegada de la biología moderna.

A comienzos del siglo XX, la convergencia de la bioquímica y la microbiología permitió establecer las bases enzimáticas y metabólicas de muchos procesos de fermentación, lo que a su vez impulsó el desarrollo de procedimientos industriales para producir enzimas.

Desde la década de 1940, las técnicas de ingeniería química, microbiología y bioquímica permitieron la producción de antibióticos, ácidos orgánicos, esteroides, polisacáridos y vacunas. La penicilina comenzó a fabricarse en plena II Guerra Mundial, como resultado de avances importantes en técnicas de esterilización a gran escala y mejora de las instalaciones de fermentación y el cultivo del hongo. A partir de los cuales se diseñaron estrategias para mejorar genéticamente las cepas microbianas industriales.

Sin embargo, se puede recalcar que varios eventos científicos relevantes sentarían la base de la biotecnología contemporánea. Dentro de los más relevantes se pueden citar la descripción de la estructura conformacional de la doble hélice del ADN en 1953 y del código genético en la década de los 60s. Asimismo, la tecnología del ADN recombinante *in vitro*,

caracterizada por la capacidad de cortar y empalmar fragmentos de ADN provenientes de organismos similares y distintos permitió su utilización para el mejoramiento de los mismos. Es en 1983 que se producen las primeras plantas transgénicas (Bolívar, 2004).

El Convenio de Diversidad Biológica define a la biotecnología como “cualquier aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos, o algunos de sus derivados para crear o modificar productos o procesos para usos específicos” (Roca, 2003) Alternativamente, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) interpreta la biotecnología en un sentido más estricto y la define como el conjunto de diferentes tecnologías moleculares tales como la manipulación y transferencia de genes, el tipado de ADN y la clonación de plantas y animales (<http://www.fao.org/biotech/stat.asp>).

La acumulación e integración del conocimiento en áreas básicas como biología celular, microbiología, genética, bioquímica, ciencia y tecnología de alimentos e informática permitió que la biotecnología tenga en la actualidad un amplio rango de aplicación en sectores diversos como salud, agricultura, silvicultura, procesamiento de alimentos y farmacéutico.

América Latina identificó a la biotecnología como una valiosa herramienta para incrementar la competitividad del sector agropecuario, debido a que su aplicación se relaciona con el cultivo de tejidos vegetales, la selección de procesos de mejoramiento convencional asistida por marcadores moleculares y la tecnología transgénica. Sin embargo, aunque los países latinoameri-



canos han incursionado en el uso y aplicación de biotecnología, el proceso se ha dado con diferentes niveles de complejidad y escala en función de la situación económica y el estado de la capacidad instalada (científica y tecnológica) en cada uno de ellos.

Ante esa situación, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) facilitó la formulación del Programa Interamericano de Biotecnología y Bioseguridad (PIBB), sustentado en el mandato de la resolución n.o 386 de la Junta Interamericana de Agricultura (JIA).

El PIBB resalta la importancia y la necesidad de incorporar nuevas tecnologías, como la agrobiotecnología, en las políticas nacionales, las cuales contribuyen a impulsar

la competitividad del sector agrícola de los países miembros del IICA. El Programa también considera las implicaciones de la agrobiotecnología en el comercio y el movimiento transfronterizo de organismos vivos modificados (OVM), reflejado en acuerdos internacionales como el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad (PCB).

Por ello, el propósito del PIBB es facilitar mecanismos para el desarrollo, la gestión y el uso seguro de la agrobiotecnología en favor de una agricultura competitiva y sostenible para los países de las Américas. Su misión es identificar y promover oportunidades para la ejecución de actividades entre todas las partes interesadas, utilizando los recursos disponibles y los canales institucionales (nacionales y regionales) existentes.

# 3

## Situación actual de la agrobiotecnología en el hemisferio

### 3.1 Región Andina

Los países que integran la Región Andina (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) contienen una gran riqueza de biodiversidad y endemismo. Cuatro de estos cinco países están clasificados como megadiversos, lo que los convierte en centros de diversidad y domesticación de un gran número de recursos genéticos animales y vegetales. Además de la utilización directa de estos recursos para el desarrollo, la biotecnología moderna ofrece la oportunidad de convertir la biodiversidad en un elemento para el desarrollo económico y social a través de su valoración, uso sostenible y conservación. Aun cuando estos países presentan realidades distintas, la región cuenta con talento humano, instituciones y centros de excelencia, así como con empresas del sector privado activas en el área de la biotecnología. Estas características colocan a la región en una situación ventajosa para impulsar el desarrollo en el área de la agrobiotecnología, la cual es

de gran potencial para impulsar el desarrollo agrícola y tecnológico de sus países.

Las aplicaciones actuales de la biotecnología incluyen insumos biológicos agrícolas como biofertilizantes, biopesticidas, cultivos transgénicos, biocombustibles, nutracéuticos y cosméticos. También es de suma importancia el desarrollo de nuevos fármacos, vacunas, enzimas industriales, colorantes y una gama variada de nuevos productos.

La mayor inversión en biotecnología en esta región se ha centrado en las aplicaciones biofarmacéuticas. La razón principal es la riqueza biológica, química y genética de las plantas, animales y microorganismos presentes en sus países, que ofrecen una excelente oportunidad para el desarrollo de nuevos fármacos. Se calcula que aproximadamente el 25% de todos los fármacos en uso hoy en día provienen de



fuentes botánicas, debido a lo cual los mayores porcentajes de inversiones relacionadas con la biotecnología se presentan en aplicaciones para la salud. Sin embargo, aunque en proporciones inferiores, también están creciendo rápidamente aplicaciones biotecnológicas en la agricultura y el medio ambiente, así como la producción de biomateriales.

A continuación se procederá a analizar individualmente los países de la región a partir de la información recolectada mediante entrevistas y encuestas realizadas por las oficinas del IICA en los países, así como documentación disponible compilada por otras instituciones. Con el fin de definir la situación de la agrobiotecnología, el IICA organizó un taller para la identificación de necesidades en agrobiotecnología y bioseguridad en la Región Andina, el cual se llevó a cabo el 23-24 de noviembre de 2006, en Puenbo, Ecuador. En él participaron expertos nacionales y regionales en el área de la biotecnología procedentes de los sectores académico, público y privado.

### 3.1.1 Bolivia

#### Capacidades en agrobiotecnología:

En Bolivia la aplicación de la biotecnología está mayormente dirigida al campo vegetal y enfocada en los productos agrícolas, forestales y plantas ornamentales. En menor grado se adelantan investigaciones en el sector biofarmacéutico, en biopesticidas y EN aspectos ambientales.

#### Institucionalidad:

De acuerdo con las encuestas realizadas, Bolivia cuenta con aproximadamente 37 instituciones involucradas en el área de la biotecnología y bioseguridad, de las cuales

22 pertenecen al sector público, incluidas instituciones fiscalizadoras. Diez de ellas son del sector privado, nueve son universidades y tres son ONG o fundaciones que adelantan actividades en agrobiotecnología.

#### Recursos humanos:

El país cuenta con un personal especializado en biotecnología de 80 personas, cuyo grado de especialización es el siguiente: seis tienen el grado de doctorado, 17 el de maestría, 37 son graduados universitarios y 20 tienen un grado de nivel técnico. La mayoría de los profesionales bolivianos involucrados en biotecnología proceden de la especialidad de agronomía. Hay poco personal calificado en especialidades como biología molecular, genética e ingeniería genética, pero a estas especialidades pertenece el personal con grado académico de doctorado.

#### Capacidad técnico-científica:

Las tecnologías más comúnmente aplicadas en el desarrollo de los programas biotecnológicos son las siguientes: micropropagación, embriogénesis somática, biología molecular, conservación *in vitro*, criopreservación, ingeniería genética y genómica. Otras tecnologías como marcadores moleculares, diagnóstico y bioinformática también son utilizadas, pero en menor grado. Además de estas tecnologías específicas se realizan otras actividades que son importantes para el desarrollo de la agrobiotecnología, como es el caso de estudios y diagnósticos de la diversidad biológica, conservación y desarrollo del potencial de los cultivos andinos, bancos de germoplasma y actividades conexas, entre ellas conservación, identificación genotípica y mejoramiento tradicional. Otra actividad importante es la validación del conocimiento tradicional de las plantas medicinales, debido a su uso como antioxidantes, sustancias anticancerígenas, colorantes, cosméticos y aceites naturales.

### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

En Bolivia no está autorizado el uso de los OVM en la agricultura; sin embargo, se cree que en el país se están sembrando cultivos de soya con estas características, debido a la competencia de los países vecinos y a la aceptación por los productores locales. Debido a la proximidad de Brasil y Argentina, donde hay cultivos de soya, y a que una parte importante del cultivo de soya en Bolivia está siendo implementado por intereses de Brasil, existe la posibilidad de que semillas transgénicas estén siendo utilizadas.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Bolivia cuenta con un marco legal referente al acceso de los recursos genéticos: el Decreto Supremo 24676 del 21 de junio de 1997, que establece el reglamento de la Decisión 391 (Régimen Común de Acceso a los Recursos Genéticos) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN). La bioseguridad está normada por el Decreto Supremo 24676 del año 1997: Reglamento sobre Bioseguridad. La ley boliviana n.o 1580 de 1994 contempla la integración del Comité Nacional de Bioseguridad, que es el organismo encargado de brindar asesoramiento y apoyo técnico en la materia. La Ley n.o 2061 del año 2000 crea el Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG), con el fin de reglamentar la importación, el uso y otras actividades relacionadas con los OVM.

## **3.1.2 Colombia**

### **Capacidades en agrobiotecnología:**

Colombia es posiblemente el país de la Región Andina con la mejor estructura para el aprovechamiento de las oportunidades que

ofrece la agrobiotecnología. El país cuenta con recursos naturales importantes, con institucionalidad consolidada, un plantel de recursos humanos con calidad reconocida y con un marco regulador de esa actividad. Es el único país de la región en donde se están sembrando variedades transgénicas, como es el caso del algodón y el clavel, con la posibilidad de que otros cultivos se incluyan en el futuro. Otra ventaja comparativa es que cuenta con empresas privadas que están incursionando en la comercialización de productos biotecnológicos y al mismo tiempo invirtiendo en investigación y desarrollo. Las investigaciones y el desarrollo mantienen un amplio frente de trabajo en las más diversas áreas que ofrecen estas tecnologías. Consideramos, por tanto, que ese país cuenta con las condiciones para que la biotecnología presente un panorama optimista en el futuro cercano.

### **Institucionalidad:**

En Colombia se contabilizan 130 instituciones que tienen actividades en el área de la biotecnología. En el área específica de la agrobiotecnología existen 21 instituciones que se dedican a ella. En el sector académico hay cinco universidades que trabajan en esta área, en el público hay cinco instituciones, en el privado existen seis instituciones y cinco organizaciones son ONG. La diferencia entre el total de las instituciones que tienen actividades en biotecnología y las que se dedican específicamente al área de agrobiotecnología nos da una idea de la amplitud y la diversidad de la oferta científica que ofrece el país en esta área. Es de destacar que dentro de este número de instituciones se encuentran casi 50 que son de carácter privado dedicadas a la comercialización y/o investigación en biotecnología. El país cuenta con 16 laboratorios equipados para realizar investigación en el área de la agrobiotecnología, así como con cinco biofábricas, que elaboran diferentes productos

derivados de la agrobiodiversidad, como por ejemplo la extracción de sábila.

### **Recursos humanos:**

Una actividad tan intensa en agrobiotecnología tiene obligatoriamente que ir acompañada del personal calificado para adelantar las investigaciones y el desarrollo tecnológico. El número de personal calificado se distribuye de la siguiente forma: personal con nivel de doctorado: 50 y con nivel de maestría: 35. Además, existen 99 técnicos involucrados en las tareas de investigación que brindan apoyo al personal científico. Las especialidades con mayor número de profesionales que trabajan en el área de la biotecnología son las ingenierías química e industrial, lo que indica el grado de industrialización de las actividades biotecnológicas, seguidos por profesionales de biología, microbiología, agronomía y salud. Los profesionales con grados académicos de maestría y doctorado se ubican en las áreas de biología y microbiología.

### **Capacidad técnico-científica:**

Entre las tecnologías mayormente empleadas en las actividades de agrobiotecnología están la micropropagación (producción de plantas libres de enfermedades), la embriogénesis somática (desarrollo de variedades vegetales), la biología molecular (caracterización de germoplasma, estudios de biodiversidad), la conservación *in vitro* (conservación de recursos genéticos, bancos de germoplasma), la crioconservación (conservación de recursos genéticos), la ingeniería genética (plátano, caña), la transformación genética (claveles transgénicos, algodón Bt, caña), la genómica, el diagnóstico de patógenos vegetales y marcadores moleculares (para el registro y protección de variedades). Estas son algunas de las agrobiotecnologías de uso en el país. A estas se debe agregar una gran variedad de tecnologías en áreas industriales, de alimentos, principios activos, proteínas

y otros metabolitos. Al mismo tiempo se adelantan varias investigaciones en el uso de plantas medicinales y en la extracción de sus productos activos para su uso en medicina, cosmetología e industria en general. Existen también actividades importantes en el sector ambiental, para la conservación del medio ambiente y tratamiento de desechos urbanos y residuos industriales. Es importante también señalar que en el país se ubica el Centro de Investigación en Agricultura Tropical (CIAT), una institución de los Centros Internacionales para la Investigación Agrícola (CGIAR). Aunque no es una institución colombiana, su aporte al desarrollo agrícola del país ha sido significativo, no solo por las investigaciones y desarrollos que realiza, sino también por el impacto positivo en la formación de personal calificado. Además, el CIAT está adelantando investigación de punta en agrobiotecnología, por ejemplo en arroz. El resultado de estos trabajos estará disponible no solo para Colombia, sino también para todos los países, por ser una institución financiada con fondos públicos internacionales.

### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

Colombia es el único país en la Región Andina que está utilizando cultivos biotecnológicos para la producción a nivel comercial. Se siembran 50 mil hectáreas de algodón Bt y también se cultiva clavel azul transgénico destinado a la exportación. Varias instituciones están avanzando en el desarrollo de plantas transgénicas en otros cultivos, tales como caña de azúcar, dioscórea, arroz, banano y yuca.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Colombia cuenta con abundantes leyes para regular y reglamentar estas actividades, por lo que su aplicación es complicada. Por ello, la integración de la estructura legal ayudaría a aclarar el panorama y facilitar la aplicación de la legalidad.

En relación con el acceso a los recursos genéticos, el país está dentro del marco legal de la Decisión 391 de la Comunidad Andina de Naciones, así como todos los otros países de la región. Esta decisión ha sido muy controvertida, pues en lugar de cumplir su objetivo de regular y facilitar el acceso a los recursos genéticos, ha tenido el efecto contrario, posiblemente debido a la falta de aplicaciones prácticas de la ley. El marco jurídico referido a la biodiversidad, el acceso y la investigación está cubierto por las siguientes legislaciones: artículo 81 de la Constitución Política de Colombia; artículo 42 del Código de Recursos Naturales; la resolución 620; el decreto 622 sobre el reglamento de los parques nacionales; la ley 99 de 1993, que crea el Ministerio del Medio Ambiente; el decreto 730 de 1997, que designa al Ministerio del Medio Ambiente como autoridad competente para los efectos de la Decisión 391; el decreto 309 del 2000, que reglamenta la investigación científica sobre diversidad biológica; el convenio 169 de la OIT, que estipula la consulta con las comunidades indígenas en aspectos de recursos genéticos.

El marco regulatorio para los OVM y bioseguridad está constituido por las siguientes resoluciones y leyes: resolución 3492 de 1998 del Instituto Colombiano Agropecuario; resolución ICA 2935 del 2001, que establece procedimientos de bioseguridad para actividades con OVM; la ley 740 del 2002, que aprueba el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad en Biotecnología; ley 599 del 2000, artículo 330 del Código Penal Colombiano, referente al manejo ilícito de microorganismos nocivos.

### 3.1.3 Ecuador

#### Capacidades en agrobiotecnología:

La biotecnología en Ecuador está básicamente restringida al sector agrícola y a la acuicultura. Esto se debe a que la agricultura es el sector

más importante dentro de la actividad económica del país, seguido por los sectores petrolero y minero. Entre los productos agrícolas más importantes en términos de producción, se encuentran el banano, que es el principal producto agrícola de exportación, la caña de azúcar, la palma africana, el cacao, plantas ornamentales y el café. Entre los productos acuícolas de exportación, el camarón ocupa un lugar importante. Existe un desarrollo relativamente pequeño en el sector de los productos naturales derivados de la biodiversidad presente en el país.

#### Institucionalidad:

La institucionalidad en Ecuador está representada básicamente por el sector público. Las organizaciones estatales representan la mayoría de la institucionalidad del país con 24 instituciones entre universidades, institutos de investigación agrícola y los ministerios de agricultura y de recursos naturales. El sector privado es relativamente débil y está representado por 3 entidades y 2 fundaciones que realizan actividades en el sector biotecnológico. Una iniciativa interesante es el desarrollo de un programa de biocomercio creado por el Ministerio del Ambiente y la UNCTAD. Este programa impulsa el desarrollo y la comercialización de productos derivados de la biodiversidad, como son plantas medicinales, aceites, colorantes naturales y lana de alpaca, entre otros.

#### Recursos humanos:

El número de profesionales especializados en agrobiotecnología es limitado, contando con tres profesionales con el grado de doctorado, tres con el de maestría, 12 con título universitario en biotecnología, biología molecular y agronomía, así como con personal técnico de apoyo en número limitado. Existe también un número importante de estudiantes que están realizando sus tesis de grado en esa área. En general, se considera que los recursos



humanos en esta área no guardan relación con la importancia que la agricultura y los recursos genéticos tienen en el país.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Debido al limitado número de instituciones y de personal calificado, las actividades en el área de la agrobiodiversidad no son tan abundantes, como se esperaría de un país que cuenta con una gran diversidad biológica. Las tecnologías más empleadas en el Ecuador van dirigidas a la investigación en recursos vegetales. Entre ellas se encuentran la multiplicación *in vitro*, la biología molecular, la conservación *in vitro*, los marcadores moleculares, la crioconservación, la embriogénesis somática, la transformación genética y la bioinformática.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

El uso de OVM en los sistemas de producción no está autorizado en el Ecuador. A pesar de contar con laboratorios en donde se podrían adelantar y desarrollar la transformación genética de plantas, no tenemos información que indique que se realizan experimentos en esa área.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Al igual que los demás países de la región, el Ecuador se adhiere a la Decisión 391 de la CAN relativa al intercambio de recursos fitogenéticos. El país ha desarrollado un reglamento para aplicar esta decisión. Existe una ley para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, así como reglamentos para la gestión ambiental y el Sistema Nacional de Evaluación de Impactos Ambientales.

### 3.1.4 *Perú*

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

Perú es un país megadiverso que cuenta con importantes recursos genéticos animales y vegetales. El país tiene un extraordinario potencial de desarrollo agrobiotecnológico, debido a su condición como un importante centro de diversidad biológica y lugar de domesticación de especies claves para la agricultura mundial. Es importante para el desarrollo del país reforzar los sistemas de investigación y desarrollo e involucrar en ello a la iniciativa privada, con el fin de potencializar estos recursos en beneficio de la sociedad. Las investigaciones biotecnológicas en el Perú se pueden dividir en tres grupos. Los recursos genéticos vegetales conforman el grupo más representativo en las actividades relacionadas con la biotecnología. El segundo grupo está compuesto por actividades relacionadas con humanos, actividades en biofarmacéutica, animales domésticos y silvestres y enzimas industriales. En el tercer grupo se encuentran las áreas de investigación con microorganismos y aspectos ambientales. El país cuenta con legislación abundante en el área.

#### **Institucionalidad:**

En el Perú la distribución de las instituciones no es muy diferente al resto de la región. La mayoría de instituciones que se dedican a la biotecnología se encuentran en el sector público: son 129 instituciones, incluidas universidades, institutos de investigación y ministerios, las cuales representan el 73% del total. El segundo lugar lo ocupan las instituciones privadas comerciales y no comerciales, con un total de 38 organismos que tienen actividades en esa área. El tercer lugar está representado por organismos internacionales, los cuales están representados

en el Perú por siete instituciones, entre ellas el Centro Internacional de la Papa (CIP), miembro de los Centros Internacionales para la Investigación Agrícola (CGIAR). Finalmente el cuarto grupo corresponde a ONG y fundaciones, con una institución.

Dentro de esta extensa gama institucional, el país reporta solo ocho instituciones involucradas en actividades relativas a agrobiotecnología y bioseguridad (INIESA, SENASA, CONCYTEC, IIAP, DIGESA, INRENA, UNALM, CIP). Consideramos que el número debe ser mucho mayor, si incluimos también al sector privado, tanto académico como industrial. Las instituciones reportadas son mayormente organismos gubernamentales.

#### **Recursos humanos:**

Dentro de las instituciones consultadas en Perú, el área de agronomía es la que cuenta con mayor número de profesionales, seguida por diferentes especialidades de biología, medicina y microbiología. En general en el área de la biotecnología trabajan 16 personas con grado de doctorado, 31 con grado de maestría y 70 profesionales universitarios, acompañados por un número importante de personal técnico de apoyo y estudiantes que están realizando sus tesis de grado o postgrado.

Específicamente en el área de agrobiotecnología se han reportado 15 personas con el grado de doctorado, 20 con el de maestría y 83 graduados universitarios y personal técnico de apoyo. Estos recursos humanos representan una masa crítica importante y se considera que el número de estudiantes que trabajan en laboratorios, en sus tesis de grado e internados garantiza la formación de los profesionales que requieren estas instituciones.

El número de laboratorios en que se realizan actividades en agrobiotecnología es de 26, cuyo nivel de infraestructura es variable, pero

con la capacidad de implementar diferentes tecnologías aplicadas en biotecnología.

#### **Capacidad técnico-científica:**

La capacidad de implementar tecnologías cubre un extenso rango que incluyen las más clásicas, como en el resto de los países: micropropagación, embriogénesis somática, biología molecular, conservación in vitro, crioconservación, ingeniería genética, transformación genética. Además también existen capacidades en áreas como diagnóstico, cultivo de embriones, marcadores moleculares, metabolitos secundarios, clonación de genes, mapeo de genes, genómica estructural y funcional, entre otras. El país tiene el potencial de desarrollar tecnologías más avanzadas y cuenta con el personal que puede desarrollar o entrenarse para su manejo.

Como en el caso de Colombia, la presencia en el país del Centro Internacional de la Papa (CIP) representa una clara ventaja en relación con las oportunidades que estas instituciones presentan al país para la formación de personal calificado y el desarrollo de alianzas estratégicas con instituciones locales. Además, las tecnologías que allí se desarrollan y los recursos con los que cuentan ofrecen ventajas comparativas importantes para el desarrollo de la agrobiotecnología.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

En el Perú no está autorizada la siembra comercial de productos transgénicos ni su introducción.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

El Perú cuenta con una amplia gama de políticas nacionales y de legislación directa e indirecta que regula y reglamenta las áreas de la



agrobiotecnología y la bioseguridad. Entre las legislaciones nacionales directas se encuentran la Ley 12033 (Ley General sobre el Desarrollo de la Biotecnología Moderna en el Perú), la Ley 27104 (Prevención de Riesgos Derivados del Uso de la Biotecnología), el Decreto Supremo 108-2002 PCM, el Reglamento de la Ley de Prevención de Riesgos Derivados del Uso de la Biotecnología, la Resolución Legislativa N° 28170 (Aprobación del Protocolo de Cartagena) y el Decreto Supremo 022-2004-RE, que ratifica al RL 28170.

#### **Legislación nacional indirecta:**

La Resolución Legislativa n.º 26181, que aprueba el Convenio sobre Diversidad Biológica; la Ley n.º 26821 (Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales), la Ley n.º 26839 (Ley para el Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica), el Decreto Supremo n.º 068-2001, el Reglamento de la Ley sobre Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica, el Decreto Supremo 102-2001-PCM (Estrategia Nacional de la Diversidad Biológica del Perú), el Decreto Ley n.º 22175 (Ley de Comunidades Nativas y Desarrollo Agrario de la Selva y la Región de los Andes que Baja hacia al Amazonas Conocida como Ceja de Selva) y el Decreto Supremo 048-2001-AG (Reglamento General de la Ley Marco de Sanidad Agraria).

Perú, como miembro de la Comunidad Andina de Naciones, se adhiere a las decisiones de esta institución relativas al acceso a los recursos genéticos: la decisión 391, la decisión 486 CAN (Régimen común sobre propiedad industrial) y la decisión 345 CAN (Régimen común de protección a los derechos de obtentores de nuevas variedades vegetales). Existen además otras legislaciones que tienen injerencia en las actividades de la biotecnología. Como se puede apreciar, el marco legal es amplio. Consideramos que uno de los problemas para su implementación integral es la falta de coordinación entre los diferentes organismos

con la responsabilidad de implementar estas legislaciones.

### **3.1.5 Venezuela**

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

Venezuela cuenta con importantes capacidades para la investigación y el desarrollo de la biotecnología y con un plantel de profesionales relativamente grande en esa área. A diferencia de otros países de la región, las investigaciones biotecnológicas en humanos es posiblemente el área más importante de esta actividad, seguida muy de cerca por el tema agrícola, incluidas actividades con vegetales y animales. En menor grado se desarrollan actividades con microorganismos, aspectos industriales y ambientales. Esta distribución podría explicarse debido a la particularidad de que Venezuela es un país cuyo PIB depende en gran parte de la actividad petrolera y minera. Otra característica importante es que el país es deficitario en alimentos y debe importar un porcentaje elevado de productos agrícolas para satisfacer la demanda.

#### **Institucionalidad:**

En Venezuela en el sector público se ubican casi todas las 200 instituciones dedicadas a la investigación en el área biotecnológica. Los institutos públicos con actividades en esta área son 183, seguidos en un lejano segundo lugar por las instituciones privadas de carácter comercial con 11 instituciones. Las fundaciones están representadas por tres instituciones y las instituciones privadas no comerciales y los organismos internacionales por otras tres entidades.

De estos grupos, 90 laboratorios se dedican a desarrollar actividades en el área de la agrobiotecnología, de los cuales el 56%

están en el sector público (grupos de investigación en las universidades). Otras instituciones estatales, tales como centros de investigación agrícola e instituciones afines, representan el 22%, mientras que las instituciones privadas constituyen el 21% de los grupos activos en agrobiotecnología. En estos grupos no se incluyen los ministerios ni los organismos oficiales encargados de la fiscalización, regulación y seguimiento de estas actividades.

El país cuenta con una infraestructura bien establecida y con laboratorios con equipo moderno para adelantar investigación y desarrollo en esta área. Durante los años 2002-2004, en los laboratorios de instituciones venezolanas se estaban implementando 261 proyectos de investigación en agrobiotecnologías.

#### **Recursos humanos:**

El país cuenta con un número importante de investigadores en el área de la biotecnología que laboran en la red de laboratorios activos. De los profesionales del área, 63 poseen el grado de doctorado, 115 el de maestría, 50 son graduados universitarios y alrededor de 700 personas trabajan en calidad de técnicos.

Específicamente en agrobiotecnología se contabilizan 287 investigadores: el 20% con el grado de doctorado, el 35% con el de maestría y el 45% con título universitario. También se cuenta con un número no determinado de personal técnico de apoyo. Los grupos principales de investigadores se encuentran concentrados en tres instituciones que reúnen al 54% de estos investigadores: la Universidad Central de Venezuela, el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Existe una amplia oferta de las universidades nacionales de programas en biotecnología. En el país se ofrecen numerosos postgrados a

nivel de doctorado, maestría y especialización en esta rama. Específicamente en el área de la agrobiotecnología, existen cuatro programas de doctorado, 15 programas de maestría y tres programas de especialización, los cuales son ofrecidos por seis universidades.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Dadas las capacidades instaladas en el país en el área de la biotecnología, en el país se emplea la mayoría de las tecnologías modernas en agrobiotecnología. Las tecnologías más utilizadas son biotecnología de plantas (cultivo de tejidos, micropropagación clonal, embriogénesis somática, ingeniería genética, marcadores moleculares y bioquímicos y mejoramiento genético), actividades a las cuales se dedican 154 investigadores. En biotecnología animal (diagnósticos, terapéuticos, trasplante de embriones, ingeniería genética, marcadores genéticos) están involucrados 67 investigadores. En modelos moleculares y geonómicos (secuenciación ADN/ARN, proteínas y bases de datos para humanos, plantas, animales y microorganismos), el número de científicos que utilizan estas tecnologías asciende a 30. También hay cuatro investigadores en bioinsenticidas, biofertilizantes, aditivos biológicos y control biológico de plagas. Existen 29 investigadores que trabajan en otras especialidades, tales como bioprocesamiento, acuicultura y aplicaciones no alimentarias de productos agrícolas.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

En Venezuela no está permitida la siembra de material transgénico ni la experimentación con materiales de este tipo a nivel de campo. Paradójicamente el país importa un porcentaje elevado de alimentos, que principalmente provienen de países que han adaptado esta tecnología. En consecuencia, en la práctica la mayoría de los alimentos que consumen

los animales y parte de alimentos para consumo humano tienen su origen en cultivos transgénicos.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Venezuela ha adoptado dentro de su sistema legislativo el Régimen Común de Acceso a los Recursos Fitogenéticos de la Comunidad Andina de Naciones, Decisión 391. A pesar de haberse retirado de este organismo de integración regional, no se ha cambiado la legislación actual en este sentido. Esta reglamentación no cuenta en Venezuela con un reglamento para su implementación; sin embargo, la Ley de Diversidad Biológica del 2000 establece la obligación de celebrar

contratos de acceso. Además de la Ley de Tierras y Desarrollo Agrario 2001, Ley de Pesca y Acuicultura 2001, Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001, Ley de semilla, material para reproducción animal e insumos biológicos 2002.

El marco legal para las regulaciones de los organismos genéticamente modificados y bioseguridad es muy poco específico y aun está en construcción. Venezuela posee un reglamento para el registro, control y fiscalización de OVM, sus derivados y productos que los contengan. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales es el centro focal sobre seguridad en biotecnología. Este Ministerio cuenta con el apoyo técnico y la asesoría de la Comisión Nacional de Bioseguridad.

## 3.2 *Región Caribe*

La región caribeña se compone de 25 islas y cuatro países continentales. En términos generales, esta región tiene una población de 38 millones de habitantes y un área total de 61 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 25% se utiliza para la producción agrícola, aunque solo el 11% se considera arable. Tradicionalmente la agricultura se ha orientado a la producción de cultivos de exportación, tales como caña, banano, café, tabaco, cacao y palma. El sector agrícola contribuye al Producto Interno Bruto de los países en rangos que van desde el 1% al 30%. En las últimas décadas el sector agrícola ha disminuido su importancia económica, debido al surgimiento del turismo, sector que actualmente representa la mayor fuente de divisas y de empleo para la región. Sin embargo, la agricultura impacta y se relaciona con la industria turística, a la cual debe proveer de productos diversos y frescos para satisfacer una creciente demanda. En este sentido, se ha dado un incremento modesto en la producción de cultivos de exportación no tradicional, tales como aguacate, piña, papaya y mango, entre otros. Es importante recalcar que la región caribeña alberga colecciones internacionales

de germoplasma de cacao, mango, aguacate, café y plantas medicinales. Además, la región alberga recursos genéticos animales de gran importancia para la economía, la ecología y la sociedad de la región.

### Capacidades en agrobiotecnología:

Jamaica, República Dominicana y Trinidad y Tobago poseen capacidad instalada y recursos humanos preparados para la investigación y el desarrollo de la biotecnología, por lo que podrían convertirse en el foco para el desarrollo de esa área en el Caribe. La riqueza de la biodiversidad vegetal y marina de la región podría ser explotada como una fuente de diversificación económica. Dado que la biotecnología moderna ofrece la posibilidad de darle a esta biodiversidad un valor agregado, la región ha realizado esfuerzos para identificar oportunidades y presentar estrategias para adoptar y desarrollar la agrobiotecnología. Asimismo, debido a la importancia del sector del turismo, la región tiene interés en contar con reglamentos sobre bioseguridad.



### **Capacidad técnico-científica:**

La región cuenta con una red de biotecnología, la Caribbean Biotechnology Network (CBN), cuyo fin es implementar una estrategia para el desarrollo de la biotecnología en la región. Esta cuenta con capacidades para la obtención de productos naturales potencialmente utilizables para la producción de fármacos y colorantes, el cultivo de tejidos vegetales y la caracterización de bancos de germoplasma. En República Dominicana se tiene como objetivo utilizar la biotecnología para contribuir específicamente al mejoramiento genético en caña de azúcar, café, cacao, plátano, banano y arroz, así como al desarrollo de biocombustibles.

### **Institucionalidad:**

La región cuenta con varias instituciones involucradas en biotecnología, tales como el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI), ubicado en República Dominicana y que tiene instalaciones para el desarrollo de cinco áreas de biotecnología: médica, farmacéutica, industrial, vegetal y aplicada al medio ambiente. El IIBI ha desarrollado el área de biotecnología vegetal a través del Centro de Investigación en Biotecnología Vegetal (CEBIVE), el cual reproduce plantas de plátano libres de enfermedades y creó un banco de germoplasma (IIBI, 2005). Además se cuenta con el Centro de Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF).

### **Recursos humanos:**

En 1991, la CBN identificó que la región contaba con 57 profesionales en biotecnología,

algunos con grado académico de doctorado y maestría, pero en su mayoría con grado universitario y técnico. Para la formación de profesionales científicos y técnicos, se cuenta con varias universidades, entre ellas la Universidad Autónoma de Santo Domingo y la Universidad de las Antillas Occidentales.

### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

En relación con el uso de OVM, en Jamaica se ha reportado la siembra de papaya modificada genéticamente.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

En la región se reconoce la importancia de contar con marcos regulatorios para la biotecnología, por lo que se realizan esfuerzos para revisar, actualizar y desarrollar los marcos regulatorios en agrobiotecnología y los mecanismos institucionales que permitan su implementación. Se atienden de manera especial los elementos del marco legal y de la seguridad ambiental que apoyen el desarrollo normativo de los países y permitan regular una biotecnología apropiada y sustentable en la región, según las necesidades y requerimientos de cada uno de los países.

Es importante recalcar que la posición geográfica de la región caribeña es estratégica, pues su proximidad con países que constituyen importantes mercados internacionales y que también tienen competencias en biotecnología, como Estados Unidos, Canadá, México y Brasil, le permitiría a la región implementar el uso de la biotecnología para potenciar su economía.

### 3.3 *Región Central*

La región centroamericana, integrada por Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, comprende una superficie de 411 mil kilómetros cuadrados. Esta región tiene una posición geográfica estratégica, ya que constituye un puente natural entre Norteamérica y Suramérica y un paso natural entre el Atlántico y el Pacífico. La agricultura contribuye al PIB de los países de la región en diferentes porcentajes, los cuales oscilan entre el 3,9% y el 22,9%. Los cultivos que se destacan en cuanto a producción y consumo son los siguientes: caña de azúcar, naranja, maíz, café, arroz, sorgo y frijoles. Es importante destacar que el maíz se produce en todos los países centroamericanos, exceptuando Costa Rica. En segundo lugar, el café y la caña de azúcar se producen respectivamente en cinco y cuatro de los siete países de la región (IICA, FAO, Banco Mundial: 2004-2005).

Los principales productos que en 2005 Centroamérica exportó al mundo incluyen café sin descafeinar, bananos, azúcar de caña, piñas tropicales, medicamentos vitaminados y preparaciones alimenticias, así como circuitos

integrados digitales, partes y accesorios para máquinas automáticas de procesamiento de datos, instrumentos y aparatos de medicina. Las principales mercancías que se importaron incluyeron: aceites de petróleo o de minerales bituminosos, aceites ligeros, circuitos integrados y micro-estructuras electrónicas, medicamentos vitaminados, aceites crudos de petróleo, vehículos, televisores, maíz amarillo y preparaciones alimenticias (SIECA, 2005).

En 2005, el intercambio comercial total de mercancías de Centroamérica alcanzó US\$45.196,3 millones, de los cuales el 31,9% correspondió a las exportaciones al mundo y el 68,1% a las importaciones del mundo, lo que hizo que en ese año la región tuviera una balanza comercial deficitaria de US\$16. 374,8 millones (SIECA, 2005).

La estructura de exportaciones e importaciones es muy diferente, puesto que por el lado de las exportaciones incluyen en su mayoría productos de origen agrícola, mientras que en las importaciones se distinguen los productos clasificados como materias primas, insumos y bienes de capital.





Debido a la preponderancia de la agricultura y el gran potencial en biodiversidad y recursos fitogenéticos en la región centroamericana, la agrobiotecnología representa una alternativa en cuanto a su utilización para el mejoramiento genético y la diversificación agrícola con el fin de obtener un mayor aprovechamiento de la vasta riqueza natural en función de una agricultura más competitiva, a la vez que se contrarresta el deterioro ambiental (IICA, 2006c).

En el 2002 el Grupo Interagencial IICA/OIRSA/CATIE compartió con los Ministros del Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC) la importancia de que los países centroamericanos contaran con una estrategia regional de agrobiotecnología mediante la cual integrar esfuerzos alrededor de aspectos comunes y aprovechar mejor los avances científicos y tecnológicos.

En octubre del 2003, el grupo entregó a los Ministros del CAC la propuesta “Hacia una Estrategia Regional de Agrobiotecnología en Centroamérica” y dichos Ministros solicitaron al Sistema Centroamericano de Tecnología Agropecuaria (SICTA) que, con el apoyo del IICA y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) gestionara la elaboración de dicha estrategia. Concomitantemente, los Ministros de Agricultura de las Américas, mediante la Resolución 386 de la Junta Interamericana de Agricultura (2003), instruyeron al IICA que formulara e implementara el Programa Interamericano en Biotecnología y Bioseguridad (PIBB) y, a esos efectos, conformara un grupo de trabajo que fue refrendado en el 2005 con la resolución 409. El PIBB tiene una línea de acción específica dirigida al establecimiento de iniciativas o estrategias regionales, bajo la cual se perfiló la estrategia regional que abarca a todos los países de la región centroamericana, incluidos Panamá y Belice.

En agosto de 2005 se inició la preparación de instrumentos para la recopilación de

información en cada país centroamericano, de acuerdo con el plan de trabajo acordado en el marco del PIBB. La gestión también incluyó visitas a todos los países de la región, en los cuales se realizaron talleres nacionales con los principales actores involucrados en la agrobiotecnología en cada país. La información recopilada se integró y discutió en el I Taller Regional, celebrado del 23 al 25 de noviembre de ese mismo año en la Sede Central del IICA, en San José de Costa Rica. A continuación se describe el diagnóstico de las capacidades biotecnológicas en cada uno de los países centroamericanos.

### 3.3.1 *Belice*

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

El país es productor de caña de azúcar (24 000 ha), naranja (13 000 ha) y maíz (12 000 ha). La biotecnología está básicamente restringida al sector agrícola, por cuanto esta técnica se utiliza comercialmente en la multiplicación masiva de plantas in vitro.

#### **Capacidad técnico-científica:**

En Belice la aplicación de la biotecnología se enfoca únicamente al cultivo de tejidos, debido a que esta técnica se utiliza comercialmente en la multiplicación masiva de plantas in vitro.

#### **Institucionalidad:**

Se identificaron cinco instituciones que realizan actividades en agrobiotecnología, de las cuales dos son entidades del sector privado, una es una universidad, otra un instituto de investigación estatal y la otra un instituto regional. Este último ofrece la ventaja de que podría captar recursos regionales para el desarrollo de la agrobiotecnología.

### **Recursos humanos:**

El país cuenta con 18 profesionales en biotecnología. Tres de ellos poseen el grado académico de doctorado, 11 el de maestría y cuatro tienen título universitario.

### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

Se han reportado liberaciones de OVM de tres especies. En 1997 se realizaron pruebas con cinco de ellos, pero no se tiene información concreta acerca de la utilización de OVM a nivel comercial o de investigación para el país.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Belice cuenta con una Comisión Nacional de Bioseguridad. En relación con los acuerdos internacionales, ratificó el Protocolo de Cartagena, pero carece de instrumentos específicos en bioseguridad. Posee legislación sobre biodiversidad (Act. 25; 217 y 220) y sanidad agropecuaria (Act. n.º 47-199), pero no tiene una comisión nacional de biotecnología.

## **3.3.2 Costa Rica**

### **Capacidades en agrobiotecnología:**

En Costa Rica la agricultura se centra en la producción de varios cultivos, tales como vegetales, frutas (piña, naranja, banano), plantas ornamentales, café, caña, arroz, frijoles y papá. Sin embargo, los tres cultivos predominantes a nivel socioeconómico son el café, el arroz y la caña, con áreas productivas de 113 000, 58 000 y 49 000 ha, respectivamente. Además, cuenta con una alta biodiversidad y el 25% del territorio nacional corresponde a áreas protegidas (127 775 km<sup>2</sup>). En Costa Rica se han tomado decisiones estratégicas

en relación con biotecnología, bioseguridad y biodiversidad, con el fin de desarrollar infraestructura y capacitar recursos humanos en esas áreas relevantes para el país. Instituciones de investigación estatales han contribuido al mejoramiento genético de los cultivos de importancia agrícola y al estudio de la biodiversidad mediante el uso de biotecnología.

### **Capacidad técnico-científica:**

Las aplicaciones agrobiotecnológicas incluyen las siguientes áreas: cultivo de tejidos vegetales, biología molecular, marcadores moleculares, conservación *in vitro*, crioconservación, ingeniería genética, bioplaguicidas, control biológico, diagnóstico de fitopatógenos y bioprospección. En el sector ambiental, se cuenta con una empresa que brinda asesoría en el manejo de desechos biodegradables (Valdez et al., 2004). En el sector de la salud, las aplicaciones biotecnológicas utilizadas incluyen estudios de genética humana, citogenética, diagnóstico molecular de enfermedades, diagnóstico prenatal de anomalías genéticas y producción de sueros antiofídicos con técnicas de ADN recombinante (CONARE, 2003). En el sector forense y criminológico, se ofrecen exámenes de huellas genéticas para elucidar homicidios o realizar pruebas de paternidad. En estos casos la capacidad ha sido transferida de los centros de investigación pública a los centros estatales (Arjona, 2004).

### **Institucionalidad:**

En el país se identificaron 35 instituciones que realizan actividades relacionadas con agrobiotecnología, en 27 de las cuales se utiliza algún tipo de instrumento biotecnológico. El 77% de las instituciones agrobiotecnológicas se encuentra en el sector privado, sobre todo en el área de la micropropagación. El país cuenta con cuatro instituciones que



realizan investigación en biotecnología: tres se encuentran en las universidades estatales (Universidad de Costa Rica, Universidad Nacional e Instituto Tecnológico de Costa Rica) y el Instituto Nacional de Biodiversidad (InBio). Además, el país es sede del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el cual, por su carácter de centro de investigación internacional, representa una clara ventaja para el país y la región para la formación de recursos humanos especializados y la realización de investigaciones en biotecnología.

#### **Recursos humanos:**

Costa Rica cuenta con 157 profesionales en el área de la biotecnología. El 55% de ellos (87) realizaron estudios de postgrado universitario: 36 tienen el grado de doctorado y 51 el de maestría. El 45% de los profesionales restantes tiene título universitario de licenciatura o bachillerato. Es importante resaltar que, en comparación con otros países de la región, Costa Rica cuenta con una alta participación femenina en el campo de la investigación biotecnológica, debido probablemente al acceso de las mujeres a niveles superiores de educación. También se observa un nivel bajo de investigadores menores de 30 años (Valdez et al., 2004).

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

El desarrollo de OVM se realiza tanto en el sector estatal como en el privado, ya que la Universidad de Costa Rica y dos empresas privadas realizan actividades de mejoramiento de diversos cultivos mediante la ingeniería genética: arroz, plátano, banano y piña. Además, en los últimos diez años han surgido empresas dedicadas a la multiplicación de semillas genéticas de cultivos biotecnológicos como algodón y soja. La semilla transgénica producida en el país se exporta en su totalidad a las empresas matrices a las que las

empresas nacionales les brindan el servicio de multiplicación. El manejo de OVM está regulado por la autoridades del Ministerio de Agricultura (MAG), a las cuales se les solicita las autorizaciones pertinentes mediante la presentación de instrumentos específicos (formularios BIO). Las autorizaciones incluyen un certificado de liberación y el permiso fitosanitario válidos únicamente para la liberación al campo y/o importación, movilización, investigación o reproducción de material, pero no para la comercialización en el país de productos transgénicos como alimentos. Hasta la fecha no se ha presentado ninguna solicitud para la comercialización de OVM para consumo humano o animal. Se cuenta con la experiencia y asesoría para la toma de decisiones de las comisiones de biotecnología y la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad. En el Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de la Producción (MIPRO), anteriormente Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), existe la Gerencia de Laboratorios que se encuentran en proceso de acreditación bajo la norma ISO 17025 y que podrían ser utilizados para la detección de transgénicos, lo que actualmente no se realiza en el país.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

El manejo de los OVM se realiza de conformidad con las normativas vigentes de bioseguridad ambiental establecidas por las autoridades fitosanitarias del MIPRO. La Ley Fitosanitaria del Estado 7764-97/98 regula las liberaciones de OVM e incluye el Reglamento de Auditorías en Bioseguridad Agrícola (Decreto MAG-32486-2005) para el seguimiento de los cultivos transgénicos. Costa Rica ratificó el Protocolo de Cartagena en el 2006. El uso de la biodiversidad está amparado en las leyes 7317-92 y 7788-98. En el área de propiedad intelectual, se cuenta con el PI 5959-1976. La Ley n.º 6289 norma la creación y el funcionamiento de la Oficina

Nacional de Semillas (ONS), adscrita al MAG/MIPRO y reglamentada mediante el decreto n.º 12907-A.

### 3.3.3 El Salvador

#### Capacidades en agrobiotecnología:

El Salvador produce predominantemente maíz (240 000 ha), café (160 000 ha) y sorgo (91 000 ha). A pesar de que la aplicación de la agrobiotecnología es incipiente para el mejoramiento de los cultivos de mayor importancia económica, El Salvador reconoce la contribución que la agrobiotecnología podría brindar para reactivar el sector agrícola. En este sentido, la Fundación para la Innovación Agropecuaria (FIAGRO) indica como una posibilidad la utilización de algodón biotecnológico para producir semillas mejoradas resistentes a plagas, de mayor calidad de fibra y de manejo amigable con el medio ambiente. Asimismo, existe la alternativa de elaborar bioetanol procesando caña de azúcar en los ingenios instalados en el país a esos efectos, lo cual le daría un valor agregado al producto y mejoraría la rentabilidad del cultivo (<http://www.fiagro.org.sv/boletines/BIOTECH16.HTM>).

#### Capacidad técnico-científica:

Se da básicamente en las áreas de cultivo de tejidos mediante técnicas como la embriogénesis somática, el cultivo de meristemos y protoplastos y la crioconservación.

#### Institucionalidad:

En El Salvador se reporta la existencia de siete instituciones relacionadas con agrobiotecnología. Tres de ellas están ubicadas en universidades, tres en el sector privado y una

corresponde a un instituto de investigación. El país no cuenta con ninguna institución regional que ejecute o investigue en biotecnología.

#### Recursos humanos:

El número de profesionales en biotecnología asciende a 15, uno de los cuales tiene el grado académico de maestría, mientras que los 14 restantes poseen título universitario. En el país no se informa de ningún profesional en biotecnología con el grado de doctorado.

#### Desarrollo, manejo y comercio de OVM:

Las disposiciones transitorias de la Ley del Ambiente (artículo 30) prohíben la importación, la investigación, la producción y la comercialización de semillas transgénicas, lo que en alguna medida frena la investigación biotecnológica en el país.

#### Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:

El artículo 68 de la Ley del Ambiente (Ley 21) brinda disposiciones generales, con el apoyo de instituciones especializadas de aplicar normas de seguridad en biotecnología. En el caso de los proyectos e industrias de biotecnología que usen OVM, la ley exige contar con permisos ambientales. El país ratificó el Protocolo de Cartagena, pero no cuenta con un marco legal en bioseguridad ni con instrumentos específicos en el tema.

### 3.3.4 Guatemala

#### Capacidades en agrobiotecnología:

Guatemala cuenta con las mayores áreas sembradas de los tres cultivos importantes

para la región centroamericana, a saber el maíz (603 000 ha), café (245 000 ha) y caña (188 000 ha). También posee una rica biodiversidad, pero también una alta necesidad de fortalecer y solventar problemas en los siguientes sectores: salud, agrícola, pecuario y forestal. En el país se tiene claro el potencial de la biotecnología para un mayor aprovechamiento de la biodiversidad y los recursos renovables. La mayoría de laboratorios se enfocan en biotecnología vegetal y biología molecular, estando el sector privado activamente involucrado en estas áreas. Guatemala desarrolla investigación con biotecnología básica como micropropagación, secuenciación, caracterización y selección genética asistida. La industria guatemalteca utiliza biotecnología tradicional (como fermentación) en sus procesos de producción. Además, la oportunidad que ofrece para el desarrollo permitirá mejorar las condiciones de vida de las poblaciones marginadas y generar riqueza. Por lo tanto, debido a las características interdisciplinarias y a las aplicaciones potenciales de la biotecnología, en Guatemala se estableció la necesidad de contar con un Programa Nacional de Biotecnología como eje para desarrollar distintas áreas temáticas de ciencia y tecnología en el período 2004-2015 y generar mayores capacidades para su aplicación efectiva.

#### **Capacidad técnico-científica:**

En Guatemala se realizan diagnósticos para enfermedades infecciosas, mediante la utilización de marcadores tumorales, y se dan seguimientos moleculares a algunas enfermedades. Además, se cuenta con la capacidad para identificar microorganismos con PCR tiempo real y para realizar diagnóstico por imágenes. La aplicación de la agrobiotecnología se da en las áreas de cultivo de tejidos vegetales (micropropagación), biología molecular (caracterización y selección genética asistida por marcadores moleculares, secuenciación), conservación in vitro e ingeniería genética.

#### **Institucionalidad:**

El país cuenta con nueve instituciones que realizan actividades biotecnológicas. Cuatro de ellas se ubican en el sector privado y tres corresponden a universidades. El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) es una institución de investigación de carácter regional. Además, existe un polo de desarrollo biotecnológico en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), donde se encuentran las oficinas y los laboratorios locales del CDC/MERTU (Center for Disease Control and Prevention/Medical Entomology Research and Training Unit).

#### **Recursos humanos:**

En Guatemala, existen 28 profesionales involucrados en el área de la biotecnología. Tres de ellos tienen el grado de doctorado, nueve el de maestría y los 16 profesionales el de licenciatura (Orozco, 2004). Mediante el programa Karolinska, se recibió el apoyo de universidades de Costa Rica para la formación de postgrado de varios profesionales guatemaltecos: dos obtuvieron el grado académico de doctorado en microbiología molecular y los demás el de maestría. Los dos doctores refuerzan el equipo docente en la Universidad de San Carlos de Guatemala y se espera que establezcan líneas de trabajo que permitan formar nuevos recursos humanos. Además, existen bastantes vínculos con profesionales que residen en el extranjero, incluidos centroamericanos.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

La biotecnología moderna relacionada con el desarrollo y el uso de materiales transgénicos no es utilizada por la industria guatemalteca. Sin embargo, en 2004 se presentaron algunas pruebas de campo con cultivos modificados genéticamente e iniciativas provenientes del sector privado involucrado en la producción

de semillas para experimentar con algunos cultivos como el algodón. Únicamente un laboratorio de la Universidad del Valle investiga en el desarrollo de plantas transgénicas.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

En materia de bioseguridad, existe un reglamento específico para los OVM de uso agrícola (Acuerdo 393-98). En relación con la bioseguridad, Guatemala cuenta con Acuerdos Ministeriales (MAGA 476-98). El Protocolo de Cartagena fue ratificado por el país. Asimismo, el país tiene legislación dirigida a la vida silvestre, áreas protegidas, ambiente y acceso a recursos de la biodiversidad (DLs 4-89; 5-95; 101-96; 68-72; 68-86 y AMs 177-95; 722-01).

### 3.3.5 Honduras

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

Se producen prioritariamente tres cultivos relevantes a nivel socioeconómico: maíz, café y frijoles, con extensiones de 312 000, 237 000 y 89 000 ha, respectivamente. La agroindustria es un sector clave en Honduras, en el cual la agrobiotecnología ha sido un complemento fundamental para lidiar con limitantes bióticas y abióticas. El país se ha enfocado en desarrollar investigación aplicada y generar productos utilizando biotecnología en las áreas de mejoramiento genético de plantas y animales, el estudio de la biodiversidad, el diagnóstico molecular de patologías de plantas, el cultivo in vitro de tejidos vegetales y el control biológico de plagas y enfermedades.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Las áreas en las que el país tiene capacidad técnico-científica son el cultivo de tejidos

vegetales, incluyendo la embriogénesis somática, el cultivo de meristemos y protoplastos, la biología molecular, la conservación in vitro, la crioconservación, la ingeniería genética, el control biológico de plagas, procesos enzimáticos y fermentativos, el transplante de embriones y el diagnóstico de enfermedades.

#### **Institucionalidad:**

El país posee ocho instituciones involucradas en procesos biotecnológicos. Tres son universidades, una es un instituto de investigación y tres son entidades del sector privado. La Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) son instituciones de impacto no solo en el ámbito nacional, sino que también tienen la posibilidad de influenciar en forma positiva en la región centroamericana.

#### **Recursos humanos:**

En el país existen 38 profesionales con conocimientos en agrobiotecnología, de los cuales 13 tienen el grado de doctorado, cinco el de maestría y 20 poseen título universitario. Es importante resaltar que Honduras es el único país centroamericano en el que el número de profesionales en agrobiotecnología con grado de doctorado es mayor que los profesionales con maestrías.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

Honduras es el único país centroamericano en donde se está llevando a cabo la siembra y la comercialización para consumo humano y animal de un OVM, como es el caso del maíz Bt, en cuya producción participan pequeños y medianos agricultores. Existen algunos permisos de investigación aprobados para banano. El uso de los OVM cuenta con el apoyo

de comisiones nacionales de biotecnología y bioseguridad.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

La Ley 157-94 contiene algunas referencias al tema de la biotecnología. Mediante el acuerdo ejecutivo 1570-1998, se reglamenta la bioseguridad con énfasis en plantas transgénicas, reconociéndose la necesidad de regular estos materiales con el fin de proteger la salud humana, la producción agrícola y el ambiente, además de facilitar el desarrollo de la investigación, el uso y la transferencia de biotecnología para agilizar el comercio de productos originados de OVM. Asimismo, el país tiene un proyecto de ley en proceso final de elaboración, que se orienta a instaurar el marco legal en bioseguridad por parte del Servicio Nacional de Semillas (SENASA). En relación con la biodiversidad, cuenta con el Instituto Regional de Biodiversidad, creado en el 2005 y con sede en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

### *3.3.6 Nicaragua*

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

La producción agrícola de Nicaragua se enfoca primordialmente en tres cultivos: maíz, frijol y café, cuyas áreas de siembra suman 355 000, 249 000 y 120 000 ha, respectivamente. La agrobiotecnología se utiliza para la micropropagación in vitro, debido a que esta técnica permite la multiplicación masiva de plantas a escala comercial.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Se basa en el cultivo de tejidos, la biología molecular, la conservación in vitro y el diagnóstico de enfermedades.

#### **Institucionalidad:**

En Nicaragua se contabilizan diez instituciones con capacidad para realizar actividades biotecnológicas: cinco universidades, cuatro institutos de investigación y una entidad privada.

#### **Recursos humanos:**

El país cuenta con 35 profesionales en el área de la biotecnología. De ellos 15 poseen un título de postgrado: seis tienen el de doctorado y nueve el de maestría. Los 20 restantes tienen un título universitario.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

A la fecha no se conocen solicitudes de liberación de materiales transgénicos en el país.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Nicaragua cuenta con el Comité Nacional de Biotecnología y Bioseguridad y con la Comisión Nacional de Biodiversidad. En la Ley General del Ambiente se presentan algunas disposiciones sobre estudios en "biotecnología", pero se carece de reglas específicas. Por esta razón, la Ley de Sanidad Animal y Vegetal y su reglamento (Ley 291 DL 299 y 59-2003), en el cual se define bioseguridad, pueden ser aplicables para reglamentar el uso de OVM agropecuarios. Sin embargo, dependiendo de la interpretación de la ley, la ausencia de reglas concretas implica una prohibición hasta tanto no se cuente con ellas. Por otra parte, el país ratificó el Protocolo de Cartagena y tiene un proyecto de ley en bioseguridad, que fue sometido a consideración de la Asamblea Nacional. Con respecto al uso de la biodiversidad, el proyecto de ley está en proceso de elaboración.



### 3.3.7 Panamá

#### Capacidades en agrobiotecnología:

La producción agrícola de Panamá se enfoca primordialmente en arroz (119 000 ha), maíz (67 000) y caña (34 000). A partir de la década de los ochentas, la biotecnología ha desempeñado un papel protagónico en el desarrollo del país, pues ha permitido lograr un desarrollo particular en los sectores agropecuario, alimentario y de la salud, en el área de diagnóstico, en la salud animal, en algunos sectores industriales (principalmente químicos) y en el medio ambiente.

#### Capacidad técnico-científica:

En Panamá se aplican agrobiotecnologías, como el cultivo de tejidos vegetales, la biología molecular, la conservación in vitro, la crioconservación y la ingeniería genética. En el sector de la salud se cuenta con capacidad en el diagnóstico de enfermedades.

#### Institucionalidad:

El país posee nueve instituciones que realizan actividades en el área de la biotecnología. Cuatro de ellas se ubican en el sector privado, tres son universidades y dos son institutos de investigación. El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) se perfila como una institución de investigación de influencia regional.

#### Recursos humanos:

En el país se contabilizan 24 profesionales en el área de la biotecnología con estudios de posgrado y con título universitario, desglosados de la siguiente manera: tres con

el grado de doctorado, diez con el de maestría y 11 con título universitario.

#### Desarrollo, manejo y comercio de OVM:

Hasta la fecha no se conocen solicitudes para la liberación de plantas transgénicas en el país.

#### Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:

En la Ley n.º 47 de 1996 se hace referencia a biotecnología, en el sentido de que se requiere la autorización de la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal para importar, investigar, experimentar, movilizar, liberar al ambiente, multiplicar y comercializar plantas transgénicas o sus productos, así como agentes de control biológico y otros tipos de organismos para uso en agricultura creados dentro y fuera del país. En materia de regulaciones en bioseguridad, Panamá cuenta con la Comisión Nacional de Bioseguridad (Ley 49-2002) y con un marco regulatorio en esa área (Res. ANAM 502). El Protocolo de Cartagena fue ratificado por el país. En el área de la biodiversidad, la legislación sobre vida silvestre, áreas protegidas, ambiente y acceso a la biodiversidad se enmarca en la Ley n.º 2-95. Además, cuenta con una ley de sanidad agropecuaria (la Ley 23-1997).

En términos generales, el diagnóstico de la agrobiotecnología y la bioseguridad indica que los países centroamericanos han incursionado en la agrobiotecnología a diferentes ritmos e intensidades. Sin embargo, aunque existe un notorio desequilibrio entre países en el nivel de su desarrollo agrobiotecnológico, se identificaron suficientes elementos para que los países menos desarrollados crezcan a niveles adecuados y capitalicen las experiencias y las capacidades de aquellos con un mayor desarrollo. Estos últimos, a su vez, tienen la capacidad de evolucionar a nuevas técnicas (IICA, 2006c).

## 3.4 *Región Sur*

Los países que conforman esta región (Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) tienen una agricultura bien establecida, orientada a satisfacer las necesidades nacionales y hacia la exportación de productos alimenticios y sus derivados. Por su ubicación geográfica, esta región difiere del resto de los países de América Latina, debido a su clima templado con estaciones bien marcadas y extensas planicies aptas para los cultivos en gran escala. Esta característica hace que se cultive en forma intensiva y altamente mecanizada, con lo cual los países de la región han pasado a ser exportadores netos de alimentos e importantes suplidores de materia prima a nivel mundial. Los cultivos más extensivos y que representan el porcentaje más alto de la producción son soya, maíz, algodón, frutales, caña de azúcar y ganadería, entre otros.

Es importante reseñar que Brasil es un líder mundial en la producción de biocombustibles, con una producción de 16 billones de litros de etanol. La experiencia acumulada durante muchos años y el volumen producido demuestran el éxito de esa iniciativa. Debido a

la demanda creciente de combustibles fósiles, los precios han alcanzado niveles altos; si la demanda sigue en aumento, es previsible que esos altos precios se mantengan. La consecuencia inmediata del incremento del precio de los combustibles fósiles fue la búsqueda de alternativas a precios competitivos y el etanol es la opción que puede llenar estas expectativas en el futuro inmediato. Consideramos que la producción mundial de etanol se va a incrementar rápidamente y obviamente Brasil es uno de los países mejor posicionados para cubrir esta demanda, que actualmente abastece la caña de azúcar. En el caso de la soya y el maíz, Argentina, Brasil y en menor grado Paraguay son importantes proveedores de esta materia prima; la tendencia parece ser la expansión de la capacidad de producción, con el fin de cubrir el incremento de la demanda en los mercados mundiales.

Otro aspecto importante que se debe señalar es que los incrementos en la productividad y la producción se deben en parte a la adopción de los cultivos biotecnológicos y de las tecnologías apropiadas. Esta tendencia difiere de los países



situados al norte de Suramérica, en los cuales la adopción de esta tecnología no ha tenido la misma acogida. La presencia de los cultivos transgénicos ha potenciado la investigación y el desarrollo en agrobiotecnología, siendo Argentina y Brasil los líderes actuales en ese campo en América Latina.

### 3.4.1 Argentina

#### Capacidades en agrobiotecnología:

Desde la década de los ochentas, la biotecnología ha tenido un papel protagónico en el desarrollo del país, particularmente de los sectores agropecuario, alimentario, de la salud humana y algunos sectores industriales (en especial químicos). También ha promovido el desarrollo en los campos del diagnóstico, la salud animal y el medio ambiente. En el año 2001, el valor de las exportaciones de la industria biotecnológica fue de US\$46,4 millones, de los cuales US\$25 millones correspondieron a salud humana, US\$11,2 millones a diagnóstico humano, US\$9,2 millones y US\$1 millón a productos para el agro (Vitagliano y Villalpando, 2003). El país tiene fortalezas claras en la disponibilidad de recursos humanos de alta calidad y de recursos productivos e innovadores básicos, versatilidad y capacidad de innovación. Argentina se destaca en el dominio de las herramientas biotecnológicas. El país, en donde existen empresas nacionales líderes con proyección internacional, es uno de los grandes países en vías de desarrollo que posee centros de investigación avanzados y en que se utiliza un amplio abanico de biotecnologías en las actividades agropecuarias.

#### Capacidad técnico-científica:

En los años ochentas, la biotecnología argentina se basó fundamentalmente en la

virología, la genética, la bacteriología, la inmunología y la bioquímica. Ello permitió el desarrollo de tecnologías tales como el diagnóstico convencional, las vacunas atenuadas, el cultivo de tejidos vegetales y animales, la mutagénesis y el uso de marcadores moleculares. En la década de los noventa, se priorizó la investigación en biología y genética molecular, microbiología e inmunología molecular, lo que permitió dar un salto tecnológico y un avance en el diagnóstico humano por técnicas moleculares, la utilización y producción de vacunas recombinantes, la transformación genética de plantas, el clonado y secuenciación de genes y el desarrollo de marcadores moleculares basados en ADN y su uso para estudios genéticos y caracterización de germoplasma. Existe una capacidad instalada en la producción de bioinsecticidas e inoculantes. Argentina es uno de los pocos países en el mundo con tecnología para la producción de ganado bovino transgénico. En el 2002 el país obtuvo los primeros ejemplares, en el mundo, de ganado bovino modificado genéticamente para la producción de la hormona de crecimiento humano (hu-GH).

#### Institucionalidad:

En el país existen más de 115 centros, institutos y grupos de investigación, dependientes de universidades e institutos nacionales y grupos técnicos de empresas privadas, que realizan actividades de investigación y desarrollo en el campo de la biotecnología, de los cuales 68 (41 empresas y 27 grupos de investigación) están dedicados al tema agropecuario.

En el campo de la biotecnología vegetal y salud animal, cinco institutos y siete universidades realizan investigación y actividades en estas áreas, tales como el Instituto de Biotecnología del INTA, el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular (INGEBI-CONICET), el Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos (CEFOBI-



CONICET), el Instituto de Botánica del Noroeste (IBONE-CONICET), el CEVAN y el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas de la Universidad Nacional de San Martín (IIB).

Los datos existentes permiten consignar que en el país hay más de 50 empresas involucradas en una amplia gama de actividades biotecnológicas. Se contabilizan 16 institutos de investigación estatales y privados destinados a la promoción de la biotecnología (Base de datos INTA y Vitaglilano y Villalpando, 2003). El Foro Argentino de Biotecnología (FAB) integra a 30 socios activos en biotecnología e incluye a la mayoría de las empresas, organizaciones, institutos de investigación, universidades y entidades del sector público activas en el campo biotecnológico. El objetivo del FAB es difundir la biotecnología dentro del país, alentar políticas al respecto y servir de instrumento de articulación y vinculación para el desarrollo de estrategias conjuntas de los sectores empresario, científico, tecnológico y estatal. En Argentina se han desarrollado polos, parques e incubadoras tecnológicas creadas por instituciones públicas y universidades en apoyo a la formación de nuevas empresas, entre ellas algunas empresas biotecnológicas.

#### **Recursos humanos:**

En Argentina existen 300 investigadores que realizan investigación en el área de la biotecnología y que impulsan su desarrollo. Pertenecen a una amplia gama de disciplinas y especialidades y están ubicados en centros, institutos y grupos de investigación, dependientes de universidades, institutos nacionales y empresas que poseen departamentos de I+D en biotecnología. Sin embargo, no existe una estadística actualizada sobre los investigadores en biotecnología del país.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

El sector agropecuario del país se ha ubicado como el segundo más importante productor

de cultivos modificados genéticamente del mundo, detrás de los Estados Unidos. En Argentina se siembran tres cultivos modificados: soya, algodón y maíz. En el período 2006-2007, 18 millones de hectáreas fueron sembradas con cultivos modificados, de las cuales 15,8 millones estaban cultivados con soya resistente a herbicida, 3,1 millones con maíz y 360.000 con algodón. Esta situación es el resultado, en gran medida, de un adecuado ambiente regulatorio y de políticas de promoción, así como de los beneficios económicos derivados de la actividad.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

La regulación de las actividades de investigación, desarrollo, aplicación y liberación al ambiente de los organismos genéticamente modificados (OGM) corresponde a la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA), que fue creada mediante la Resolución n.º 124/91 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP). A partir de la Resolución n.º 669/93, la SAGyP estableció que la CONABIA estaría integrada por representantes de instituciones involucradas en la biotecnología agropecuaria de los sectores público y privado. El sector privado se encuentra representado por el ASA, el FAB y la CAPROVE. La CONABIA se ha convertido en uno de los cuerpos consultores del poder ejecutivo de mayor reputación a nivel local e internacional con el que cuenta la Argentina en materia de bioseguridad, debido a sus meticulosos procesos de aprobación y autorización de ensayos en el campo de nuevas variedades vegetales.

Las normas específicas aplicables a distintos aspectos del proceso de los OGM son: la Ley 13.636/1949 de Elaboración y Comercialización de Productos Veterinarios; el Decreto-ley 6704/1963 de Defensa Sanitaria de la Producción Agrícola; la Ley 20.247/1973

de Semillas y Creaciones Fitogenéticas; la Ley 25.127 sobre Producción Ecológica, Biológica u Orgánica; un conjunto de resoluciones de la SAGyP (entre ellas las 124/1991, 656/1992, 837/1993, 345/1994, 289/1997, 131/1998, 511/1998, 1265/1999, 39/2003 y 57/2003); y la Resolución 412/2002 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). En la tarea de verificación del comportamiento de los productos autorizados también intervienen el Instituto Nacional de Semillas (INASE) y el SENASA.

Luego de analizar las solicitudes de liberación al ambiente de OGM, la CONABIA obtiene conclusiones, sobre las que la SAGyP (hoy Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, SAGPyA) concede o deniega el permiso. Tal evaluación y el permiso abarcan dos etapas, una encaminada a permitir liberaciones restringidas a título experimental y otra a conceder permisos de liberación extensiva. La segunda (también llamada fase de flexibilización) busca establecer que el OGM considerado no producirá cambios ambientales apreciablemente mayores que la variedad no modificada. Cumplida la segunda etapa de autorización, y las eventuales condiciones que de ella pudiesen resultar, se requiere un permiso adicional para poner el OGM en el comercio, lo cual implica una evaluación por parte de la CONABIA, por no menos de dos años, de los riesgos para los ecosistemas agrícolas del cultivo comercial del OGM. También se requiere una evaluación del producto para la alimentación humana y animal, realizada por el SENASA en no menos de un año, y una opinión de la Dirección Nacional de Mercados Agroalimentarios sobre posibles consecuencias negativas en el comercio internacional.

Argentina ha adoptado un sistema de protección de las innovaciones biotecnológicas considerado de tipo *sui generis*, es decir que, dependiendo de su naturaleza, pueden protegerse bajo la legislación sobre patentes de invención y modelos de utilidad y la legislación

sobre semillas y creaciones fitogenéticas. En 1995 se modifica la legislación sobre patentes de invención para alinearla con los requerimientos de los TRIPS o ADPIC, tratado que fuera aprobado mediante la Ley 24.425. La Ley 24.481 de Patentes de Invención y Modelos de Utilidad y el Decreto Reglamentario 260/96 brindan un marco regulador para patentar procesos y productos biotecnológicos. En el área de la biotecnología, se presentaron en el período comprendido entre dicho año y el 2002 un total de 480 solicitudes, de las cuales solo 21 (4,4%) correspondieron a empresas de origen nacional y el resto a empresas transnacionales.

### 3.4.2 *Brasil*

#### Capacidades en agrobiotecnología:

Brasil es sin duda uno de los grandes productores agrícolas de la región y del mundo, no solo por su capacidad de producción primaria, sino también por la transformación de los productos del agro en alimentos para la población e insumos animales. En parte, el gran auge de la agricultura brasileña se debe al desarrollo que la agrobiotecnología ha experimentado en ese país en los últimos años. Este desarrollo se debe a la decisión del estado brasileño para desarrollar estas tecnologías con el apoyo de los gobiernos de turno, acompañada de una importante inversión en infraestructura y educación. Es de destacar que el sector privado ha acompañado estas decisiones con grandes inversiones en investigación y desarrollo. Como resultado, la cadena de producción se complementa con la transformación de los insumos en productos terminados.

Como bien dice JM da Silveira et al., “el desarrollo de la biotecnología requiere de una base fuerte académica y científica, un sector productivo capaz de transformar la producción académica y científica en bienes

de servicio y la creación de un ambiente institucional que ofrezca al mismo tiempo garantías a los empresarios y a la sociedad". Esto obviamente unido a un marco regulatorio efectivo y con claras reglas de juego para minimizar los riesgos a los cuales está asociado este tipo de desarrollo.

## **Institucionalidad**

### ***Sector público:***

El avance de la biotecnología en Brasil se debe en gran parte a la iniciativa del sector público, que fue el agente principal de su promoción. Otros aspectos importantes en el desarrollo de la biotecnología se basan en la formación de recursos humanos mediante las universidades públicas y de las investigaciones que se realizaron en instituciones del estado como la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) y Fiocruz, entre muchas otras. El Estado ha jugado un papel importante mediante la creación de programas de investigación, fondos de financiamiento y la aprobación de leyes específicas dirigidas a la bioseguridad y derechos de propiedad industrial. Este triángulo de marco jurídico definido, apoyo económico y científico y fondos para financiación ha logrado el desarrollo y la adopción de estas tecnologías y de los productos derivados de su implementación. El gobierno federal creó en el año 2000 el Programa de Biotecnología y Recursos Genéticos, el cual es coordinado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, en colaboración con el Centro Nacional de Investigación (CNPq) y la financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP), con la participación de la EMBRAPA y Fiocruz.

### ***Sector privado:***

El sector privado en biotecnología tiene un amplio espectro dentro de la economía brasileña. El mercado de los productos biotecnológicos dio cuenta en 2002 del 3% del PIB brasileño. Existe una asociación brasileña

de empresas biotecnológicas (ABRABI), la que engloba a 304 empresas dedicadas a elaborar y desarrollar productos biotecnológicos, las cuales se concentran básicamente en tres estados: São Paulo, Minas Gerais y Río de Janeiro. Estas empresas abarcan diez sectores del mercado: salud humana (fármacos, fitofármacos, vacunas, sueros, biodiversidad), salud humana, animal y vegetal (identificación genética, análisis transgénicos), salud animal (reproducción, vacunas, prebióticos, acuicultura), agronegocios (mejoramiento de plantas, transgénicos, productos forestales, plantas ornamentales, medicinales, bioinsecticidas y biofertilizantes), medio ambiente (tratamientos residuales, biorremediación, análisis), instrumentos complementarios (software, bioinformática, comercio electrónico), industria (química fina, enzimas), proveedores (equipamiento, insumos) y sinergia (biomateriales, biomedicina, consultorías). Se ha estimado que el conjunto de las empresas de bioindustria han generado productos por un valor aproximado de entre 2,3 a 2,9 billones de dólares en el año 2000. El impacto sobre la sociedad ha sido muy importante por la generación de productos, la sustitución de importaciones y la oferta de empleo directo a más de 27.000 personas y un número indeterminado de empleos indirectos.

### **Recursos humanos:**

Los recursos humanos son la clave para un desarrollo integral de la biotecnología. El país cuenta con una capacidad bien establecida y con un alto nivel de competencia. En el año 2000 el país contaba con 6616 personas dedicadas a la investigación en biotecnología. Este personal estaba distribuido en 1718 grupos de trabajo que desarrollaban 3814 líneas de investigación. De este caudal humano se dedicaban a la agrobiotecnología y a la medicina 1075 investigadores, involucrados en la implementación de 503 proyectos de investigación.

### **Capacidad técnico-científica:**

Se puede señalar que el estamento científico brasileño está en capacidad de implementar todas las tecnologías modernas que se emplean hoy en día en biotecnología. El país cuenta con la infraestructura de laboratorios y biofábricas, así como con personal altamente especializado que puede implementar el uso de las tecnologías y manejar los complejos requerimientos que exigen los procesos de producción de los productos biotecnológicos.

Uno de los proyectos más grandes lanzados por Brasil fue el Proyecto Genoma Brasileño (PGB). Esta iniciativa fue lanzada en diciembre del 2000 por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MTC) y el Centro Nacional de Investigación (CNPq) y cuenta con la participación de 25 laboratorios de biología molecular distribuidos en todo el país. El PGB va dirigido al desarrollo de investigación de punta en el área de la genómica, enfocado en salud y agricultura. Algunos de los proyectos son: secuenciación del genoma de *Xilella fastidiosa*, la bacteria causante del amarillamiento de los cítricos. Como resultado de este trabajo, el proyecto consiguió reconocimiento mundial. Otros proyectos implementados fueron: identificación de genes en caña de azúcar para producción, desarrollo y resistencia a enfermedades; la secuenciación de genes de los tumores más frecuentes en el Brasil; genética funcional bovina y varios otros proyectos sobre estudios geonómicos de diversos patógenos.

En agrobiotecnología las tecnologías que más se aplican son el cultivo de tejidos con todas las aplicaciones que se derivan de esta. El control biológico de plagas y enfermedades comprende un número grande de problemas que se están atacando mediante el uso de esta tecnología. Otras tecnologías son la fijación biológica de nitrógeno mediante el uso de bacterias nitrificantes y biofertilizantes, la ingeniería genética para la producción de

nuevas variedades vegetales y los estudios geonómicos de plantas y fitopatógenos con el objetivo de combatir las enfermedades y mejorar la calidad de los alimentos. Además de estas tecnologías, existe un auge muy grande en la producción de semillas de los cultivos biotecnológicos, ello con el fin de cubrir la demanda para la siembra extensiva en Brasil. Los mayores productores mundiales de semillas así como compañías brasileñas están muy activas en el país.

Estas investigaciones demuestran la capacidad biotecnológica alcanzada por la comunidad científica brasileña en esta área de la ciencia.

### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

A partir de los decretos presidenciales emitidos en 2003 y 2004 que autorizaron la siembra de semillas de soya guardadas por los productores, el país inició la siembra a gran escala de cultivos biotecnológicos. En marzo del 2005 el Congreso Brasileño aprobó la Ley 11.105, la que presenta el cuadro legal para facilitar la aprobación y adopción de los cultivos biotecnológicos en Brasil. En 2006 el país sembró 11,5 millones de hectáreas de soya y algodón modificados. El país ocupa la tercera posición mundial en cuanto al número de hectáreas sembradas con cultivos biotecnológicos. El país es el segundo productor mundial de soya, el tercer productor mundial de maíz y el sexto productor de algodón. Debido a la importancia que está teniendo la producción de biocombustibles, y al ser Brasil el mayor productor mundial de caña de azúcar, se están desarrollando programas biotecnológicos dirigidos a incrementar la producción de azúcar. También se están adelantando investigaciones en muchos otros cultivos que Brasil produce en cantidades importantes, como cítricos, arroz, papaya y frijol, entre otros. La adopción de cultivos biotecnológicos permitirá a Brasil mantenerse competitivo, aprovechar sus ventajas

comparativas y mantener su prominencia en los mercados mundiales.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Con el fin de regular y armonizar el importante desarrollo en biotecnología, Brasil cuenta con un marco regulatorio amplio sobre el que se sientan las bases legales para dicho desarrollo. Algunas de las leyes que han sentado las bases legales que permiten la expansión de la biotecnología en el país son las siguientes: la Ley 10.322 del 2001 para el Fondo Sectorial de Biotecnología, que incentiva el desarrollo científico y tecnológico mediante el financiamiento de actividades; la Ley 11.195 del 2005 sobre la Aprobación y Adopción de los Cultivos Biotecnológicos; la Ley de Patentes del 14 de mayo de 1996; la Ley de Protección a los Cultivos del 25 de abril de 1997 y la Ley 8.974 de 1995, reglamentada por dos decretos emitidos en 1995 y 1998 para la conformación de la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad. Estas son apenas algunas de las leyes y regulaciones cuya implementación fue decisiva para el desarrollo actual de esta actividad.

Las actividades de investigación y uso comercial de OGM, incluidas la importación y la exportación, son reguladas en Brasil mediante la Ley 11.105, del 24 de marzo de 2005, reglamentada por el Decreto 5591, del 22 de noviembre de 2005.

### **3.4.3 Chile**

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

Chile tiene un gran potencial en el área de la biotecnología debido a que se realiza investigación en diferentes áreas: agricultura (26%), salud (16%), acuicultura (15%),

industria (13%), silvicultura (10%), sector pecuario (9%), ambiente (7%) y minería (4%).  
Institucionalidad: En Chile el sector público es la principal entidad ejecutora de proyectos biotecnológicos. Según los resultados expuestos por Muñoz (2007), la investigación biotecnológica se realiza en 11 universidades públicas y 17 institutos, los cuales ejecutaron 152 proyectos en el período 1997-2002. El sector privado también realiza proyectos de investigación en menor o mayor medida según el área de investigación.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Chile tiene las capacidades técnico-científicas que le permiten aplicar en el país la mayoría de las tecnologías de la biotecnología moderna. Las tecnologías más utilizadas son la biotecnología de plantas con el uso de cultivo de tejidos para la micropropagación clonal y saneamiento de plantas, la ingeniería genética para conferir resistencia a enfermedades y los marcadores moleculares para asistir los procesos de mejoramiento tradicional. Existe también capacidad en biotecnología animal con técnicas de transferencia de embriones, identificación de genes y caracterización genética. Además, en el país se cuenta con capacidad en otras especialidades, como la producción de biopesticidas y celulosa en fermentadores y la bioinformática como herramienta para el uso de genómica y proteómica.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

Chile cultiva OVM y realiza investigación para su producción. La superficie cultivada reportada para el período 2003-2004 fue de 7.622,83 ha. Para el 2006, se sembraron 8.230 ha, en comparación con las 827.444 ha sembradas de cultivos convencionales. Se realiza investigación para el mejoramiento vía transgénesis en papa, melón y vid. En Chile se autoriza la producción, distribución y comercialización de alimentos y materias



primas transgénicas y ello se ciñe a las normas técnicas que dicta sobre la materia el Ministerio de Salud. Es importante recalcar que para los alimentos destinados a lactantes no se autoriza la utilización de materia prima transgénica. Asimismo, se permite la liberación al ambiente y cultivo de especies acuícolas transgénicas.

### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Chile cuenta con una normativa nacional acorde con las normas internacionales en materia de bioseguridad. Las regulaciones han sido establecidas a nivel de los ministerios de Agricultura, Salud y Economía (MINAGRI, MINSAL, MINECON). La Resolución Legislativa n.º 1523/2001 regula la introducción y el cultivo de OVM. La introducción de OVM está sujeta a la presentación de una solicitud con los antecedentes sobre el origen del material, el tipo de modificación y el objetivo de la introducción. El Director Nacional del SAG analiza y da respuesta a la solicitud. Por último, la resolución establece la necesidad de hacer un análisis de riesgo de cada solicitud y una consulta pública. Chile autoriza únicamente el uso de material vegetal transgénico destinado a la multiplicación y exportación o a la evaluación y destrucción. El país cuenta con una Secretaría Técnica, constituida por académicos, investigadores y funcionarios del SAG que realizan los análisis de riesgo y formulan las recomendaciones sobre el manejo de riesgo.

En relación con las normas internacionales, Chile firmó el Protocolo de Cartagena en 2001, pero aún no lo ha ratificado. El país también es parte del CODEX Alimentarius (FAO).

### *3.4.4 Paraguay*

Capacidades en agrobiotecnología: En el panorama actual de la utilización de

cultivos biotecnológicos, el país ocupa una posición relativamente importante. En 2006, en Paraguay se cultivaron 2,2 millones de hectáreas de soya, lo que colocó al país en el séptimo lugar mundial en cuanto a extensión sembrada con cultivos biotecnológicos. La soya es el único cultivo biotecnológico aprobado para su siembra en el país. Otros cultivos importantes en Paraguay son maíz y algodón, pero a la fecha no se ha aprobado el uso de variedades biotecnológicas de estos cultivos, pero en vista de que su vecino Argentina está teniendo éxito con estas variedades, se estima que en el futuro cercano podría autorizarse su uso en el país. Desde el punto de vista institucional, la biotecnología agrícola fue desarrollada en las instituciones públicas y académicas en respuesta a las prioridades de la cooperación internacional. En el sector pecuario fueron las empresas privadas las que tuvieron esta iniciativa en respuesta a la demanda del mercado cárnico.

### **Institucionalidad:**

Las técnicas biotecnológicas se comenzaron a utilizar en el país durante la década de los ochentas, principalmente en el sector académico. Paraguay cuenta con instituciones que realizan actividades en biotecnología en los sectores público y privado. En el sector académico prácticamente la Universidad Nacional de Asunción (UNA) es la única que está involucrada en esta actividad con cuatro grupos que trabajan en esa área. En el sector público el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) adelanta investigaciones mediante la Dirección General de Investigaciones Agraria (DIA). Las otras instituciones del sector están dirigidas a la regulación y financiamiento del sistema. En el sector privado hay 11 instituciones (nacionales y multinacionales), sobre todo dedicadas a la producción y experimentación con semillas transgénicas para atender las demandas del mercado. Además de estas instituciones existen varias instituciones encargadas de velar por los aspectos de bioseguridad, cuyas

actividades se focalizan en análisis de riesgo, experimentación y el impulso a la legislación y normativas en cuanto a inocuidad de alimentos, agrotecnología y normativas ambientales.

Se ha ampliado la institucionalidad, con la creación de instituciones como el Instituto Nacional de Biotecnología (INBIO), que actúa como fuente de financiamiento para proyectos biotecnológicos. Además, se han reforzado laboratorios, entre ellos el de Biología Molecular.

#### **Recursos humanos:**

A pesar de la extensión sembrada de cultivos biotecnológicos, el país posee un limitado número de profesionales capacitados en el área de la agrobiotecnología. Las instituciones académicas y públicas cuentan con grupos que se dedican a las actividades de investigación y desarrollo. De los profesionales activos en el área, nueve tienen el grado académico de doctorado, 51 el de maestría y 267 son graduados universitarios en profesiones afines a la biotecnología. También hay alrededor de 400 personas de nivel técnico y de apoyo a actividades en esa área.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Las técnicas empleadas en la investigación biotecnológica son básicamente tecnologías importantes para el desarrollo de las actividades, pero no representan tecnología de punta. Las más utilizadas son micropropagación, embriogénesis somática y tecnologías relacionadas, conservación in vitro, crioconservación, inmunología y citogenética. Existen laboratorios en donde se aplican técnicas de biología molecular en los sectores académico y público.

En cuanto a los laboratorios de investigación en biotecnología, el país cuenta con 11, de los cuales ocho dependen del sector público

y tres del sector académico. En relación con la presencia de biofábricas para elaborar productos biotecnológicos, solo existe una estructura incipiente.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OVM:**

Paraguay ocupa el sexto lugar mundial en cuanto a la extensión de cultivos biotecnológicos. Actualmente en el país solo se cultiva soya transgénica, en una extensión de 2,2 millones de hectáreas. Existe el potencial para sembrar en el futuro cercano otros cultivos importantes para el país, como maíz y algodón. Sin embargo, hasta la fecha no ha sido autorizada la siembra de variedades transgénicas de estos cultivos.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

Las actividades con OGM están reguladas por el Decreto n.º 18.481 del 18 de septiembre de 1997; este instrumento jurídico establecido por el Poder Ejecutivo fue diseñado y promulgado con la visión de atender una temática nueva, sin precedentes para el país: la introducción de OGM y su liberación al ambiente. Para esos efectos se creó la Comisión de Bioseguridad, con funciones de asesoramiento y vinculante al MAG y al Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social.

En cuanto al marco regulatorio de las actividades de biotecnología, una encuesta reciente indica que la mayoría de los entrevistados considera que no existe legislación suficiente en esta área. Ha surgido un número importante de propuestas, las cuales no se han materializado hasta la fecha. En contraste, los entrevistados manifestaron que en relación con la bioseguridad sí existe legislación vigente que regula esta actividad. El Protocolo de Cartagena fue ratificado por Paraguay mediante la Ley n.º 2309/03. Está en vigencia un proyecto TCP/PAR/3001 para

el apoyo a la formulación de una política nacional de biotecnología, el cual tiene por objetivo unificar y definir las políticas nacionales en esta importante área.

En este contexto, hasta tanto el Poder Legislativo define la legislación específica para los OGM con el Decreto 18.481/97 “Que Crea la Comisión de Bioseguridad”, la Ley que crea el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas 2459/04 y el Decreto N° 6070/05 por el cual se modifica la estructura orgánica básica del Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas” donde se establece una Coordinación de Biotecnología.

### 3.4.5 Uruguay

#### Capacidades en agrobiotecnología:

Uruguay, geográficamente ubicado entre Argentina y Brasil, cuenta con 1,4 millones de hectáreas de suelo arable. Los cultivos más importantes para el país son el arroz, el trigo, el maíz y la cebada. Actualmente ocupa el noveno lugar de países megaprodutores de cultivos transgénicos con un área de 0,4 millones de hectáreas destinadas a la siembra de cultivos biotecnológicos. Además, existen laboratorios comerciales de propagación masiva de plantas que utilizan las técnicas de propagación in vitro. Existe investigación relacionada con la evaluación de nuevos cultivos transgénicos, como la variedad forrajera de trébol blanco (white clover), tres de maíz y dos de arroz.

#### Desarrollo, manejo y comercio de OVM:

Uruguay siembra actualmente 350.000 ha de soya resistente a herbicidas. En comparación con Argentina y Paraguay, el área producida no es tan abundante, pero los

productores uruguayos tienen el beneficio de que no pagan un impuesto de exportación a la producción. También se siembran y comercializan aproximadamente 30.000 ha de maíz Bt, que representan el 56% del área destinada a la siembra de este cultivo en el país. Para la producción de estos cultivos se utilizan refugios (10% del área se siembra con una variedad no transgénica) y el Instituto Nacional de Semillas realiza monitoreos en las áreas sembradas.

#### Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:

En 1995 el Gobierno de Uruguay apoyó formalmente el uso de la biotecnología en el país y creó la Comisión para la Evaluación del Riesgo de los Organismos Genéticamente Modificados, adscrita al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Los miembros de la comisión forman parte de los Ministerios de Manejo del Suelo y Ambiente, el Ministerio de Salud, el Instituto Nacional de Semillas (INASE) y el Instituto Nacional de Investigación de Agrícola (INIA). La regulación en bioseguridad se estableció siguiendo el mandato de la Convención de Diversidad Biológica; específicamente se regula el uso, liberación y comercialización segura de los OVM mediante la Ley de Protección al Ambiente n.º 17283, Art. 23 y el Decreto 249/00 de agosto de 2000. Además, se cuenta con otras leyes relacionadas con el tema de la bioseguridad: la Ley 16.466 de Evaluación de Impacto Ambiental, la Ley 9202 de Salud Pública, la Ley 16811 de Semillas y la Ley 3921 de Protección de Plantas. Para la aprobación de solicitudes de siembra de OVM en el país, la Comisión Evaluadora también considera como precedentes las aprobaciones realizadas en Argentina, Estados Unidos y Canadá.

A partir de 2006, el Gobierno uruguayo tomó una postura más conservadora en relación con el uso de OVM y creó un Comité



de Coordinación Nacional (CNC) que incluye una participación multisectorial (23 organizaciones representadas) para la toma de decisiones en relación con el uso de OVM. La CNC se encargará de establecer un nuevo

marco regulatorio, por lo que el Gobierno uruguayo estableció una moratoria, mientras se constituye el nuevo marco. Uruguay firmó el Protocolo de Cartagena en Bioseguridad, pero aún no lo ha ratificado.

## 3.5 *Región Norte*

### 3.5.1 *México*

#### **Capacidades en agrobiotecnología:**

México es uno de los países en los que la biotecnología puede y debe de tener un papel protagónico para el desarrollo y el uso de productos biotecnológicos. Los cultivos de mayor importancia en la agricultura nacional son maíz, trigo, soja, arroz, frijol, algodón, café, frutales y tomate. En el país se utiliza ampliamente la biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos agrícolas anteriormente mencionados y de manera limitada en el sector pecuario. Además, cuenta con programas de investigación en alimentación, salud humana y animal y en algunos sectores industriales. México tiene un marco legal relacionado con bioseguridad diseñado para prevenir y controlar los posibles riesgos del uso y aplicación de los productos biotecnológicos en la salud humana y la protección animal, vegetal y ambiental. En 1996, México fue uno de los primeros seis países que a nivel mundial iniciaron la siembra comercial de cultivos genéticamente

modificados, al permitir la liberación al ambiente de algodón Bt, restringiendo su siembra a la parte norte del país, por ser centro de origen de este cultivo. Debido a las serias restricciones que actualmente se tienen para realizar liberaciones al ambiente de OGM y los altos costos para garantizar su inocuidad, existe una muy limitada investigación en bioseguridad.

#### **Institucionalidad:**

El país posee excelente infraestructura en biotecnología que incluye a los investigadores, institutos de investigación y universidades de renombre mundial. También cuenta con una comisión que coordina las actividades nacionales en bioseguridad y un sector privado activo y organizado que promueve la adopción de la biotecnología.

La mayor cantidad de investigación en AB se realiza en las instituciones públicas de enseñanza e investigación. Sin embargo, los resultados de esta actividad no llegan a ser comercializados debido a múltiples razones,



entre ellas la escasa comunicación con las empresas y/o la falta de recursos para su liberación, además de que en las instituciones se carece de una política para la gestión, transferencia y comercialización de los productos generados por sus investigadores. Así, los cultivos genéticamente modificados que actualmente se liberan al ambiente pertenecen en su totalidad a compañías biotecnológicas extranjeras.

México cuenta con 138 instituciones de educación superior, en la mayoría de las cuales se hacen investigaciones mediante la utilización de la biotecnología en sus diferentes modalidades. En estas instituciones públicas se ubica el mayor número de investigadores y laboratorios de investigación en biotecnología, los cuales han producido un buen número de publicaciones, en las cuales se consignan los adelantos en las transformaciones genéticas para resistencia a estrés por agua, mayor eficiencia en suelos con metales pesados, mejor uso de los fertilizantes químicos, entre otras investigaciones enfocadas a resolver problemas agrícolas nacionales. Sin embargo, las experiencias exitosas con transformaciones genéticas las han logrado los laboratorios privados en el mercado de fármacos, ya que han desarrollado comercialmente varios productos en el ámbito de la salud, pero no en cultivos genéticamente modificados.

#### **Recursos humanos:**

En México existe un total de 57.000 investigadores, los cuales en su mayoría no cuentan con una cantidad suficiente de publicaciones en revistas de reconocido prestigio como para ser considerados en los apoyos establecidos a través del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). El SNI incluye solo a 13.399, por lo que del total de investigadores nacionales reconocidos como los que difunden exitosamente sus resultados solamente se destacan alrededor

de mil en el tema de la biotecnología. El total de investigadores que pertenecen a este programa representa un porcentaje muy bajo en comparación con el total, y si se utiliza este criterio para comparar el desempeño de México con otros países en el número de investigadores, por cada diez mil habitantes, se tienen cifras de 0,80, en comparación con el de otros países como Estados Unidos (9,60) y Japón (10,40).

El número de expertos biotecnólogos reconocidos que publican resultados de investigación es de 1000 en todo el país. La oferta actual de universidades se localiza en todo el territorio nacional; la calidad de ellos es certificada por un sistema de pares, dando lugar a que en todos los casos se consideren como consolidados, que los distinga por formar profesionales de calidad.

Por otro lado, en México existen programas de especialización en todo el territorio. Tiene el reconocimiento del CONACYT aquellos posgrados que cuentan con una mayoría de investigadores dentro del Sistema Nacional de Investigadores y alta eficiencia terminal que los identifica dentro de un padrón de excelencia como de alta calidad. Esto los hace acreedores de becas federales y de apoyos para investigación en la formación de nuevos cuadros de investigadores.

#### **Capacidad técnico-científica:**

Los centros de investigación ubicados en México utilizan las diferentes modalidades de la biotecnología para propósitos como: cultivo de tejidos, micropropagación clonal, embriogénesis somática, ingeniería genética mediante marcadores moleculares y bioquímicos, mejoramiento genético, proteómica y genómica. También los centros de investigación frecuentemente publican sus avances en temas como bioinsecticidas, biofertilizantes, aditivos biológicos, control de plagas, bioprocesamiento, acuicultura,

etc. En biotecnología animal se cuenta con algunos avances en las áreas de diagnósticos terapéuticos, trasplante de embriones, ingeniería genética y marcadores moleculares. Todos estos avances se logran en un número reducido de centros de investigación.

México posee alrededor de 100 laboratorios de biotecnología, con diferente nivel de desarrollo, pertenecientes a 109 instituciones de enseñanza e investigación, pero de ellos únicamente alrededor de 15 se dedican a la transformación genética y la detección de OGM y solo uno está certificado internacionalmente. La presencia de laboratorios de universidades dedicados a investigación es de limitada utilidad para los trabajos de monitoreo, porque sus rutinas son básicamente para investigación. Para aprovechar un laboratorio es necesario contar con un laboratorio central que tenga homogeneizados sus protocolos, contar con un conjunto de pruebas establecidas, con “primers” validados, desarrollo de metodologías de muestreo en campo y en puntos de entrada de importaciones de granos, validación de equipos, así como contar con un laboratorio de referencia y un sistema de monitoreo establecido y bien definido. Los laboratorios de investigación existentes no están en red y cada uno resuelve sus problemas de manera particular con escasa colaboración interinstitucional. México tiene grandes retos en este campo, ya que cada día es más evidente las siembras ilegales de maíz genéticamente modificado, por lo que apenas se está iniciando un programa de monitoreo y seguimiento de aquellas zonas donde se informa que tienen lugar siembras ilegales.

#### **Desarrollo, manejo y comercio de OGM:**

Actualmente en México se siembra algodón Bt, resistente a herbicidas o con ambas características, y la soja resistente a herbicidas. En la legislación existente permite la siembra de OGM, pero no la comercialización de semillas, aunque sí la de productos como

aceite, harina, etc. Se estima que con la siembra de cultivos biotecnológicos los agricultores y empresas dedicadas a esta actividad han percibido alrededor de US\$55 millones durante la última década. El beneficio es aún mayor en el aspecto ambiental, ya que se utilizan menos insecticidas, menos pasos de tractor por aplicación y se reduce el número de envases vacíos de insecticidas. Actualmente están en evaluación, a nivel de lotes semi-comerciales, dos variedades de algodón y una variedad de alfalfa resistentes a herbicida.

#### **Marco regulatorio de bioseguridad y biodiversidad:**

México tiene una serie de leyes relacionadas con el uso de la bioseguridad, diseñadas para prevenir y controlar los posibles riesgos del uso y aplicación de los productos biotecnológicos en la salud humana y la protección animal, vegetal y ambiental. Es importante recalcar que en México existen preocupaciones en relación con la integridad de las especies de maíz autóctonas, no solo por ser su centro de origen, sino por cuanto este cultivo es el símbolo de la herencia mexicana; por lo tanto, la aceptación de la biotecnología debe ligarse con la protección de las plantas nativas.

En este sentido, México cuenta con la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), creada en 1999, que forma parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y cuenta con representantes de los Ministerios de Agricultura, Ambiente y Recursos Naturales, Salud, Economía, Hacienda y Educación. La CIBIOGEM coordina las políticas federales relacionadas con la producción, exportación, movimiento, propagación, liberación y consumo de los OGM. Además, realiza evaluaciones en cuanto al uso de estos organismos y los productos derivados de ellos. En febrero de 2005 entró en vigor la Ley de Bioseguridad para México, la cual codifica las políticas de biotecnología

en línea con las obligaciones adquiridas ante la ratificación del Protocolo de Cartagena y define las respectivas responsabilidades y jurisprudencias de los ministerios y agencias encargados de las regulaciones en biotecnología. Desafortunadamente, aún no existe el Reglamento específico que permita dar una mejor operatividad a dicha Ley.

El marco regulatorio de México en materia de bioseguridad está conformado por leyes y reglamentos, entre los cuales está la Ley General de Salud, de la cual se derivan seis reglamentos (para insumos, para la salud, control sanitario de productos y servicios, de investigación para la salud, de control sanitario de publicidad, de sanidad internacional, control sanitario de actividades, establecimiento, productos y procesos). También existen disposiciones consideradas en diferentes instrumentos, como son la Ley de Sanidad Vegetal, la Ley Federal de Variedades Vegetales, la Ley de Semillas, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el Código Penal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA) y su Reglamento.

### 3.5.2 *Estados Unidos y Canadá*

Indiscutiblemente Estados Unidos es el país con mayor avance en el área biotecnológica, debido a la investigación básica que generan tanto las universidades y centros de investigación especializados como el sector privado. Este último es el que realmente ha potencializado la mayoría de las expectativas que estas nuevas tecnologías han sugerido durante los últimos años. El papel de las grandes empresas en el desarrollo de productos biotecnológicos que están en el mercado actualmente proviene de la investigación que ellas adelantan. Esta visión de futuro le ha dado a las empresas biotecnológicas en este país el liderazgo que

ocupan en todo el mundo. En Europa, a pesar de que las empresas también han invertido en esta área, la opinión pública ha pesado mucho sobre las decisiones de los gobiernos, que son finalmente los que incentivan el desarrollo de esta ciencia mediante la regulación y promoción de sus actividades.

Los países productores de cultivos biotecnológicos más grandes del mundo son Estados Unidos (123 millones de ha), Argentina (42 millones de ha), Brasil (23 millones de ha), Canadá (14 millones de ha) y China (8 millones de ha) (ISAAA, 2006).

A finales del siglo XX, las ventas mundiales de la industria biotecnológica llegaron a 9.300 millones de euros, con una inversión acumulada en investigación y desarrollo de 7.700 millones de euros, un capital de 52.000 millones de euros y el empleo de aproximadamente 108.000 personas. La biotecnología ha dado trabajo a más de 140.000 personas y el mercado continúa en expansión.

Actualmente Estados Unidos y Canadá son los países con más empresas biotecnológicas. La empresa más grande en biotecnología tiene US\$60.000 millones de capitalización. Por lo menos unas 20 empresas pasan de los US\$1.000 millones. El nivel de capitalización de las diez empresas farmacéuticas más grandes que realizan trabajos en el desarrollo de nuevas drogas, tanto por medios químicos como por biotecnología, se ubica en un valor que va desde US\$60.000 millones hasta US\$234.000 millones. Se estima que con la comercialización de los cultivos biotecnológicos Estados Unidos y Canadá han percibido durante la última década US\$12,9 billones y US\$1.0 billón, respectivamente. Estos dos países son, además, importadores de semilla de los cultivos biotecnológicos que se producen en algunos de los países latinoamericanos.

### 3.6 Inversiones en formación de recurso humano en biotecnología

A continuación se presenta una estimación de la inversión que se ha realizado en los países latinoamericanos en la formación de recurso humano. Para ello se asumió el costo de los posgrados en América Latina. En este sentido,

se asume que el costo de un estudiante de doctorado por año es de US\$40.000 y el de un estudiante de maestría sería de US\$20.000, con duraciones de formación académica de 4 y 3 años.

**Cuadro 1:**  
Estimación de la inversión de los países latinoamericanos para la formación de recurso humano en Biotecnología (US\$)

Región	País	Doctorados (PhD)	Inversión final (4 años)	Maestría (MSc)	Inversión final (3 años)	Inversión total Formación recurso humano (PhD y MSc)/país	Inversión promedio/Región
Andina	Bolivia	6	9.600.000	1	10.200.000	19.800.000	66.640.000
	Colombia	50	80.000.000	35	21.000.000	101.000.000	
	Ecuador	3	4.800.000	3	1.800.000	6.600.000	
	Perú	15	24.000.000	20	12.000.000	36.000.000	
	Venezuela	63	100.800.000	115	69.000.000	169.800.000	
Central	Belice	3	4.800.000	11	6.600.000	11.400.000	20.714.286
	Costa Rica	36	57.600.000	51	30.600.000	88.200.000	
	Salvador	0	0	1	600.000	600.000	
	Guatemala	3	4.800.000	9	5.400.000	10.200.000	
	Honduras	13	20.800.000	5	3.000.000	23.800.000	
	Panamá	3	4.800.000	10	6.000.000	10.800.000	
Sur	Argentina	240	384.000.000	60	36.000.000	420.000.000	728.533.333
	Brasil	1075	1.720.000.000	nd	600.000	1.720.600.000	
	Chile	nd	nd	nd	nd	nd	
	Paraguay	9	14.400.000	51	30.600.000	45.000.000	
	Uruguay	nd	nd	nd	nd	nd	





# 4

## Potencial y limitaciones de la agrobiotecnología para el desarrollo

En noviembre de 2008, la Junta Interamericana de Agricultura (JIA) emitió la resolución n.º 386, mediante la cual faculta al IICA para adelantar un Programa Interamericano de Biotecnología y Bioseguridad (PIBB). Como resultado de las actividades de este programa, se llevó a cabo una serie de talleres regionales, con la presencia de expertos procedentes de los países miembros del IICA. De estas reuniones se originó una serie de documentos en que los países informan sobre la situación actual de la agrobiotecnología y la bioseguridad y, al mismo tiempo, analizan por región la situación actual, las fortalezas, las debilidades y las oportunidades de los países. A partir de esa información se presenta un análisis de la situación actual en América Latina y el Caribe.

A pesar de existir una gran variación en el nivel de desarrollo de los países en estas áreas, se puede observar la existencia de ciertas tendencias generales por región.

■ **1.** La región que presenta una capacidad institucional mayor en América Latina es la Región Sur. Los países que la integran cuentan con instituciones y personal calificado en cantidades muy superiores a las de las otras regiones. Como resultado de las actividades de investigación y desarrollo y de las alianzas con el sector privado, las aplicaciones de la biotecnología han evolucionado hacia la producción y comercialización de una serie de productos tanto en el área de la agrobiotecnología como en salud humana y animal, productos ambientales, moleculares, químicos y productos afines. Un beneficio adicional de este desarrollo es la creación de un complejo sistema de industrias que suministran a las empresas manufactureras y a los laboratorios, la maquinaria e insumos

necesarios para su desarrollo. En países como Argentina y Brasil y en menor grado en Chile, el avance en los últimos diez años ha sido constante y la tendencia es a continuar en ascenso. Existen además iniciativas de integración regional como es el Centro Argentino-Brasileño de Biotecnología (CABBIO), organización que promueve el intercambio y el desarrollo de nuevas tecnologías que beneficien a ambos países. Indirectamente los países con menos recursos de la región se benefician de estas iniciativas y de los productos que ellas generan. La región cuenta con un marco regulatorio definido, el cual sigue evolucionando para dar cabida a los nuevos desarrollos y circunstancias. Debido al auge de estas tecnologías se genera una cantidad de recursos importantes (en Brasil el 3% del PIB es generado por la biotecnología), lo que propicia la financiación para la investigación, el desarrollo y la inversión en nuevos proyectos. Los países del Cono Sur son líderes en América Latina en la producción de cultivos biotecnológicos, con más de 30 millones de hectáreas sembradas. Estas características les dan ventajas comparativas importantes y sería de esperar que los países de la región, mediante la colaboración sur-sur o convenios bilaterales, aprovechen esta oportunidad de desarrollar sus capacidades en esta área.

■ **2.** En relación con las debilidades y amenazas siempre está presente la necesidad del incremento de la infraestructura y la formación de personal calificado. A medida que se avanza en el proceso de desarrollo de la actividad, se requieren equipos y procesos más sofisticados, así como personal con un grado más alto de capacitación y preparación académica. En realidad, el volumen global

de investigación, aunque importante, es relativamente bajo en comparación con el volumen de actividades y productos biotecnológicos. Otra observación importante es que en comparación con las actividades de investigación a nivel académico, las actividades de investigación para el desarrollo son más bien escasas. La capacidad de innovación es altamente dependiente de insumos externos procedentes de países más desarrollados; no se requiere la autosuficiencia, pero es saludable que la generación de tecnología local sea importante para poder competir en el mercado global. Las posibles amenazas están basadas en la competencia de productos tradicionales en competencia con los OVM. No hay duda de que parte de los consumidores tiene dudas acerca del consumo de productos con estas características. Con el fin de poder competir en los mercados mundiales, es importante contar con políticas y estrategias para que la biotecnología y sus industrias usuarias cumplan con el objetivo de participar activamente en los mercados regionales y globales.

■ **3.** La Región Andina se encuentra en una situación de desarrollo mediano en América Latina. Los países cuentan con infraestructura y recursos humanos de importancia y cónsonos con su desarrollo en biotecnología. Todos los países poseen, en mayor o menor grado, programas de formación académica en el área y con grupos establecidos de científicos calificados en varias de las técnicas biotecnológicas. Las tecnologías que se están implementando, aunque importantes, todavía tienen espacio para evolucionar a etapas superiores y se requiere la presencia de un mayor número de grupos de trabajo. Los aspectos financieros son una de las causas limitantes para su desarrollo. La gran mayoría de los laboratorios y actividades se financian con fondos públicos. Esto introduce una limitación importante para su desarrollo posterior. La razón principal es que, salvo excepciones, los países de esta región

no han definido como una prioridad de desarrollo invertir ampliamente en las áreas biotecnológicas. También se conocen muy bien las limitaciones de inversión que tienen estos países, debido al gran número de necesidades presentes. La inversión privada es limitada en esta región, el número de empresas biotecnológicas es relativamente pequeño y principalmente actúan en el área de la comercialización y elaboración de productos derivados de los recursos naturales presentes. El país que más se destaca en la utilización de productos biotecnológicos es Colombia, con empresas dedicadas a producir en forma comercial material de siembra libre de virus, bioinsectidas, productos derivados de los recursos genéticos y productos afines. En los demás países también se realizan actividades en estos campos, pero en menor nivel. En la mayoría de los países existen numerosas leyes y reglamentos sobre la materia, pero todavía la cantidad es insuficiente y se requiere compatibilizar las leyes existentes para facilitar su aplicación y definir los reglamentos y normativas. La formación de profesionales en el área es todavía insuficiente para las necesidades presentes, sobre todo a nivel de formación más avanzada en las nuevas tecnologías. Un problema importante es la migración de talentos, en un área tan competitiva como es la biotecnología, dado que las oportunidades de trabajo en países con mayor desarrollo atraen a los investigadores. La capacidad de gestión de la investigación y desarrollo es relativamente débil, así como la institucionalidad que la alberga. Uno de los pilares para el desarrollo de la biotecnología es la articulación interinstitucional, sobre todo entre el sector público y el privado, con el fin de poder beneficiarse la sociedad de los resultados que se obtengan en los laboratorios.

■ **4.** En la región centroamericana hay un desarrollo básico de la agrobiotecnología. Se cuenta con una capacidad instalada, infraestructura y recurso humano a nivel de

investigación que está disponible y permitiría la conformación de una plataforma para el desarrollo potencial del área. Existen diferentes niveles de experiencias en los países centroamericanos que pueden transferirse entre ellos y potenciar el tema. La existencia e identificación de centros de excelencia en países como Costa Rica, Honduras y Panamá es la base para el intercambio de información, conocimiento y recursos. Asimismo, la riqueza biológica de la región representa un valor de gran potencial. La biodiversidad es en sí uno de los mayores recursos que la biotecnología puede potenciar en la región. Ello por cuanto puede aumentar su valor agregado y traducirlo en mayores beneficios mediante la venta de productos o la producción de patentes como resultado de estudios básicos de la diversidad.

■ **5.** La utilización de organismos vivos modificados producto de la biotecnología es a nivel mundial un hecho real con un aumento sostenido a través del tiempo. En este sentido, en los países centroamericanos se da la misma tendencia, pero en menor escala. Sin embargo, los niveles de aceptación y la existencia de marcos regulatorios son desiguales e incipientes en el área. Únicamente Costa Rica y Honduras producen cultivos modificados genéticamente; se destaca que este último es el único país en que se comercializa un cultivo modificado para consumo humano y animal. Ahora bien, la región presenta una opinión consensuada sobre la necesidad de contar con una

regulación armonizada internacionalmente con respecto a los OVM. Una vez que todos los países cuenten con marcos legales que se ajusten a sus necesidades, la producción de cultivos modificados representaría un potencial a considerar dentro de las líneas de los agronegocios, por cuanto la experiencia exitosa de otras regiones latinoamericanas, como el Cono Sur, así lo indica.

■ **6.** La región caribeña es la que se encuentra más rezagada en el desarrollo de la biotecnología, lo que podría ser consecuencia de varios factores, entre ellos el hecho de que el peso específico de la agricultura en el PIB es relativamente bajo. Las prioridades de desarrollo van dirigidas en forma importante a la construcción de infraestructura turística. En la región hay por lo menos tres países que tienen capacidad instalada y recursos humanos preparados para la investigación y desarrollo de la biotecnología: Jamaica, República Dominicana y Trinidad y Tobago. Estos países pueden convertirse en el foco de desarrollo regional. Además, otros países vecinos como Colombia, Costa Rica, México y Venezuela, podrían tener una influencia positiva en el desarrollo de esta actividad en la región. El apoyo que se puede prestar es mediante el desarrollo de proyectos conjuntos, el intercambio de profesionales, la interacción entre instituciones y el intercambio de estudiantes y pasantes en laboratorios para aprender y perfeccionar técnicas específicas, entre otros.



**5.1.** Con base en la información recabada, podríamos ubicar a las regiones en forma descendente según su desarrollo biotecnológico de la siguiente manera: Región Sur, Región Andina, Región Centroamericana y Región Caribe.

**5.2.** A nivel intrarregional, se identifican países que poseen un mayor desarrollo agrobiotecnológico y que pueden ser referentes para el resto de la región mediante el establecimiento de alianzas estratégicas.

**5.3.** América Latina cuenta con instituciones internacionales de los centros internacionales para la investigación agrícola (CGIAR) distribuidas en las diferentes regiones, las cuales constituyen una plataforma para la formación de recursos humanos altamente calificados

y con mayor grado de especialización que puedan fortalecer las instituciones estatales en el área de la biotecnología.

**5.4.** Se evidencia la existencia de marcos regulatorios en bioseguridad (marcos legales y normativas) que requieren ser armonizados. Se necesita brindar apoyo estatal y asesoramiento técnico en la materia en forma constante para poder responder al dinamismo propio del área de biotecnología y los lineamientos de desarrollo propios de cada país.

**5.5** El número de instituciones involucradas en agrobiotecnología en los sectores público y privado es alto en términos generales, pero para potenciar los logros que han alcanzado en forma individual, se requiere impulsar su integración y brindarles respaldo.



# 6

## Literatura citada

- ANTUNES, A. Monitoramento em Biotecnologia. Centro de Gestao e Estudos Estratégicos CGEE, UFRJ, SIQUIM, EQ, Janeiro, 2005.
- ARJONA, R. Desarrollo de un Marco Nacional en Bioseguridad para Costa Rica. In A. May (ed.) Proyecto UNEP-GEF, 2004
- BOLIVAR, Z. et al. Fundamentos y casos exitosos de la Biotecnología Moderna. Editorial El Colegio Nacional, México, 2004.
- CABRERA, J. Informe sobre el Marco Regulatorio Nacional en Materia de Biotecnología y Bioseguridad. Proy. UNEP/GEF Desarrollo de un Marco Nacional en Bioseguridad para Costa Rica, 2004
- CASTILLO, B. Biotecnología y su aplicación en la Agricultura. Editora Mediabyte S.A., Sto. Domingo, Rep. Dominicana, Diciembre 2005.
- CONCYT-SENACYT. 2005. Programa Nacional de Biotecnología en Guatemala. Disponible en: <http://www.concyt.gob.gt/>
- CONARE (Consejo Nacional de Rectores). Programa BID II. Biotecnología, justificación de sub-áreas. Costa Rica, 2003.
- ESTRATEGIA REGIONAL EN AGROBIOTECNOLOGIA Y BIOSEGURIDAD PARA CENTROAMERICA. IICA, SICTA, CAC, Mayo 2006.
- ESTADO DE LA AGROBIOTECNOLOGÍA EN HONDURAS. 2007. Videoconferencia María Mercedes Roca, Zamorano. IICA, San José Febrero 2007.
- GARCIA, E. Proyecto Marco Nacional de Seguridad de la Biotecnología en Venezuela. Proyecto GF/2716-01-4319 Informe Final
- IÁÑEZ, P. E. 2005. Introducción a la biotecnología, Instituto de biotecnología Universidad de Granada <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/introbiotec.htm#01>
- IIBI, 2005. Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria. En Memorias 2005. 58p
- JAMES, C. Global Status of Commercialized Biotec/GM Crops: 2006. ISAAA Briefs, 35, 2006.
- MEMORIASDELAONFERENCIATECNICA EN TECNOLOGIA, BIOSEGURIDAD Y ELEMENTOS BASICOS DEL PROTOCOLO DE CARTAGENA SOBRE SEGURIDAD DE LA BIOECNOLOGIA. IICA, Brasilia, Brasil, Febrero 2006.
- MEMORIAS DE LA CUARTA REUNION PREPARATORIA PARA LAS AMERICAS SOBRE IMPLEMENTACION DEL PROTOCOLO DE CARTAGENA SOBRE SEGURIDAD DE LA BIOTECNOLOGIA. IICA, Brasilia, Brasil, Febrero 2006.
- MEMORIAS 2005. Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI). Santo Domingo, Rep. Dominicana, 2006.
- MEXICO BIOTECHNOLOGY ANNUAL 2006. Global Agricultural Information Network. Prepared by: Jeff Nawn y Benjamin Juarez, Approved by: Suzanne Heinen. U.S Embassy. USDA Foreing Agricultural Service GAIN Report number: MX000 37 p



- MUNOZ, C. Desarrollo de Las Agrobiotecnologías en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile, 2007.
- OROZCO, C. 2004. Situación Actual de la Biotecnología en Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Documento Técnico No. 17 (06-2004).
- PEDRETTI, R.R. Estado Actual de las Necesidades en Agrobiotecnología y Bioseguridad. IICA Paraguay, Noviembre 2006.
- QUEZADA, F. et al. Biotecnología para el Uso Sostenible de la Biodiversidad Corporación Andina de Fomento (CAN), Febrero 2005.
- PROGRAMA HEMISFERICO DE BIOTECNOLOGIA Y BIOSEGURIDAD. Dirección de Liderazgo Técnico y Gestión del Conocimiento. IICA, San José, Mayo 2006.
- ROCA, W. Estudio de las capacidades biotecnológicas e institucionales para el aprovechamiento de la biodiversidad en los países de la Comunidad Andina. Informe CEPAL, CAF, Octubre 2003.
- ROCA, M.M. Estado de la Agrobiotecnología en Honduras. EAP El Zamorano, 2007.
- SIECA, 2005. Estado de situación de la integración económica Centroamericana. [http://www.sieca.org.gt/Sitio\\_publico/IntegracionEcoCA/Estado\\_Situación\\_Integración\\_02-07.pdf](http://www.sieca.org.gt/Sitio_publico/IntegracionEcoCA/Estado_Situación_Integración_02-07.pdf)
- SILVEIRA, J.M.F.J. et al. Evolucao recente da biotecnología no Brasil. IE/UNICAMP No. 114, Febrero 2004.
- SILVEIRA, J.M.F.J.y CARVALLO, I. An Overview of the Current State of Agricultural Biotechnology in Brazil. Workshop Bella Villagio, Bellagio, Italy, May-June 2005.
- STRATEGY FOR A CARIBBEAN PROGRAMME ON BIOTECHNOLOGY AND BIOSAFETY.CPBB, IICA, July 2006.
- TALLER:LABIOTECNOLOGIAENNUESTRO PAIS. Foro Argentino de Biotecnología (FAB) Informe 11/04, Diciembre 2004.
- TALLER DE IDENTIFICACION DE NECESIDADES EN AGROBIOTECNOLOGIA Y BIOSEGURIDAD EN LA REGION ANDINA. IICA, Puenbo, Ecuador, Noviembre 2006.
- TRIGO, E.J. y CAP, E.J. Ten Years of Genetically Modified Crops in Argentina Agriculture. Argenbio, December, 2006.
- TRIGO, E., TRAXLER G., PRAY C. y ECHEVERRÍA R. 2002. Biotecnología agrícola y desarrollo rural en América Latina y el Caribe. Implicaciones para el financiamiento del BID. (Número de referencia: RUR-107) Disponible en: <http://www.iadb.org/sds/>
- URUGUAY BIOTECHNOLOGY ANNUAL 2006. Global Agricultural Information Network. Prepared by: Andrea Yankelevich, Approved by: Kari Rojas U.S Embassy. USDA Foreign Agricultural Service GAIN Report number: UY6003.12p
- VALDES, M. et al. Estado Actual de la Biotecnología en Costa Rica. Rev. Biol. Tropical 52 (3): 733-743, 2004.
- VITAGLIANO, J.C. y VILLALPANDO, F.A. Análisis de la Biotecnología en Argentina. Programa Fortalecimiento Institucional de la Política Comercial Externa BID 1206/OC-AR, Diciembre 2003.