

# La biotecnología, motor de desarrollo para la Colombia de 2015



COLCIENCIAS  
COLOMBIA

CorpoGen

Investigación y Biotecnología de Colombia



# La biotecnología, motor de desarrollo para la Colombia de 2015



COLCIENCIAS  
COLOMBIA

CorpoGen

Investigación y Biotecnología de Colombia

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la  
Tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS

FELIPE GARCÍA VALLEJO  
Director General

JUAN PLATA CAVIEDES  
Secretario General (E)

RAFAEL MARÍA GUTIÉRREZ SALAMANCA  
Subdirector de Programas de Desarrollo Científico y Tecnológico

FERNANDO GARCÍA GONZÁLEZ  
Subdirector de Programas de Desarrollo Científico y Tecnológico

SONIA ESPERANZA MONROY VARELA  
Subdirectora de Programas Estratégicos

PATRICIA GONZÁLEZ ROBLES  
Subdirectora Financiera y Administrativa

MIGUEL TOBAR CARRIZOSA  
Jefe (E) Programa Nacional de Biotecnología

ADRIANA GUISELLA ROSILLO GUERRERO  
Asesora Programa Nacional de Biotecnología

Coordinación General del Proyecto  
MYRIAM PACHECO DE PEÑA  
Jefe Programa Nacional de Biotecnología 02-2000 - 02-2005

Comité Editorial  
LUIS BERNARDO PEÑA BORRERO  
PATRICIA DEL PORTILLO OBANDO  
ÓSCAR CASTELLANOS DOMINGUEZ  
SUSANA CARRIZOSA PARDO

Diseño Gráfico  
MARTHA C. SARMIENTO SANTAMARIA

Corrección de estilo  
ALCIRA BLANCO

Fotografías  
Archivo COLCIENCIAS  
Archivo Cenicafé, Archivo Autores

Impresión  
Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia  
y la Tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS  
Transversal 9A BIS No. 132-28  
Tel.: +57 (1) 625-8480  
Fax: +57 (1) 625-1788  
www.colciencias.gov.co  
contacto@colciencias.gov.co  
Bogotá, D.C., Colombia

ISBN XXXXXXXXX

Impreso y hecho en Colombia  
Printed in Colombia

“Esta publicación ha sido realizada por Colciencias,  
entidad del Estado cuyo objetivo es impulsar el desarrollo  
científico y tecnológico de Colombia”.

© Derechos reservados. Colciencias. Primera edición 2006.



# Acerca de los autores

## **Myriam Pacheco de Peña**

Doctora en Fisiología Vegetal de la Universidad de Purdue, Estados Unidos. Durante 23 años estuvo vinculada a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia como investigadora del Laboratorio de Investigaciones sobre la Química del Café (LIQC) y en Cenicafé. Su actividad estuvo centrada en la formulación, ejecución y dirección de proyectos de investigación relacionados con el desarrollo de métodos biotecnológicos aplicados al café. Profesora Investigadora del Convenio Universidad Javeriana - Federación Nacional de Cafeteros (1996-2000). Entre 2000 y 2005 dirigió el Programa Nacional de Biotecnología en Colciencias. Actualmente trabaja como consultora en el diseño, gestión y evaluación de proyectos de I&D en biotecnología.

## **Óscar Fernando Castellanos Domínguez**

Ingeniero Químico, Magíster en Ciencias Tecnológicas, Magíster en Administración y Ph.D. en Química. Ha sido: Fundador y Director de la Revista Colombiana de Biotecnología, Jefe de la Unidad de Innovación Tecnológica, Vicedecano y Decano (e) de la Facultad de Ingeniería. Actualmente es Coordinador del Grupo Interdisciplinario Biogestión, de la Universidad Nacional, y miembro de Juntas Directivas en Centros de Desarrollo Tecnológico, la Academia de Ciencias Administrativas en México y la Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica – Altec. Dirige la Comisión de Asuntos Universitarios, la Asociación Colombiana de Ingenieros - Aciem y la Revista Ingeniería e Investigación. Autor de más de 100 artículos y ponencias nacionales e internacionales.

### María Susana Carrizosa Pardo

Bióloga de la Pontificia Universidad Javeriana, con Maestría en Ciencias Agrarias - Fisiología de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia. Durante 16 años estuvo vinculada como investigadora y docente a la Unidad de Biotecnología de la Pontificia Universidad Javeriana, y su actividad se centró en la gestión, formulación y ejecución de proyectos de investigación en fisiología vegetal y biotecnología vegetal, en docencia con las cátedras de fisiología vegetal, biología evolutiva y biotecnología vegetal, y en la dirección de trabajos de grado (1986-2002). A partir de 2002 se ha desempeñado como conferencista, asesora y consultora en temas de biotecnología vegetal y bioseguridad para diferentes instituciones y proyectos (AGRO-BIO, Observatorio de Ciencias y Tecnología, Colciencias-OEA, Comunidad Andina de Naciones). Actualmente se encuentra vinculada al Instituto Alexander von Humboldt en la Unidad Coordinadora del Proyecto GEF-BM Bioseguridad – Colombia (2004-2006).

### Claudia Nelcy Jiménez Hernández

Ingeniera Química, estudios en Magíster en Administración – Universidad Nacional de Colombia. Como investigadora del Grupo Biogestión UN ha participado en la formulación y ejecución de proyectos en gestión tecnológica, organizacional, de procesos universitarios y de divulgación del desarrollo científico, con aplicación de metodologías de planeación estratégica, prospectiva, *benchmarking*, sistemas suaves, gestión de sistemas de información y vigilancia tecnológica. Fue Directora Ejecutiva de la Revista Colombiana de Biotecnología y profesional asistente de la Vicedecanatura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional. Actualmente es la Secretaria Técnica Nacional de la cadena productiva del tabaco del Ministerio de Agricultura y profesora auxiliar en la Universidad Nacional.



### **Andrea Paola Clavijo Gutiérrez**

Bióloga de la Universidad de Los Andes. Trabaja hace seis años como investigadora asistente en la Corporación CorpoGen, dentro del grupo de Biotecnología Molecular. Sus responsabilidades incluyen la ejecución de proyectos de investigación en el área de la tuberculosis, enfocados hacia el desarrollo de nuevos métodos diagnósticos, desarrollo de soluciones alternativas de la biología molecular en sectores productivos y desarrollo de servicios de investigación. Perteneció al programa de Jóvenes Investigadores de Colciencias en 2004. En la actualidad hace parte del grupo de trabajo del Centro de Excelencia de Colciencias en Tuberculosis, “Tuberculosis: la investigación integrada a la salud pública para mejorar su control”.

### **Patricia Del Portillo Obando**

Microbióloga de la Universidad de los Andes. Durante 17 años estuvo vinculada al Instituto de Inmunología del Hospital San Juan de Dios, donde en el año de 1985 inició la unidad de biología molecular. Sus trabajos estuvieron encaminados a la búsqueda de antígenos específicos del bacilo de la tuberculosis; en 1991 reportó la primera prueba de PCR capaz de distinguir entre el bacilo humano y el bacilo bovino. Fue investigadora invitada en Chiron Corporation para desarrollar pruebas moleculares en tuberculosis; posteriormente, fue invitada por el CSIC de España a trabajar en el mismo campo. En 1995 deja el Instituto de Inmunología y en asocio con cuatro compañeros funda la Corporación CorpoGen, un centro de investigación sin ánimo de lucro, dedicado al impulso de la investigación y la biotecnología molecular. Fue consejera del Programa Nacional de Biotecnología de Colciencias y es consejera científica de Maloka. Actualmente se desempeña como Directora Ejecutiva de CorpoGen.



# Presentación

Cuatro tecnologías serán la base de los adelantos científicos y tecnológicos previstos para el siglo XXI. La nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la información y de la comunicación y las tecnologías cognitivas. Siendo la biotecnología una de estas, y al ser considerada como aquella que utiliza microorganismos o sus partes en la producción de bienes o servicios con alto valor agregado, es necesario establecer el aporte de la misma y las oportunidades que esta ofrece al desarrollo humano, económico y social del país.

Colombia, como país megadiverso, debe aprovechar sus recursos naturales en un contexto ético y sostenible, y convertir la ventaja comparativa que posee en su territorio en ventajas competitivas. La biotecnología, tanto tradicional como moderna, juega un papel preponderante para dar respuesta a los requerimientos y necesidades de su población y constituirse en una alternativa de crecimiento económico y desarrollo social para el país.

La publicación “La Biotecnología, Motor de Desarrollo para la Colombia de 2015” que hoy presentamos, hace un análisis del contexto nacional e internacional de la biotecnología para los sectores agrícola, pecuario e industria de alimentos; salud e industria farmacéutica; y medioambiente y energía. Presenta un análisis comparativo de las políticas públicas que se vienen implementando en países desarrollados y en América Latina. Igualmente identifica oportunidades de desarrollo que ofrece la biotecnología en cada uno de estos sectores y las plataformas tecnológicas que requiere implementar el país para su aprovechamiento.

El presente ejercicio de Direccionamiento Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología surgió antes que el Presidente Alvaro Uribe Vélez planteara la Visión Colombia 2019 - Segundo Centenario. Por esta razón su horizonte temporal fue establecido al año 2015. No obstante, las recomendaciones contempladas en el estudio han contribuido a que la biotecnología sea considerada como un componente prioritario en la Visión Colombia 2019 en materia de Ciencia, Tecnología e Innovación y en otros componentes sectoriales y transversales. Pero también ha sido considerada en la formulación de políticas de Estado y al esta-

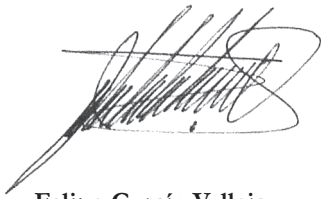
blecimiento de agendas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, a corto, mediano y largo plazo en los sectores considerados. Este es el caso del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 - Estado Comunitario: Desarrollo para todos, la Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad, y las Agendas Departamentales de Ciencia y Tecnología. Igualmente, ha sido un insumo de primera importancia de la actual reforma de los once Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología en su transición hacia las seis Áreas Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación y en particular, es la base del Plan Estratégico del Área de Procesos Biológicos, Agroalimentarios y Biodiversidad del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

El proceso de elaboración de esta publicación contó con la participación de un destacado grupo de profesionales nacionales e internacionales en todos los órdenes, quienes utilizaron distintas formas de comunicación, al nivel presencial y virtual. Este ejercicio de consulta incorporó novedosas técnicas de prospectiva y vigilancia tecnológica, tales como una encuesta delphi realizada a expertos de los sectores académico, industrial y del gobierno, y un ejercicio de revisión de fuentes bibliométricas y bases de patentes. De esta forma, este ejercicio abrió nuevas posibilidades metodológicas para el país, en la utilización de ejercicios estructurados y sistemáticos para analizar las opciones futuras de la ciencia, la tecnología y la innovación.

No obstante, esta reflexión prospectiva y estratégica no termina con la presente publicación. El Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS) la entiende como una actividad continua que debe servir para perfilar las opciones presentes y futuras de los Centros de Excelencia, las Convocatorias institucionales y la plataforma genómica que espera construir el país para enfrentar los desafíos que plantea el desarrollo de sus capacidades biotecnológicas. En efecto, el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, el Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales, Aromáticas y Medicinales Tropicales, y el Centro Colombiano de Investigación en Tuberculosis, actualmente realizan procesos de afinamiento y perfeccionamiento de sus agendas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, con miras a profundizar en el conocimiento de las tendencias contemporáneas, las oportunidades y los temas pertinentes para el país.

El presente ejercicio de Direccionamiento Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología tiene un carácter pionero, tanto en sus contenidos y propuestas, como en su proceso metodológico. Busca anticipar oportunidades futuras y plantear elementos de juicio para la toma de decisiones estratégicas del país, con miras a potenciar el talento humano y la capacidad nacional para el desarrollo científico-tecnológico y la innovación. Este esfuerzo debe

proseguirse y contar con una actualización permanente de los resultados y alcances del mismo. La publicación “La Biotecnología, Motor de Desarrollo para la Colombia de 2015”, ha sido el fruto de un esfuerzo colectivo y está encaminado a sembrar una semilla de cambio para que las universidades, las instituciones públicas, las empresas, los centros de investigación, las comunidades y la población en general sean conscientes del enorme potencial que tiene la biotecnología en el desarrollo del país. Es mi esperanza que este ejercicio de pensamiento y acción colectiva sea útil para potenciar la vida y las posibilidades presentes en este maravilloso ecosistema llamado Colombia.



**Felipe García Vallejo**  
Director General de Colciencias



# Prólogo

A partir de 1991, el desarrollo de la biotecnología en el país adquiere un gran impulso con la creación del Programa Nacional de Biotecnología, en el marco del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Desde entonces, Colciencias, como Secretaría Técnica, ha venido trabajando en la formulación de políticas y en la definición de líneas de acción, con el fin de adecuarlas a los veloces desarrollos en el ámbito mundial y aprovechar las oportunidades que esta tecnología representa, para responder así a las necesidades del país. Una muestra de su interés es el Plan Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología 1999-2004, concebido como un instrumento de planeación para la definición de sus líneas de acción y prioridades de investigación<sup>1</sup>.

Durante estos años, Colciencias ha apoyado constantemente la consolidación de una comunidad científica en aquellas áreas en las que la biotecnología puede responder mejor al desarrollo y a la competitividad del país. Ello ha contribuido a crear una capacidad científica, particularmente en sectores como las ciencias agrícolas y la salud, así como a incrementar y fortalecer el número de grupos de investigación, en términos de su capacidad académica e infraestructura. A pesar de estos esfuerzos, aún hay pocas iniciativas claras de articulación entre la industria y la investigación biotecnológica.

También es importante reconocer que, en estos años, otras instituciones han llevado a cabo estudios encaminados a definir prioridades y estrategias para el fortalecimiento y desarrollo de la biotecnología en el país. A manera de ejemplo, cabe destacar aquí el ejercicio de focalización realizado, en el año 2000, por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), que la definió como un área estratégica para la competitividad del país, como lo refleja el documento “Bases para una Política Nacional de Biotecnología”. Éste, además de otros trabajos, serán más ampliamente discutidos en el capítulo sobre el contexto nacional de la biotecnología.

---

<sup>1</sup> COLCIENCIAS. Programa Nacional de Biotecnología. Plan Estratégico 1999-2004.

Aunque en el país se han hecho desarrollos importantes, no hay que desconocer que en los últimos años han ocurrido grandes avances en el contexto internacional, lo que la ha convertido en un área estratégica para el desarrollo y la competitividad en muchos países. Este logro ha sido el resultado de la combinación de varios factores: la constitución de una base sólida de conocimiento científico, la disponibilidad de recursos humanos altamente capacitados, el acceso a una infraestructura adecuada, tanto física como financiera, el desarrollo de marcos regulatorios pertinentes pero, ante todo, a la voluntad política de los gobiernos que han creado las condiciones necesarias para su desarrollo.

Estas consideraciones llevaron al Consejo del Programa Nacional de Biotecnología a plantear la necesidad de realizar un ejercicio de actualización de las líneas de acción trazadas en el Plan Estratégico (1999-2004), con el fin de definir los nuevos lineamientos y prioridades de investigación que deberían impulsarse en el corto, mediano y largo plazo y que, además, constituyeran una herramienta útil para guiar la inversión pública en este campo. De igual manera, se consideró importante identificar las brechas tecnológicas y de conocimiento que el país debería subsanar para aprovechar efectivamente todo el potencial de la biotecnología, y así proponer las estrategias y acciones necesarias para responder a los requerimientos presentes y futuros del país.

Para realizar este análisis de manera sistemática, el Programa Nacional de Biotecnología se propuso iniciar, en junio de 2003, un estudio que integrara diferentes herramientas de gestión, más específicamente la prospectiva y la vigilancia tecnológicas y un *benchmarking* de políticas públicas. Paralelamente, se realizó un análisis de documentos y de estudios previos relacionados con la biotecnología en Colombia. Este estudio buscaba aportar los elementos necesarios para el diseño e implementación de un sistema de direccionamiento estratégico, con base en la integración de los resultados obtenidos en los distintos ejercicios propuestos. Se espera que los resultados del estudio sirvan, a su vez, como un insumo fundamental para la toma de decisiones y la gestión del sector, a través de la formulación de estrategias de corto, mediano y largo plazo.

Cada uno de los componentes del estudio aportó información valiosa que permitió la construcción de una propuesta de estrategias y prioridades para el desarrollo de la biotecnología en los próximos diez años. En primer lugar, el ejercicio de prospectiva tecnológica, para el cual se realizó una encuesta Delphi, sirvió como instrumento de consulta con el que se obtuvo la opinión de más de 200 expertos sobre los factores claves que afectan el desarrollo



de la biotecnología en el país, y para evaluar y priorizar las tecnologías, los focos de investigación y los bienes y servicios que se deberían desarrollar en los próximos años. En segundo lugar, la vigilancia tecnológica, como metodología sistemática de captura y análisis de la información de las bases de datos de patentes y de publicaciones, se consideró fundamental para tener una visión del estado del arte de la biotecnología en el mundo y nos permitió desarrollar los llamados mapas tecnológicos e identificar áreas emergentes y decadentes en diferentes sectores de aplicación de la biotecnología, así como reconocer sus actores principales. Por último, gracias al *benchmarking* de políticas públicas, se establecieron puntos de comparación entre documentos de diferentes países, para determinar los aspectos principales de cada uno y conocer los procesos que se siguieron para la elaboración y consolidación de sus políticas, como base para definir posibles estrategias que podrían implementarse en Colombia.

Un componente fundamental del estudio lo constituyó la permanente consulta a expertos y a otros actores, tanto del sector público como privado, que con sus diferentes aportes contribuyeron a la validación de los resultados obtenidos en los diferentes componentes del estudio y proporcionaron una valiosa información para la definición de estrategias.

Para este ejercicio, la biotecnología se analizó en tres campos de aplicación: Agrícola, Pecuaria e Industria de Alimentos; Salud, Industria Farmacéutica y Cosmética, y Medio Ambiente y Energía. Estos sectores fueron abordados en toda la cadena de valor del conocimiento, desde su generación hasta su aplicación industrial. Sin embargo, dada la complejidad del tema y las limitaciones propias de este tipo de procesos, estamos conscientes de que la información presentada en cada uno de los capítulos que conforman esta publicación no es de ninguna manera exhaustiva, ni pretende ser la única fuente de información sobre el mismo. No obstante, creemos que constituye un aporte valioso a un proceso de reflexión y construcción que el país ha venido haciendo y que debe continuar.

Consideramos que uno de los principales aportes de esta publicación, en la que se presentan los resultados del estudio realizado entre junio de 2003 y diciembre de 2004, es que éstos son el fruto de un proceso participativo, de consulta y discusión interinstitucional con diversos actores de la biotecnología; del decidido apoyo y compromiso de los miembros de la comunidad científica y de diferentes instituciones del Estado; de numerosos expertos que aportaron sus conocimientos, sus críticas y sugerencias para enriquecerlo, y del posterior trabajo de un grupo multidisciplinario comprometido en el análisis y la consolidación de los

resultados de los diferentes componentes para la construcción de una propuesta de prioridades y estrategias para el desarrollo de la biotecnología en Colombia.

Debemos dar un reconocimiento especial a las directivas de Colciencias, quienes respaldaron institucional y económicamente este estudio, así como al Programa Nacional de Prospectiva Tecnológica e Industrial, promovido por Colciencias, la Corporación Andina de Fomento y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, que también contribuyó con recursos para la realización del mismo.

Por lo anterior, confiamos en que los resultados, conclusiones y propuestas que hoy presentamos a los lectores resulten útiles para el cumplimiento del principal propósito planteado al inicio del estudio: contribuir con información pertinente, actualizada y validada, que sirva como base para el establecimiento de prioridades en las políticas públicas y privadas. Así mismo, que sus resultados se constituyan en una herramienta para guiar la inversión pública y privada en este campo y fortalecer la capacidad nacional, tanto académica como empresarial, a través de la formulación de nuevas líneas, estrategias, mecanismos y acciones de corto, mediano y largo plazo.

Finalmente, somos conscientes de que la participación activa de todos los actores involucrados en la toma de decisiones sobre el desarrollo de la biotecnología y sus aplicaciones, así como su articulación con las políticas de otros sectores de la economía nacional, son condiciones fundamentales para su efectiva contribución al desarrollo y la competitividad del país. Tanto el Estado como la comunidad científica colombiana deben reflexionar muy seriamente en las oportunidades que la biotecnología puede ofrecerle a un país tan rico en recursos genéticos como el nuestro, en la necesidad de un esfuerzo conjunto y coordinado para aprovechar todas las posibilidades que esta nueva tecnología promete, y evaluar sus riesgos responsablemente.

**Myriam de Peña**

Jefa Programa Nacional de Biotecnología

Febrero de 2000 – febrero de 2005

# Agradecimientos

Los resultados logrados en este estudio no hubieran sido posibles sin el compromiso y el aporte de muchas personas e instituciones que trabajaron a todo lo largo del proceso. Cabe destacar a la Corporación CorpoGen que, en cabeza de su Directora Científica, la doctora Patricia del Portillo, y conjuntamente con el Programa Nacional de Biotecnología, se responsabilizó de la coordinación y ejecución del ejercicio y el posterior análisis y consolidación de resultados. El trabajo del grupo de investigación Biogestión, de la Universidad Nacional de Colombia, dirigido por el doctor Óscar Castellanos, fue fundamental en la coordinación metodológica para el análisis e integración de los resultados, así como en el desarrollo de la propuesta de direccionamiento estratégico. El trabajo de Susana Carrizosa, consultora de Corpogen, y de Claudia Jiménez, del Grupo Biogestión, fue esencial en la búsqueda y análisis de documentos nacionales e internacionales y en la consolidación de los resultados finales.

Por otra parte, a lo largo del proceso se contó también con apoyo técnico y metodológico para cada segmento del estudio. El componente de prospectiva tuvo la asesoría del doctor Javier Medina, profesor titular de la Universidad del Valle y Jefe del Programa Nacional de Prospectiva Tecnológica e Industrial de Colciencias. La construcción de la encuesta Delphi, parte central del ejercicio de prospectiva, estuvo bajo la coordinación del doctor Rafael Popper, investigador asociado del Instituto PREST de la Universidad de Manchester, Reino Unido. El componente de vigilancia tecnológica lo dirigió la doctora Ivette Ortiz, especialista de la Empresa IALE Tecnología, de España, y Directora de su sede en Chile. En el taller con expertos, se contó con la participación del doctor Francisco Mojica, de la Universidad Externado de Colombia.

Otras personas que contribuyeron en distintos aspectos del proceso y cuyos aportes fueron fundamentales en el desarrollo de este estudio fueron: María Inés Mendoza, quien trabajó

como consultora en la primera fase del estudio y participó en la elaboración del documento base del mismo. Edwin Cristancho, funcionario de la Dirección de Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, participó en el análisis de los resultados de la encuesta Delphi. Andrés León, miembro del grupo de Biogestión, de la Universidad Nacional, actuó como *Web Master* de la encuesta Delphi *online* y contribuyó a la consolidación de los resultados. También participó en el taller de vigilancia tecnológica.

Por su parte, Nelma Sánchez, Asesora del Programa Nacional de Biotecnología (2000-2005) y Mariana Delgado, Secretaria del Programa, también dieron apoyo logístico en varias actividades.

Debemos dar un agradecimiento especial a los Consejeros de Programa Nacional de Biotecnología (2003-2005), doctores Manuel Franco, Patricia Del Portillo, Alfredo Jarma, Mario Lobo, Olga Mariño, Martha Méndez, Esperanza Morales, Francisco José Palacio, Sergio Orduz, Zaida Lentini y María Fernanda Benavides, quienes fueron fundamentales en la definición de los criterios que deberían orientar el estudio y que además contribuyeron permanentemente con sus conocimientos, críticas y sugerencias para mejorarlo y optimizar los resultados.

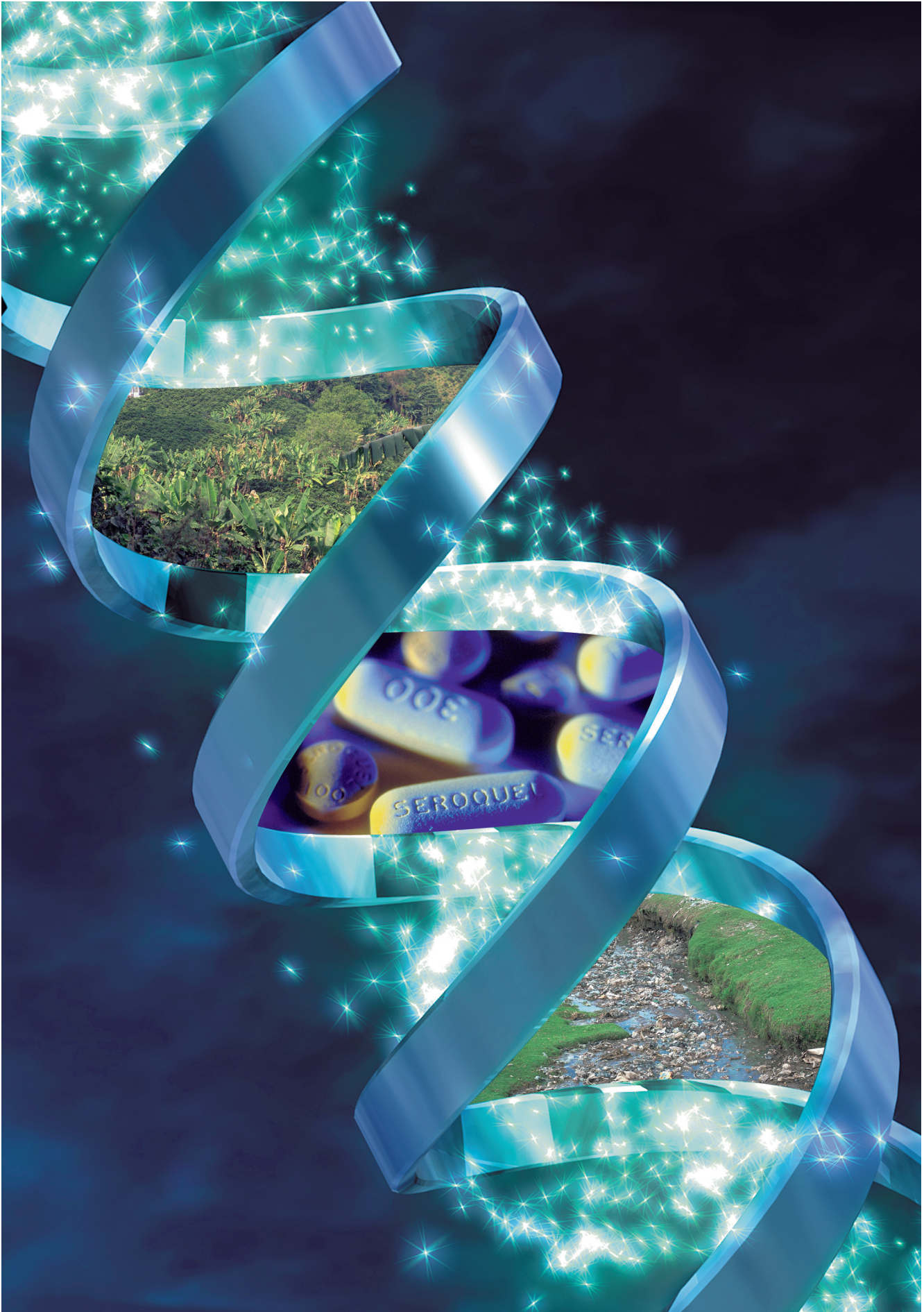
Finalmente, destacamos el apoyo del doctor Miguel Tobar, Jefe (E) del Programa Nacional de Biotecnología, y de la doctora Adriana Rosillo, asesora del mismo, quienes se comprometieron y acompañaron el proceso para lograr la publicación de los resultados de este estudio.





# Contenido

<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>Introducción</b>	<b>25</b>
<b>PARTE I ESTADO DEL ARTE</b>	
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Contexto internacional de la biotecnología</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>Contexto de la biotecnología en Colombia</b>	<b>65</b>
<b>PARTE II APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN PARA EL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO DE LA BIOTECNOLOGÍA</b>	
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<i>Benchmark</i> de políticas en biotecnología	95
<b>CAPÍTULO V</b>	
Ejercicio prospectivo de la biotecnología en Colombia 2005-2015	125
<b>CAPÍTULO VI</b>	
Ejercicio de vigilancia tecnológica	173
<b>PARTE III PRIORIDADES Y ESTRATEGIAS</b>	
<b>CAPÍTULO VII</b>	
<b>Prioridades para el desarrollo de la biotecnología     en Colombia</b>	<b>201</b>
<b>CAPÍTULO VIII</b>	
<b>Direccionamiento estratégico de la biotecnología     en Colombia</b>	<b>241</b>





## CAPÍTULO I

# Introducción

En la primera parte de este capítulo se presenta un panorama muy general de la biotecnología: su fundamento científico, algunas de sus principales aplicaciones y el contexto en el que se desarrolla, tanto en el ámbito internacional como en el nacional, con especial énfasis en sus antecedentes y desarrollo en Colombia. En los siguientes capítulos, estos tópicos serán discutidos más ampliamente.

En la segunda parte se discuten los antecedentes, los objetivos, la estructura y los componentes metodológicos del estudio realizado para el direccionamiento estratégico de la biotecnología en Colombia. El propósito de este estudio fue contribuir al establecimiento de prioridades en las políticas públicas y privadas; a la implementación de estrategias y mecanismos para fortalecer la capacidad nacional académica y empresarial, y al señalamiento de las brechas tecnológicas y de conocimiento que será necesario desarrollar o adaptar con el objetivo de *promover el desarrollo y uso de la biotecnología en el país para la generación de bienes y servicios, con el fin de contribuir a mejorar la competitividad y ampliar los mercados de la producción nacional.*

## Panorama general de la biotecnología

### La biotecnología, una tecnología impulsada por la ciencia

Aunque la biotecnología no es una ciencia en sí misma, es un área intensiva en conocimiento científico y, por lo tanto, depende de la generación y aplicación de este conocimiento. También es multidisciplinaria, pues está fundamentada en diversas disciplinas. Efectivamente, algunos de los descubrimientos que nos permiten hacer biotecnología hoy día provienen, principalmente, del aporte de ciencias básicas como la bioquímica, la biología celular y molecular y la genética, entre otras, así como de la interrelación entre ellas. La intersección de la biología celular, la bioquímica y la genética sentó las bases para el desarrollo de la biología molecular, una de las ciencias fundamentales de la biotecnología moderna.

Cuando, a mediados del siglo XIX, Gregor Mendel descubrió que las características hereditarias estaban determinadas por unidades transmitidas de una manera predecible entre generaciones, nació la idea del *gen* como unidad de la información hereditaria. Pero con la descripción que hicieron en 1953 James Watson y Francis Crick de la estructura del DNA, surgió la idea de cómo estaba almacenada la información y cómo ésta podía ser transmitida intacta. “No escapa a nuestra atención que el apareamiento que hemos postulado inmediatamente sugiere el posible mecanismo de copia del material genético”. Con estas palabras, James Watson y Francis Crick iniciaron, hace 52 años, una revolución biológica. Ahora, su descubrimiento sobre la estructura del DNA y las investigaciones de sus numerosos colegas y sucesores se han empezado a comercializar a través de la biotecnología (*The Economist*, marzo de 2003).

En un tiempo muy corto, la biotecnología ha hecho grandes avances y ha multiplicado la capacidad de desarrollar innovaciones tecnológicas en un conjunto cada vez más amplio de actividades

productivas como la agricultura, la medicina, la conservación del medio ambiente y la industria. Por esta razón, los países más desarrollados la consideran la tecnología de frontera de mayor importancia estratégica para mantener altas tasas de crecimiento económico y seguir siendo altamente competitivos en los mercados globales.

Los métodos biotecnológicos han sido utilizados por cientos de años. Esto incluye desde los procesos ancestrales de producción de vino y pan, pasando por la producción de ácidos orgánicos o antibióticos a través de procesos de fermentación —la denominada “biotecnología convencional”—, hasta llegar a la biotecnología moderna, que involucra un gran conjunto de técnicas y métodos, incluidas las técnicas de ingeniería genética y clonación, con una enorme diversidad de aplicaciones.

Existen diferentes definiciones de biotecnología. El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, por su sigla en inglés), firmado por los líderes de los gobiernos de 150 países en la Cumbre de Río sobre la Tierra, en 1992, la define como “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2003). En el Plan Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología (PNB), está definida como “cualquier técnica o conjunto de técnicas que utilizan organismos vivos o sus partes para obtener o modificar productos, para mejorar plantas o animales, o para desarrollar microorganismos con uso específico” (Colciencias, 1999). Otros la definen como “la aplicación de la ciencia y la ingeniería al uso innovador, directo o indirecto, de organismos vivos o de sus partes, en su forma natural o modificada, para la producción de bienes y servicios o para el mejoramiento de los existentes” (Ernst and Young, 2002).

Pero, independientemente de la definición que queramos adoptar, lo cierto es que ésta es una de las pocas tecnologías que se considera como verdaderamente revolucionaria, debido al impacto que tiene en casi todos los sectores industriales, y a que la vida diaria de la gente recibe su influencia, aunque de una manera imperceptible. Por esta razón, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, por su sigla en inglés), la define como “una tecnología clave para el nuevo milenio, que tiene un inmenso rango de aplicaciones en medicina, agricultura, procesamiento de alimentos, protección ambiental, minería e incluso nanoelectrónica” (United Nations Conference on Trade and Development, 2002).

Por su parte, la Comisión Europea, en su reporte sobre indicadores de ciencia y tecnología del año 2003, la considera una tecnología clave, debido al profundo impacto que puede tener en la sociedad, en la industria, en la política, en los productos y procesos, así como en la vida de cada individuo. Se entiende por tecnología clave “aquella que da inicio a otras tecnologías y puede tener efectos sobre muchos sectores industriales, con los consecuentes impactos sobre toda la economía. Ella puede ser el catalizador de una revolución tecnológica, llevando no sólo a cambios radicales en los procesos de innovación de las empresas, sino también a impactos significativos en la sociedad” (Comisión Europea, 2003).

### Aplicaciones y usos de la biotecnología

A pesar de que mundialmente se habla más de los organismos genéticamente modificados (OGM) de uso agrícola y para la alimentación, en las últimas décadas, la ingeniería genética y su aplicación en la salud han constituido el foco principal de la biotecnología moderna. Hoy en día, la mayor parte de la investigación y el desarrollo mundial en biotecnología y las aplicaciones de tecnologías de punta están en el campo de la salud. El primer producto biotecnológico aprobado para su uso

en humanos fue la insulina, que comenzó a comercializarse en los Estados Unidos en 1982. En la actualidad, hay en el mercado más de 190 drogas y vacunas, y están en proceso de aprobación más de 370 nuevos fármacos contra más de 200 enfermedades, incluyendo varios tipos de cáncer, la enfermedad de Alzheimer, enfermedades cardíacas, diabetes, esclerosis múltiple, Sida y artritis. Se espera que este número se incremente, debido a que se trata de una de las industrias más intensiva en investigación en el mundo y a que, de acuerdo con datos del año 2003, invirtió US\$18.600 millones en investigación y desarrollo (BIO, 2005). Otras áreas que se han beneficiado de la aplicación de la tecnología son la medicina forense y los sistemas de diagnóstico.

La biotecnología ha abierto también nuevas posibilidades en la agricultura, como el incremento de la eficiencia de los programas de mejoramiento genético, la mejora en la productividad de los cultivos y la producción agrícola. La transformación genética ha permitido la obtención de plantas modificadas genéticamente, que expresan una o más de las siguientes características: tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, resistencia a virus, maduración tardía, esterilidad masculina, modificación del color de las flores, cambios en la composición de los ácidos grasos y recuperación de la fertilidad. En la actualidad, se busca la producción de una nueva generación de plantas con mayor contenido nutritivo, resistentes a sequías, a suelos ácidos y a otro tipo de condiciones adversas<sup>1</sup>. Los últimos desarrollos se han enfocado a la utilización de las plantas como fábricas para la producción de medicamentos (BIO, 2005). También se cuenta con nuevos sistemas moleculares

<sup>1</sup> En el año 2004, se sembraron en el mundo cerca de 81 millones de hectáreas con plantas transgénicas. Esta cifra alcanzó los 90 millones de hectáreas en el 2005. En el 2004, el valor del mercado se calculó en US\$4.700 millones, lo cual representa el 15% de los US\$32.500 millones del mercado mundial de protección de cultivos del 2003 y el 16% de los US\$30.000 millones del mercado mundial de semillas comerciales. [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org).

de diagnóstico que pueden contribuir a mejorar el control de plagas y enfermedades de los cultivos o al diagnóstico y tratamiento de enfermedades en el sector pecuario.

Podríamos decir que la diversidad biológica es la materia prima de la biotecnología, y se propone el material genético como el medio para desarrollar un rango amplio de nuevos productos (Krattiger, 2002). El vínculo entre la biodiversidad y la biotecnología se hace cada vez más fuerte, gracias al uso de los marcadores moleculares y, más recientemente, de la genómica aplicada a su conservación y caracterización. Otro aspecto importante es la posibilidad de utilizar la diversidad genética representada en microorganismos y plantas para la reducción de la contaminación, para producir nuevos insumos agrícolas como bioplaguicidas y biofertilizantes o para la búsqueda de nuevos compuestos activos con aplicaciones en la industria farmacéutica y en la industria de alimentos, entre otras. La utilización de microorganismos y sus enzimas, ya sean éstos naturales o mejorados mediante las herramientas de la biotecnología, es la clave del éxito en estos procesos y podría representar una gran oportunidad para los países en desarrollo que ostentan una gran diversidad biológica. Esto ha llevado a las mayores empresas farmacéuticas a realizar alianzas con importantes centros de investigación (De Peña, 2003).

En el área industrial, el 5% de las ventas en productos químicos proceden de la biotecnología e incluyen alcohol, ácidos orgánicos, aminoácidos y químicos finos que representan US\$30.000 millones en ventas al año. Se espera que con mejores tecnologías de conversión, la biotecnología contribuya a transformar la biomasa de desecho en plásticos y textiles biodegradables, lo mismo que en bioetanol y biodiesel como fuentes de energía más limpia (Miller, 2003). También se trabaja en la búsqueda de enzimas de microorganismos que viven en ambientes extremos, para su aplicación

en la producción de plásticos y combustibles, entre otros (*The Economist*, 2004; BIO, 2005).

En el campo de los alimentos, los últimos desarrollos se han enfocado a la producción de una nueva generación de aceites libres de las grasas que incrementan el colesterol y que contribuyen a las enfermedades cardíacas. Otros productos biotecnológicos se desarrollan para incrementar el contenido nutricional de los alimentos: el *golden rice* (arroz dorado), por ejemplo, podría contribuir a disminuir la deficiencia de vitamina A, particularmente en los países en vías de desarrollo. Por otra parte, también se trabaja en procesos para eliminar alérgenos naturales de los alimentos, como en el caso del maní o en el incremento de compuestos con propiedades anticancerígenas como el licopeno en el tomate (Chrispeels, 2002; BIO, 2005).

La biotecnología contribuye, incluso, al desarrollo de nuevos sistemas de defensa. A partir de una fibra producida en la leche de las cabras, se obtiene, mediante procesos biotecnológicos, un material más fuerte que el acero y que sería usado en chalecos antibalas. Los científicos están modificando plantas de mostaza para que sirvan de “plantas centinela”, esto es, que advierten la presencia de armas químicas o agentes patógenos como el ántrax. Recientemente, una compañía danesa anunció que había desarrollado una planta que cambia de color cuando sus raíces detectan una mina terrestre (BIO, noviembre de 2004).

Finalmente, la nueva era que se ha abierto con la genómica marca una nueva dimensión para la biotecnología, por las posibilidades que representa para la salud humana o animal y el mejoramiento de plantas. Incluso se cree que la agricultura se beneficiará de la genómica aun antes que el sector de la salud humana. La secuencia completa de genomas ayudará a los investigadores a identificar genes cruciales y permitirá su transferencia a las

variedades locales (Crop Biotech Net, 2002). Por eso, no sorprende que las grandes empresas líderes en biotecnología produzcan, bajo el mismo techo, semillas, agroquímicos, productos veterinarios y medicamentos humanos (Biotechnology and Development Monitor, 1999).

Pero la sola secuenciación de genomas no es suficiente para determinar los genes y la función que éstos desempeñan en cada organismo. Una nueva era de investigación se abrió con este trabajo: la proteómica, o sea, el estudio de las proteínas, como un complemento importante a la genómica. Si ésta buscaba describir los genes, aquella busca elucidar el conjunto de proteínas que se expresan a partir del material genético en una célula u organismo en particular y en un momento específico. De nuevo, las investigaciones bioquímicas sobre las funciones, las interrelaciones de las proteínas y su regulación en el organismo completo entrarán a jugar un papel trascendental en esta nueva era de la biotecnología. La tarea de procesar datos obtenidos a través de la genómica y la proteómica hubiera sido imposible sin la ayuda de la informática, lo que ha convertido a la genética en una ciencia de la información. Este nuevo campo de la bioinformática es la ciencia del manejo y el análisis de la información biológica.

En síntesis, estamos ante una nueva era del desarrollo científico y tecnológico, con enormes posibilidades pero con grandes retos, particularmente para un país como Colombia. La biotecnología representa un factor crítico para la economía de los países en vías de desarrollo. De un lado, ofrece grandes oportunidades para reforzar la competitividad de sus productos tradicionales y para aprovechar los nuevos mercados que se están abriendo con sus aplicaciones pero, por otro lado, su no incorporación en los procesos productivos plantea serias amenazas, a causa de la pérdida de competitividad frente a los países que están aplicando innovaciones biotecnológicas en forma creciente (Torres, 2002).

### Contexto político en el que se desarrolla la biotecnología

El desarrollo de la biotecnología se fundamenta en la constitución de una base sólida de conocimiento científico en áreas como la biología celular y molecular, la microbiología, la bioquímica y la ingeniería, entre otras, así como en la disponibilidad de recursos humanos altamente capacitados. Pero, además, requiere una infraestructura adecuada, tanto física como financiera, y el desarrollo de los marcos regulatorios pertinentes (De Peña, 2003).

Por otra parte, el desarrollo de la biotecnología como sector económico estratégico ha requerido de la formulación de políticas específicas; el diseño de esquemas de financiamiento basados en inversión y en suministro de capital de riesgo; la creación de mecanismos institucionales para establecer vínculos entre las universidades, los centros de investigación y el sector productivo, con el fin de impulsar la comercialización de los resultados de la investigación y promover la creación de empresas y productos o servicios especializados. Las alianzas estratégicas son otro factor muy importante en el desarrollo de la biotecnología. La necesidad de compartir infraestructuras, recursos económicos, bases de datos y conocimientos ha llevado a establecer relaciones de cooperación entre empresas nacionales y grupos internacionales, así como entre el sector público y el privado.<sup>2</sup>

### Antecedentes y evolución de la biotecnología en Colombia

Las actividades para institucionalizar un programa de Ciencia y Tecnología en este campo específico se iniciaron en Colciencias en el año de 1986, cuando se creó un grupo de trabajo y se elaboraron los

<sup>2</sup> De acuerdo con Juma y Konde, estas alianzas están encaminadas a reducir los riesgos económicos en el desarrollo de un nuevo producto y a compartir información, y pueden jugar un papel fundamental en el desarrollo de capacidades tecnológicas para las instituciones y empresas de los países en desarrollo.

primeros documentos sobre un Programa Nacional de Biotecnología. Las actividades en este campo, anteriores a 1991, se adelantaban principalmente en universidades, institutos y centros de investigación, así como en algunas pocas empresas innovadoras. En general, representaban esfuerzos dispersos, poco articulados entre sí, como respuesta a necesidades e intereses particulares y específicos (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2003).

En 1991, mediante el Acuerdo número 1 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se creó el Programa Nacional de Biotecnología (PNB), como un componente del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, cuya secretaría técnica está a cargo de Colciencias. Este programa se creó como reconocimiento de la importancia estratégica de la biotecnología para el país, debido a su potencial para abordar y proponer soluciones en sectores como salud, agropecuario, alimentos y procesamiento de residuos, y como un mecanismo de coordinación y enlace de las diferentes actividades que en esta área se llevaban a cabo en el país por parte de empresas públicas y privadas, centros de investigación y universidades.

Durante los últimos años, el programa focalizó su trabajo fundamentalmente en cinco áreas:

- Apoyo a la consolidación de la comunidad de biotecnología.
- Fortalecimiento de la cooperación internacional.
- Gestión y seguimiento de proyectos.
- Definición de marcos regulatorios, particularmente en bioseguridad.
- Definiciones de política y direccionamiento estratégico de la biotecnología.

### Definiciones de política

Desde la creación del PNB, Colciencias ha venido trabajando en la formulación de políticas y en la definición de líneas de acción, de modo que éstas se adaptan a los veloces desarrollos de la

biotecnología en el ámbito mundial, respondan a las necesidades del país y nos permitan participar de las oportunidades que esta tecnología representa para Colombia.

En 1997, se establecieron las líneas de acción que determinaron las actividades del PNB y que llevaron, en 1998, a formular el Plan Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología 1999-2004 (Colciencias, 1999), enmarcado en el ejercicio de planeación estratégica realizado por Colciencias y resultado de un trabajo de consulta, convocatoria y reflexión de más de dos años. Este trabajo concluyó con la formulación de los planes estratégicos de los 11 Programas Nacionales.

### Estructura actual

El proyecto fue concebido como un instrumento de planeación para la definición de sus líneas de acción y prioridades de investigación. Este plan, que necesariamente debía servir como marco nacional e institucional de referencia para guiar las actividades de biotecnología en el país, tenía que cumplir, por su misma naturaleza, con la doble misión de ser dinámico y adaptable a los veloces desarrollos del área a nivel mundial.

En el tiempo que va transcurrido desde la formulación del Plan Estratégico del Programa, han ocurrido grandes cambios en el contexto nacional e internacional, que hacen necesaria una actualización y revisión de sus líneas estratégicas. Durante la sesión 49 del Consejo del Programa, en febrero de 2001, la Secretaría Técnica propuso discutir diversos aspectos relacionados con la definición de políticas y de nuevas estrategias. Con base en estas discusiones, el Consejo planteó la necesidad de realizar una actualización y revisión del Plan Estratégico.

A su vez, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) realizó un ejercicio de focalización que definió la biotecnología como un área estra-

tégica. Por otra parte, existía una serie de iniciativas, estudios y acciones importantes, que se habían venido planteando desde el año 2000, tales como:

- El Programa Nacional Exportador de Nuevas Tecnologías, del entonces Ministerio de Comercio Exterior (2000), que incluyó la biotecnología entre las tecnologías claves.
- La propuesta de una Política Industrial en Biotecnología, trabajo liderado por el Grupo Biotecnología, de la Universidad Nacional, y realizado conjuntamente con el hoy Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, y Colciencias (Ministerio de Desarrollo Económico *et al.*, 2001). En este documento, se concluye que, para el buen desarrollo de políticas industriales en biotecnología, es necesario formular estrategias en seis áreas principales: mercados y gestión, investigación y desarrollo, normativa y legislación, recurso humano, recursos económicos y capacidad de integración. Al mismo tiempo, se sugirió a Colciencias, a través del Consejo del Programa de Biotecnología, como el órgano regulador y coordinador del proceso.
- La iniciativa de Biocomercio del Instituto Alexander von Humboldt, que tenía como objetivo diseñar y poner en práctica mecanismos que impulsaran la inversión y el comercio de los productos y servicios de la biodiversidad (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2000). En la publicación de los resultados de esta primera fase del trabajo se hace mención a la relación estrecha entre los mercados internacionales para la biotecnología y la demanda por los biorrecursos.
- La propuesta del Ministerio del Ambiente de formular un Programa Nacional de Bioprospección Continental y Marina (Melgarejo *et al.*, 2002).

- En 2002, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt inició el estudio del Mercado Nacional de los Recursos de la Biodiversidad, estudio que se enfocó principalmente en el aprovechamiento de estos recursos, donde se muestra que la agregación de valor, principalmente a través de técnicas de biotecnología, se constituye en un factor fundamental a partir del cual se supera muchas veces el valor del recurso natural (Rodríguez, 2003).

Esto llevó al consenso de que era necesario formular una política de Estado que garantizara el desarrollo de la biotecnología como un verdadero factor de competitividad, tanto en el ámbito nacional como internacional y que, además, articulara todas estas iniciativas. Por este motivo, el DNP contrató una consultoría para la elaboración de un documento que sirviera de base para la formulación de una política nacional en biotecnología. El Consejo y la Secretaría Técnica del PNB participaron activamente en la formulación de la propuesta, que fue presentada en diferentes foros y reuniones para someterla a discusión y recoger los comentarios de los diferentes actores comprometidos con su desarrollo en el país.

Uno de los resultados de este ejercicio fue la definición de la biotecnología como un área estratégica para el desarrollo y la competitividad del país en el Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006, hacia un Estado Comunitario (Ley 812 de 2003), que por primera vez la menciona explícitamente como elemento importante en el desarrollo del país:

“Con el propósito de aprovechar las oportunidades que ofrece la biotecnología para el crecimiento, la competitividad y el desarrollo del país, se adoptará una política integral que incluya: el fortalecimiento de la capacidad científica y tecnológica nacional alrededor de proyectos estratégicos, tanto desde el punto de vista productivo, como científico; el mejoramiento de los instrumentos

de fomento de la innovación tecnológica existentes; la creación de mecanismos para promover el desarrollo y competitividad empresariales en el campo de los bienes y servicios biotecnológicos; el aumento de la capacidad nacional para mejorar y aplicar el marco legal; y el desarrollo de una estrategia para la divulgación y la comprensión de la opinión pública acerca de los beneficios y los riesgos asociados a la biotecnología”.

### Oportunidades y retos para el desarrollo de la biotecnología en Colombia

Colombia cuenta con una serie de condiciones que favorecen el desarrollo de la biotecnología en el país, entre ellas, una infraestructura básica de investigación y una amplia tradición en campos complementarios como la biología, la medicina y la agricultura, así como una muy abundante disponibilidad natural de biodiversidad y de recursos genéticos.

La biotecnología tiene mucho que ofrecer y puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria, en la sostenibilidad de la agricultura, en la salud y en la utilización y valoración de nuestra biodiversidad. Implica enormes oportunidades para países como los nuestros, que se caracterizan por su riqueza en recursos genéticos. La pregunta es, entonces: ¿por qué no hemos logrado capitalizar estas oportunidades y qué se requiere para lograrlo?

Estudios recientes y declaraciones suscritas en reuniones de carácter internacional ponen de manifiesto el potencial que tiene la biotecnología para la reducción de la pobreza en los países en desarrollo y su contribución a la seguridad alimentaria. Así mismo, señalan algunos de los problemas que estos países tienen para su adopción y desarrollo, entre otros, la necesidad de fortalecer las bases científicas y establecer su vinculación con los programas de investigación tradicional; la necesidad de inversiones considerables y de largo

plazo, y el desarrollo de los aspectos relacionados con los marcos regulatorios de propiedad intelectual y bioseguridad (UNCTAD, 2002; Trigo *et al.*, 2002; Pinstруп-Andersen, 2002; International Council for Sciences, 2003).

Al tratar de definir las estrategias necesarias para el desarrollo de la biotecnología, deberíamos partir de una clara concepción de ésta como un área, que a pesar de no ser en sí misma una ciencia ni una disciplina, es intensiva en conocimiento y, por lo tanto, requiere de los avances de diferentes disciplinas. Dado su carácter multidisciplinario y multisectorial, debe ser un componente estratégico de los sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación. De igual modo, por su potencial de generar nuevos productos y procesos, necesariamente debe responder a las necesidades del sector productivo. No se debe concebir la biotecnología como un fin, sino como un medio para contribuir a mejorar la competitividad de los sectores en los cuales tiene impacto, para ampliar los mercados de la producción y, en general, contribuir al desarrollo de los países y al bienestar de la población (De Peña, 2003).

Sin embargo, la sola disponibilidad de la tecnología no es suficiente para garantizar los resultados esperados de la biotecnología; también será necesaria una voluntad política por parte de los gobiernos para incorporarla como factor de desarrollo y competitividad y crear las condiciones necesarias para que esto se logre efectivamente. La participación de los países en desarrollo en el mercado biotecnológico mundial solamente será viable si existe un decidido compromiso político para la inversión en ciencia y tecnología. Además, se necesita mejorar el acceso a los mercados, impulsar la formación de alianzas estratégicas internacionales, desarrollar un sistema flexible de propiedad intelectual, favorecer la generación de ambientes regulatorios que faciliten la adquisición de estrategias en el área para el desarrollo industrial



y ambiental, y tener una valoración clara de los riesgos y beneficios económicos<sup>3</sup>.

### Ejercicio de direccionamiento estratégico de la biotecnología en Colombia

Tanto el Plan Estratégico del PNB como el documento “Bases para una política nacional de biotecnología” (Torres, 2002) proporcionan un marco de referencia muy importante, puesto que son la base para delinear proyectos estratégicos, desde el punto de vista científico y productivo, acordes con las necesidades y requerimientos presentes y futuros de la sociedad. Sin embargo, es preciso acabar de concretar en acciones los lineamientos propuestos en estos documentos, definir nuevas prioridades de investigación para los próximos años, y contribuir a la ejecución de proyectos y programas que respondan a las necesidades del país y a los grandes cambios que se han dado en el desarrollo de la biotecnología.

Todo lo anterior llevó al Programa Nacional de Biotecnología a proponer, en 2003, un ejercicio de direccionamiento estratégico que buscaba reunir a los distintos actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, para invitarlos a pensar nuevamente en el futuro de la biotecnología en el país. El ejercicio buscaba realizar un análisis de las tendencias mundiales sobre el tema, áreas de énfasis y requerimientos, definir las brechas tecnológicas y de conocimiento, y aprovechar su potencial con una visión de largo plazo.

#### Objetivos y estructura del ejercicio

El objetivo fundamental que orientó este ejercicio fue el siguiente: “generar un sistema dinámico, flexible y participativo que, a partir del uso integrado de diferentes herramientas de gestión y el manejo de información endógena y exógena, permitiera la formulación de estrategias claras e identificara las acciones que deberán seguirse para de-

finir el futuro a corto, mediano y largo plazo de la biotecnología en Colombia”.

La coordinación y dirección general del ejercicio estuvo a cargo del Programa Nacional de Biotecnología. El Consejo del Programa se constituyó en el *grupo núcleo de reflexión*, ya que sus miembros son expertos en las diferentes áreas de aplicación de la biotecnología y, además, está conformado por diferentes actores del sector académico y el sector productivo, y por tomadores de decisión y formuladores de política (DNP, SENA, Colciencias).

Para la ejecución del ejercicio, Colciencias realizó un convenio con la Corporación CorpoGen que, con dos consultores y el Grupo de Biogestión de la Universidad Nacional, actuó como el grupo ancla.

#### Metodología

En diciembre de 2003, se realizó un taller con el Consejo del Programa Nacional de Biotecnología, para definir los criterios que orientarían el ejercicio, el cual se realizaría en dos fases, que quedaron definidas así:

#### Primera fase: información y recomendaciones, 2003-2004

Durante esta etapa, la consulta sería semiabierta y el ejercicio tendría las siguientes características:

- Ejercicio puntual de seis meses.
- Ejercicio “semilla”, que deja un proceso armado para una fase posterior de mayor profundización.
- Elaboración de un documento de base para empezar a articular y atraer aliados potenciales.

<sup>3</sup> Juma y Konde han definido los avances en biotecnología y sus aplicaciones industriales como la nueva “bioeconomía” y proponen que, para que los países en desarrollo puedan participar efectivamente en ella, se requiere desarrollar y ajustar al menos cinco áreas estratégicas: acceso a los mercados, protección a la propiedad intelectual, regulación, evaluación de riesgos y alianzas internacionales (Juma y Conde, 2001).

- Primer paso de un proceso que deberá continuar.
- Ejercicio ambicioso y atractivo que consiga convocar y provocar la sinergia de otros programas de Colciencias y otros actores principales del país.

*Se deberían proponer:*

- Lineamientos estratégicos amplios y con una concepción abierta para retroalimentar continuamente el ejercicio.
- Acciones con una visión de largo plazo, pero con propuestas puntuales de corto plazo (asignación de recursos, aprovechamiento de lo existente).
- Mecanismos explícitos de verificación, seguimiento y monitoreo de los resultados del ejercicio.

*El ejercicio debería definir:*

- Estrategias de formación e inserción de recursos humanos (investigadores formados en el exterior).
- Estrategias de articulación, coordinación y organización de la comunidad biotecnológica.
- Estrategias para el desarrollo del país.
- Biotecnología para resolver problemas de diferentes sectores.
- Articulación con propósitos nacionales.
- Aportes desde la biotecnología a la solución de problemas y prestación de servicios al país.
- Evaluación de impacto (*ex ante* y *ex post*).

### Segunda fase: identificación de nichos de innovación 2004

En esta fase se realizaría una consulta más amplia enfocada a:

- Construcción y lanzamiento de una encuesta Delphi.
- Validación de fuentes científicas.
- Búsquedas en profundidad (artículos científicos, patentes, etc.) para la construcción de mapas tecnológicos.
- Propuestas para convocatorias futuras (proyectos compartidos).

- Acompañamiento de procesos de interés nacional y regional.

Para lograr estos objetivos, se utilizaron diferentes metodologías, como la prospectiva tecnológica, que incluyó la realización de una encuesta Delphi; la vigilancia tecnológica; un *benchmarking* (estudio comparativo) de las políticas de otros países; un análisis de los diferentes documentos elaborados sobre el contexto nacional de la biotecnología y un análisis de la biotecnología en el contexto mundial, así como talleres de convalidación de la información realizados con diferentes actores a lo largo de todo el trabajo.

### Componentes del ejercicio

A continuación, se presenta un resumen de los principales componentes del ejercicio, cuyos resultados y análisis se consignan en los diferentes capítulos de este libro. Los antecedentes y la justificación de este trabajo ya fueron discutidos en el presente capítulo.

El libro está dividido en dos partes. La primera comprende una compilación y análisis de diferentes documentos y fuentes de información que consideramos claves para tener un marco de referencia sobre el estado del arte de la biotecnología en el contexto mundial y nacional. Éstos incluyen documentos y páginas oficiales, publicaciones de estudios previos, nacionales e internacionales, e información de Internet, entre otros.

En la segunda parte, se presentan y discuten los resultados del *benchmarking* de políticas públicas, de la encuesta Delphi y del taller de vigilancia tecnológica, considerados como los componentes centrales del ejercicio. En el estudio de políticas, se retoman los documentos generados en el país en los últimos años sobre lineamientos estratégicos en biotecnología. A partir del análisis de los resultados de cada uno de los componentes y de los talleres con expertos, se realiza una propuesta

de prioridades para los diferentes sectores y se discuten los componentes estructurales, las estrategias y las acciones para el direccionamiento de la biotecnología en Colombia.

#### Contexto internacional de la biotecnología

Como uno de los elementos esenciales del estudio, se planteó la necesidad de realizar una búsqueda para obtener información de otros países, sus principales áreas de investigación y las tecnologías implementadas o generadas. Estos países se eligieron teniendo en cuenta que fueran líderes en el mundo, además de algunos de América Latina que han sido exitosos en el desarrollo de la biotecnología y que podían servir como referentes para Colombia (capítulo II).

#### Contexto nacional

El capítulo III es una síntesis y análisis de diferentes documentos relacionados con la biotecnología en Colombia (Bases para una Política Nacional de Biotecnología; Plan Nacional de Desarrollo; Prioridades para el desarrollo de la biotecnología agropecuaria en Colombia; Indicadores de biotecnología, entre otros). Esta revisión dio como resultado la consolidación del documento base del estudio, y que hace parte del informe presentado a Colciencias sobre los resultados de la primera fase (CorpoGen, 2004). Esta información fue ampliada durante la segunda fase, en donde se incluyó un análisis de su desarrollo histórico y la situación actual en Colombia.

#### Benchmarking de políticas

Por su parte, en el capítulo IV, se discuten los resultados del análisis de las estrategias de tres países líderes (Australia, Canadá y Corea) y de dos países referentes para Colombia (Chile y Argentina), con el fin de establecer puntos de comparación entre los documentos de política en biotecnología, determinar los aspectos principales de cada uno, y conocer los procesos para la elaboración y consolidación de políticas de estos países.

También se incluye el análisis de varios documentos que se han formulado en Colombia desde 1999, incluyendo el Plan Estratégico del Programa. Esto permitió tener bases de comparación y evaluar cuáles estrategias deberían implementarse en Colombia.

#### Prospectiva tecnológica

Los estudios de prospectiva se realizan para tomar acciones hoy, frente a los retos del mañana. No sólo se debe tener la información, sino que también es necesario compartirla y analizarla. Es posible que los diagnósticos no muestren todo el panorama; por esa razón, mediante la consulta a expertos, se busca determinar facetas del sector que todavía no han sido detectadas. Estas consultas se realizan mediante una encuesta Delphi, que es una de las herramientas de los estudios de prospectiva y se utiliza para consultar a múltiples expertos, de forma independiente, y así conseguir su opinión sobre un asunto determinado. Para este estudio, la encuesta Delphi se diseñó con el propósito de que sirviera de instrumento para consultar la opinión de expertos sobre los factores claves que afectan el desarrollo de la biotecnología en el país.

En el capítulo V, se presentan y se analizan los resultados de la encuesta y de un taller de expertos a quienes se les propuso el conjunto de tecnologías, focos, bienes y servicios en biotecnología, priorizados con base en los resultados de la encuesta Delphi, para que evaluaran su complejidad y pertinencia para el país. Estos resultados proporcionaron elementos para definir y priorizar acciones para el desarrollo de la biotecnología en los próximos 10 años.

#### Estudio de vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica es una manera sistemática de captura y análisis de información, y de generar conclusiones informadas. Contribuye a resolver el problema de analizar toda la informa-

ción que a diario se genera en el campo de la ciencia y la tecnología. Con este análisis, es posible desarrollar los llamados mapas tecnológicos, que permiten descubrir áreas emergentes y decadentes en un determinado campo, e identificar sus actores principales; en una palabra, proporcionar información con un valor agregado.

El capítulo VI es una síntesis de los resultados más importantes del estudio de vigilancia tecnológica. Este análisis se consideró fundamental para tener una visión de la biotecnología en el mundo. Por otra parte, la información generada permitió la construcción de mapas tecnológicos y la identificación de posibles nichos estratégicos. Además, se constituyó como otro insumo para la definición de prioridades de investigación.

### Sistema dinámico de direccionamiento estratégico

Si bien los resultados de cada uno de los componentes del ejercicio fueron analizados, incluyendo en este análisis sus interrelaciones, es en este paso donde se buscó consolidar una propuesta para el direccionamiento estratégico de la biotecnología, mediante la integración de los resultados de búsqueda, análisis y validación de la información. Con base en este análisis, se propone una priorización de áreas estratégicas y las bases para el direccionamiento de la biotecnología en Colombia (capítulos VII y VIII).

Para los autores de este trabajo, sería muy satisfactorio que los resultados y propuestas que se presentan en este libro contribuyeran efectivamente a la definición de políticas y acciones que promuevan la construcción de una capacidad nacional de investigación en biotecnología y que impulsen su desarrollo y aplicación como un verdadero factor para la competitividad nacional.

## REFERENCIAS

- CBD - Convention on Biological Diversity. [www.biodiv.org](http://www.biodiv.org)
- Bijman, J. (1999). Life Science Companies: Can they combine seeds, agrochemicals and pharmaceuticals? *Biotechnology and Development Monitor*, No. 40, pp. 14-19.
- BIO - Biotechnology Industry Organization (2004, noviembre). [www.bio.org](http://www.bio.org)
- BIO - Biotechnology Industry Organization (2005). [www.bio.org](http://www.bio.org)
- Chrispeels, M.J. (2002). Foods from genetically modified crops. San Diego Center for Molecular Agriculture. [www.sdcma.org](http://www.sdcma.org)
- COLCIENCIAS - Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (1999). Programa Nacional de Biotecnología. Plan Estratégico 1999-2004. Bogotá, Colombia.
- Comisión Europea (2003). Third European Report on Science & Technology Indicators: Towards a knowledge-based economy. Bruselas, Bélgica.
- CorpoGen (2004). Informe final de la primera fase del ejercicio de prospectiva en biotecnología. Bogotá, Colombia.
- Crop Biotech Net (2002, mayo). Agreement to share rice genome data. [www.isaaa.org/kc](http://www.isaaa.org/kc)
- DNP - Departamento Nacional de Planeación. Plan Nacional de Desarrollo. Hacia un estado comunitario (Ley 812 de 2003). [www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co)
- De Peña, M. (2003, julio). La biotecnología como factor de desarrollo para América Latina y el Caribe: Retos y oportunidades. En: Latin America and the Caribbean Regional Consultative Meeting. Global Biotechnology Forum. UNIDO. Brasil.
- Ernst & Young (2002). [www.ey.com](http://www.ey.com)
- Hodson de Jaramillo, E., Forero, C. & Carrizosa M. S. (2003). Políticas públicas en biotecnología agroalimentaria y bioseguridad en Colombia. Pp 60-71. En: *Biotecnología: Políticas públicas y aceptación social en Argentina, Brasil, Chile, Colombia. Cuba. Ecuador. España y México. Subprograma III: Biotecnología. REVYDET: Red Multimodal de Vinculación y Desarrollo Biotecnológico*. Ed. Juan M. Dellacha. Buenos Aires, Argentina, pp 129.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2000). *BIOCOMERCIO: Estrategias para el desarrollo sostenible en Colombia*. Editado por María Paula Quiceno Mesa.
- Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2003). *Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica y Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología*. (2ª Ed.). Bogotá D. C., Colombia. Instituto Humboldt.
- International Council for Sciences (2003). *New genetics, Food and agriculture: Scientific discoveries - Societal Dilemmas*. Pp. 56.
- International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)
- Juma, C. & Konde, V. (2001). *Industrial and environmental applications of biotechnology: Developing countries in a new bioeconomy. A paper prepared for the United Nations Conference on Trade and Development*. Geneva, Switzerland. Belfer Center for Science and International Affairs, Kennedy School of Government. Universidad de Harvard.

- Krattiger, A.F. (2002). Public-Private partnerships for efficient proprietary biotech management and transfer, and increased private sector investments. A briefing paper with six proposals commissioned by UNIDO. IP Strategy Today, No 4. [www.biodevelopments.org](http://www.biodevelopments.org)
- Melgarejo, L. M., Sánchez J., Reyes, C., Newmark, F., & Santos-Acevedo M. (2002). Plan nacional de bioprospección continental y marina (propuesta técnica). Cargraphics, Serie de documentos Generales INVEMAR, No. 11. Bogotá. Pp. 122.
- Miller G. (2003). Biotechnology fueling chemical, Energy innovation. BIO 2003, News Room., [www.bio.org/events](http://www.bio.org/events)
- Ministerio de Desarrollo Económico, Universidad Nacional y Colciencias (2001). Propuesta de una política industrial en biotecnología.
- Pinstrup-Andersen P. (2002). More Research and Better Policies are Essential for Achieving the World Food Summit Goal. World Food Summit: Five Years Later. Rome, Italy. International Food Policy Research Institute. Washington, DC. [www.ifpri.org](http://www.ifpri.org)
- Rodríguez, R.M. (2003, abril). Estudios de mercados de la biodiversidad. Informe final presentado al Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- The Economist. Survey: Biotechnology, Climbing the helical staircase (2003, marzo 27). From The Economist print edition.
- The Economist. Sea of dreams (2004, mayo 1) From The Economist print edition.
- Torres, R. (2002). Bases para una política nacional de biotecnología. Informe final presentado al Departamento Nacional de Planeación - DNP, Dirección de Desarrollo Agrario. Bogotá.
- Trigo E.J., Traxler G., Prey C.E., & Echeverría R. G. (2002) Agricultural Biotechnology and Rural Development in Latin America and the Caribbean: Implications for IBD Leading, pp 71.
- United Nations. Conference on Trade and Development (2002). Key issues in biotechnology. UNCTAD/ITEB/10. United Nations, New York and Geneva.

PARTE I

# Estado del arte





## CAPÍTULO II

# Contexto internacional de la biotecnología

### Introducción

Desde hace unas décadas, el mundo, en especial los países industrializados, ha identificado la biotecnología como un área estratégica para el desarrollo, crecimiento productivo y competitividad. Algunos la definen como el conjunto de aplicaciones científicas usadas en diferentes sectores, que implican el uso de organismos vivos o sus partes para proveer nuevos métodos de producción, nuevos productos y nuevas formas de mejorar la calidad de vida de las sociedades (Industry Canada, 1998). Aunque desde hace siglos la ingeniería genética ha sido utilizada por el hombre, ha aumentado el potencial de sus técnicas. Su habilidad para transformar la vida por sí sola ha generado nuevos productos y servicios que la han clasificado como una tecnología revolucionaria, con los mismos impactos sociales que la revolución en comunicaciones e información, y es un ejemplo claro de una tecnología basada en ciencia (Juma & Konde, 2001; European Commission, 2003). El documento “Bases para una política nacional de biotecnología” (Torres, 2002) considera que la nueva generación de biotecnologías es posible gracias a la fusión de diversos campos del conocimiento, como técnicas en nuevos materiales, informática y biología molecular, las cuales anteriormente no observaban un patrón de desarrollo conjunto. Desde el punto de vista científico, estos avances consolidan la tendencia a interpretar y manejar la biodiversidad como un *pool* genético, y desde el punto de vista económico crean nuevos mercados para los recursos genéticos, como genes, material genético y su información asociada. Para el direccionamiento estratégico de la Biotecnología en Colombia, se realizó una revisión de los principales desarrollos en investigación y productos en el mercado mundial, estudios de prospectiva de algunos sectores, estudios de percepción pública con diferentes sociedades y actores, así como la situación de la biotecnología en países desarrollados y de referencia para Colombia. Los países seleccionados fueron Chile, Argentina, Canadá, Francia y Japón, por la calidad de la información y por sus logros en el campo de la biotecnología.

## Desarrollo científico y tecnológico

### Sector agropecuario

En el campo agrícola, la biotecnología ha sido utilizada desde hace 10.000 años. Desde entonces, el hombre ha modificado las plantas y animales para su beneficio, al hacer selección de las características requeridas para su cultivo y domesticación. En los últimos años, con la introducción a nivel comercial de los cultivos transgénicos (1996), se ha generado gran controversia sobre su seguridad e impacto. Su utilización tiene un gran potencial en lo que se refiere a una mayor producción de alimento, la protección del medio ambiente y la mejor calidad de los productos. La proyección demográfica para el año 2020 es un aumento de 1.200 millones de personas y, en este sentido, los desarrollos en biotecnología agrícola, unidos a otros factores políticos, pueden contribuir a la mayor productividad de las cosechas por mejoras en el rendimiento, en el valor nutritivo de los alimentos y la disminución en el costo de los mismos, siendo todo esto especialmente importante para los países en desarrollo (Díaz-Bonilla & Robinson, 2002; Pinstrup-Anderson, 2002; UNCTAD, 2002; Chassy, 2003; Crawford, 2003; European Commission, 2003; Penn, 2003; *The Economist*, 2003).

En el área agrícola, la micropropagación se ha convertido en herramienta esencial para la propagación comercial de plantas, producción de plantas libres de patógenos y conservación de especies en peligro de extinción, entre otros. En este sector, se desarrolla, también, una gran gama de productos que se utilizan como biofertilizantes y bioplaguicidas. En cuanto a la producción de plantas transgénicas, en los últimos años, los avances en biotecnología han hecho posible la transferencia de genes seleccionados a algunos de los principales cultivos alimenticios. Los primeros genes integrados a especies cultivadas suministran resistencia a herbicidas, o a algunas plagas o enfermedades. Después de casi una década de la primera comercialización de cultivos transgénicos,

la adopción de estos es global y llega a 81,1 millones de hectáreas sembradas, principalmente, en cuatro cultivos (James, 2004).

Además del trabajo realizado en estos cultivos, en la actualidad, el sector agrícola desarrolla flores, frutales y forestales modificados genéticamente. En la industria forestal, se trabaja en productos como pulpa para papel y madera, buscando especialmente mejoras en crecimiento y calidad, así como maderas más útiles. El objetivo principal de la investigación en forestales es la reducción de lignina en la madera y el aumento en celulosa para la industria del papel. Adicionalmente, se trabaja en la introducción de genes derivados de *Bacillus thuringiensis* (Bt) para la resistencia a plagas. En flores, se desarrollan productos con nuevos colores y aumento del tiempo de duración en florero.

En cuanto al sector pecuario, la clonación de animales ofrece nuevas posibilidades en el mejoramiento animal y la conservación de recursos genéticos animales; además, sirve como herramienta de investigación y entrenamiento científico. Las aplicaciones de los animales transgénicos está encaminada hacia la producción animal, producción de nuevas razas, incluyendo un mayor crecimiento de los individuos, reducción de lactosa en la leche, resistencia a enfermedades y producción de enzimas para procesamiento de alimentos para animales. En este campo, se encuentran también los modificadores metabólicos, que tienen el efecto general de mejorar la eficiencia productiva, la composición corporal en animales en crecimiento y aumentar el rendimiento de leche. El primer producto en este campo aprobado en los Estados Unidos fue la somatotropina bovina recombinante (STb) para la industria lechera; hoy en día, se utiliza en 19 países. Así mismo, se produce somatotropina porcina (STp), que se utiliza en 14 países (Etherton, 2003). La ingeniería genética ha hecho posible producir interferón y hormonas de crecimiento para bovinos, porcinos y aves. También se están produciendo

do (aún en evaluación para permiso de comercialización) proteínas terapéuticas en animales transgénicos (cabras y vacunos), llamados “biofábricas” (*The Economist*, 2004a).

### Sector salud humana

El cambio más dramático producido por la biotecnología en los últimos años ha sido en el sector farmacéutico. La producción e investigación han cambiado en este sector debido al impacto de la biotecnología, especialmente por la utilización de dos de las más comunes plataformas de tecnología: el análisis de proteínas –proteómica– y el del DNA –genómica–. A principios de 1990, el 32% de las patentes del sector farmacéutico correspondían a desarrollos biotecnológicos, número que se incrementó en cerca del 40% en pocos años. Esta influencia es más fuerte en las farmacéuticas de los Estados Unidos, seguida por las del Reino Unido y Japón.

En el sector de la salud, los productos de la biotecnología ofrecen la posibilidad de pruebas de diagnóstico más rápidas y exactas; utilización de nuevos microorganismos; cultivos de células animales y humanas; posibles aplicaciones de la nanotecnología en investigación biomédica; terapias con menores efectos secundarios; descubrimiento de productos naturales, como antibióticos para uso terapéutico; uso de biopolímeros como dispositivos médicos; producción y reemplazo de proteínas faltantes, como la insulina; uso de genes para el tratamiento de enfermedades; desarrollo de citoquinas para modular el sistema inmune; humanización de órganos animales para xenotransplante; producción de proteínas regenerativas, como factores de crecimiento, y desarrollo de nuevas vacunas más seguras, así como de sistemas de aplicación de las mismas (*Scientific American*, 2002; UNCTAD, 2002; *The Economist*, 2003).

En este campo, uno de los más desarrollados en biotecnología, se han realizado varios estudios de

evaluación del sector y sus desarrollos. El estudio prospectivo de la Organización Mundial de la Salud y la Universidad de Toronto en Canadá “Top 10 Biotechnologies for Improving Health in Developing Countries” (Daar *et al.*, 2003), cuyo objetivo era identificar las 10 biotecnologías más promisorias en los próximos 5 a 10 años para la mejora de la salud en países en desarrollo, definió la biotecnología como “la aplicación de principios de ciencia e ingeniería para procesar materiales procedentes de agentes biológicos, con el fin de proveer bienes y servicios”. Los resultados de este ejercicio demuestran la importancia de la biotecnología para dar solución a los problemas de la salud prevalentes en las naciones en desarrollo. Estos resultados, retomados en el proyecto Millenium de las Naciones Unidas contra el hambre y la pobreza, se enumeran a continuación, en orden de importancia:

- Tecnologías moleculares que permitan el desarrollo de sistemas de diagnóstico simples y accesibles para diferentes enfermedades infecciosas: diagnóstico molecular.
- Tecnologías recombinantes para el desarrollo de vacunas para enfermedades infecciosas: vacunas recombinantes.
- Tecnologías para hacer más eficientes los sistemas de aplicación y distribución de medicinas y vacunas.
- Tecnología para el mejoramiento del ambiente: biorremediación, saneamiento.
- Secuenciación de genomas de patógenos con el fin de entender su biología e identificar nuevos antimicrobianos.
- Protección femenina controlada contra enfermedades transmitidas sexualmente.
- Bioinformática para identificar “blancos” para medicamentos y estudiar las interacciones patógeno-hospedero.
- Cultivos genéticamente modificados con mayor valor nutritivo.
- Tecnología del DNA recombinante para desarrollar productos terapéuticos.

- Química combinatoria dedicada al descubrimiento de nuevos medicamentos.

En 2004, las mismas instituciones (Thorsteinsdóttir *et al.*, 2004) realizaron un estudio de *benchmarking* en siete países en desarrollo: Cuba, Suráfrica, Corea del Sur, India, Egipto, China y Brasil. Estos países fueron elegidos por considerarse exitosos en su desarrollo biotecnológico aplicado a la salud. Los autores realizaron un análisis comparativo entre ellos y con países desarrollados, e identificaron las estrategias que los llevaron al éxito alcanzado en este campo:

- A pesar de sus limitaciones en recursos, estos países se han focalizado en el desarrollo de productos para resolver problemas locales. Suráfrica definió priorizar sus investigaciones en VIH/Sida, para el desarrollo de una vacuna; Egipto enfatizó su desarrollo en la producción de insulina transgénica para su abastecimiento, con el fin de no depender de la importada; Cuba desarrolló la primera y única vacuna para meningitis B; India produce la vacuna para hepatitis B a más bajo costo que la de naciones desarrolladas.
- El éxito de estas naciones se identifica en diferentes formas: Cuba, en innovación; Egipto, en el licenciamiento exitoso de tecnología ya existente, y Corea del Sur y China, en el incremento del conocimiento a través de la investigación básica.
- Todas las naciones de este estudio tienen relativamente buenos sistemas educativos, por lo menos para la mayor parte de su población.
- En los inicios de la biotecnología moderna, a principios de los 80, los gobiernos impulsaron adecuadamente su desarrollo. Definieron políticas claras; destinaron fondos para I&D, reconociendo la importancia de la investigación; definieron estrategias para evitar la fuga de cerebros, y crearon los incentivos necesarios y las normas adecuadas.

- En los casos estudiados, es común la presencia de líderes en los procesos.

– Focalización en nichos particulares: el de las vacunas preventivas es uno de ellos (Cuba, Suráfrica), microarreglos/*biochips* y bioinformática (Corea del Sur).

- Generación y utilización de vínculos necesarios para innovación.

- Creación de empresas privadas.

– La legislación en patentes ha tenido un papel importante para el desarrollo del sector privado en biotecnología en salud. Todas las naciones del estudio iniciaron su desarrollo en este campo bajo ambientes indulgentes en cuanto a patentamiento, lo que les proporcionó la posibilidad de hacer ingeniería reversa de tecnologías preexistentes y de productos de marca, para la creación de productos genéricos de bajo costo. En la India, en el pasado, la ley únicamente permitía patentar procesos para productos en salud. Esta situación permitió desarrollar una fuerte industria farmacéutica, con alta capacidad de producción de manufacturas genéricas y procesos de innovación costo-efectivos. Actualmente, con la adherencia al Acuerdo de Comercio y Aspectos Relacionados de Propiedad Intelectual (ADPIC) a la Organización Mundial del Comercio (OMC), los países que aún no han construido una capacidad de innovación en biotecnología en salud pueden encontrar más dificultades para el éxito en este campo.

El Institute for the Future, de la Universidad de Harvard, realizó un estudio en 2003 sobre las tecnologías asociadas a la medicina. Sus resultados identificaron claramente la alta capacidad del sistema de salud para integrar y adoptar nuevas tecnologías en servicios y en farmacéuticos. Se identificaron las tecnologías más interesantes que serán integradas:

- Diseño de drogas (uso de computadores para diseñar drogas con blancos específicos – receptores).
- Avances en tecnologías de imágenes.
- Cirugías con mínima invasividad (herramientas miniaturizadas, imágenes digitales y catéteres vasculares).
- Mapeo genético.
- Terapia génica.
- Vacunas (simplificando procesos de aplicación y dirigiendo su acción hacia blancos específicos).
- Sangre artificial (hemoglobina recombinante).
- Xenotransplantes.

En el campo de la salud, las principales aplicaciones de la bioinformática se encuentran en el desarrollo de software y el manejo de bases de datos y de modelos de simulación que permiten la interpretación de datos. El objetivo de muchas de las compañías en este sector es proveer servicios y consultorías, especialmente a empresas farmacéuticas, para el desarrollo de nuevos productos, aunque esta tecnología es transversal a todos los sectores (European Commission, 2003).

### Sector ambiental

Además de las aplicaciones en los otros sectores, que influyen directamente en el medio ambiente, como la producción de procesos industriales más limpios, producción de energías alternativas y descomposición de desechos, entre otros, la aplicación de la biotecnología en medio ambiente ha sido comparativamente baja. En la actualidad, la biotecnología provee los medios para un desarrollo sostenible mediante una innovación permanente, la mejoría y el uso de tecnologías “limpias” tendientes a introducir cambios fundamentales en los niveles de contaminación y utilización de los recursos naturales. Adicionalmente, en el sector industrial, los desarrollos están dirigidos a la mejora en procesos, a la producción de sistemas ambientalmente amigables, biorremediación y utilización de biomasa para la producción de energía

renovable (biodiesel) (OECD, 2001; Miller, 2003; European Commission, 2003).

En términos generales, la biotecnología puede ser utilizada para evaluar el estado de los ecosistemas, transformar contaminantes en sustancias no tóxicas, generar materiales biodegradables a partir de recursos renovables, y desarrollar procesos de manufactura y manejo de desechos ambientalmente seguros. Los investigadores exploran propuestas biotecnológicas para la solución de problemas en muchas áreas del manejo ambiental y aseguramiento de la calidad, tales como la restauración ecológica, detección de contaminantes, monitoreo, remediación, evaluación de toxicidad, biosensores y conversión de basuras en energía (OECD, 2001, Juma & Konde, 2002; Clarke, 2003).

La biorremediación tiene el potencial de restaurar ambientes contaminados, aunque su implementación se ha visto limitada por la falta de conocimiento acerca de los factores que controlan el crecimiento y metabolismo de los microorganismos. En los últimos años, las nuevas técnicas de biología molecular, especialmente la secuencia de los genomas de estos microorganismos han permitido descifrar algunas rutas metabólicas y desarrollar modelos predictivos, de tal forma que puedan ser utilizados en hábitats determinados (Lovley, 2003).

A través de la exploración de la biodiversidad con fines comerciales (bioprospección), se ha logrado la valoración de los recursos, protección de zonas silvestres y financiamiento de actividades de conservación (Cabrera, 2004; Malpica, 2004; Mathur, *et al.*, 2004).

### Aplicaciones industriales

Cada vez más, los sectores industriales se han venido dando cuenta de la importancia del desarrollo sostenible y, a la vez, del gran potencial de la biotecnología para lograrlo. La biotecnología apli-

cada a la industria puede mejorar los procesos, hacerlos más amigables ambientalmente y disminuir los costos de capital y de operación. En este sentido, se desarrollan los productos y procesos que buscan impulsar la biotecnología en este sector. Aunque las aplicaciones en este campo han demostrado en su mayoría ser amigables para el medio ambiente, el resultado en términos de competitividad económica es la fuerza que lleva a la toma de decisión de su uso. La innovación en procesos, con el único fin de su comportamiento frente al ambiente, no es suficiente incentivo para que las empresas los utilicen. Esta debe llevar a la producción de mejores productos, con ventajas económicas que hagan que los tomadores de decisión, dentro de las empresas, apliquen procedimientos ecológicamente amigables e innovadores. Sin embargo, el balance de prioridades está afectado por la regulación ambiental (OECD, 2001; Juma & Konde, 2002; European Commission, 2003; Miller, 2003; *The Economist*, 2003).

Las aplicaciones de la biotecnología en la industria se pueden agrupar en dos clases: las que buscan reemplazar la materia prima derivada de combustible fósil por materia derivada de biomasa, y las que buscan reemplazar procesos convencionales no biológicos por otros basados en sistemas biológicos como células y enzimas, utilizadas como reactivos o para catálisis. En el primer grupo, se incluye la producción de materiales derivados de almidón a partir de maíz, utilización de cultivos para la producción de químicos como ácido láctico, lisina, ácido cítrico, producción en plantas de plásticos biodegradables, como el polihidroxialcanoato - PHA (Monsanto); producción de ácido polihidroxibutanoico en canola, que compete con el polipropileno (Metabolix); producción de polilactidas (plástico biodegradable) a partir de ácido láctico producto de la fermentación de maíz (Cargill Dow Polymers); producción de 1,3 propanediol - PDO, a partir de glucosa (Genencor y DuPont); producción de bioetanol (combustible líquido) a partir de materia vegetal (Bra-

sil, Estados Unidos, Canadá y Colombia, entre otros), y utilización de plantas transgénicas para la producción de proteínas, enzimas, ácidos grasos y aceites a nivel comercial, las denominadas biofábricas (OECD, 2001; Juma & Konde, 2002; *The Economist*, 2003).

En bioprocesos, aunque desde 1950 se han utilizado las enzimas a escala industrial, no fue sino hasta hace unos años que se reconoció su importante papel en biocatálisis en la industria de química fina. El potencial por descubrir es aún muy grande, en especial cuando casi el 99% de los microorganismos no han sido estudiados. Se buscan nuevas enzimas diseñando o induciendo mutaciones y recombinaciones, y seleccionándolas por sus propiedades mejoradas. La combinación de las dos técnicas lleva a la generación de microorganismos capaces de producir gran variedad de productos nuevos y ya existentes, para los cuales antes solo se utilizaban rutas químicas. Un ejemplo en este tema es la producción de lisina, aditivo al alimento animal, que antes era producida convencionalmente por fermentación con alta producción de desechos, y ahora es producida mediante ingeniería genética a menor costo (OECD, 2001; Juma & Konde, 2002; Miller, 2003).

En el área de alimentos, al inicio de la década de los 90, las aplicaciones de la biotecnología moderna incluían métodos biotecnológicos de pruebas y controles, bioconversión de almidón a productos edulcorantes, saborizantes y productos para destacar el sabor, procesamiento de jugos de frutas, aminoácidos y otros nutrientes especiales, pigmentos y vitaminas de microalgas, nuevos alimentos producto de la fermentación, enzimas para producción de quesos, productos lácteos libres de lactosa e híbridos de levaduras. Más recientemente, la modificación de los organismos iniciales, de los cuales derivan los alimentos, permite el mejoramiento de las propiedades organolépticas y el tiempo de permanencia en estante de productos cárnicos y lácticos, así como mejores

tasas de fermentación que facilitan la mecanización de los procesos. Así mismo, se están aplicando técnicas moleculares muy exactas, sensibles y reproducibles para diagnóstico y control de calidad en alimentos (Juma & Konde, 2002; European Commission, 2003).

### Productos y mercados

Desde sus inicios, la industria biotecnológica ha tenido un crecimiento exponencial, duplicando su tamaño entre 1993 (US\$8.000 millones en ingresos) y 1999 (US\$20.000 millones) (Roca, 2004). La utilización de técnicas biotecnológicas y los productos y procesos desarrollados tienen, adicionalmente a su uso en investigación básica o como técnicas de utilidad general, aplicación específica en los diversos campos de la producción. En la actualidad, la industria de la biotecnología participa en casi todos los campos de la actividad económica, incluyendo fármacos y productos para aplicaciones en los sectores de salud, forestal, industrial, cosmético, acuícola, agrícola y ambiental, entre otros (Miller, 2003).

El mercado de la biotecnología moderna se comercializa actualmente en el mundo a través de los mercados tradicionales de las industrias, en especial la farmacéutica, incluyendo diagnósticos para el cuidado de la salud humana y animal, la medicina herbal y nutracéuticos, los cosméticos y productos para el cuidado personal, así como la industria agropecuaria y la industria de enzimas. Recientemente, se está dando paso a mercados emergentes para distintas formas de materiales genéticos, bases de información, software especializado, y otros insumos semielaborados para la producción de bienes y de servicios biotecnológicos (Juma & Konde, 2002; European Commission, 2003).

De acuerdo con el informe sobre la industria de la biotecnología realizado por Ernst & Young para 2003, las 1.473 compañías de biotecnología

en los Estados Unidos atrajeron inversiones nuevas por US\$14.400 millones (dos tercios más que en 2002). En Asia, el sector biotecnológico está creciendo rápidamente, con 667 compañías en la región Asia-Pacífico, con *clusters* desarrollados en Australia, India, China, Singapur y Japón. En Europa, la situación no es buena comparativamente con el año 2002 ni con sus competidores (*The Economist*, 2004c).

Hoy en día, la industria de la biotecnología reúne en el mundo a más de 4.000 compañías. Los países y regiones que lideran el proceso son Estados Unidos, Canadá, Europa, Australia, Nueva Zelanda y Asia. La industria ha registrado enormes avances en los últimos años en investigación, desarrollo y fabricación orientados a productos. Entre las tendencias destacables que afectan a la industria, se incluye la enorme competencia entre estados, regiones y países para atraer a las compañías de biotecnología y a las inversiones relacionadas. Gobiernos nacionales y regionales emplean todos los medios posibles para ofrecer propuestas de incentivos y garantizar que existen todos los requerimientos de infraestructura necesarios. Igualmente, estos mismos gobiernos han tomado medidas para hacer más eficientes sus respectivos marcos reguladores (Roca, 2004).

### Sector agropecuario

En términos de mercado, se considera que “el mercado de la biotecnología agrícola asciende a cerca de US\$62.000 millones, o aproximadamente 11% del mercado agrícola total, de US\$661.000 millones. Debido a un crecimiento muy paulatino de la aceptación pública por preocupaciones de seguridad ambiental, además de significativos ahorros en costos respecto de la agricultura convencional, el crecimiento de este mercado ha sido apenas moderado (cerca de 6% en los Estados Unidos). Las señales indican creciente aceptación alrededor del mundo, lo que significa la expectativa de un buen potencial a largo plazo. Las aplicaciones de la biotecnología a la agricultura se están

extendiendo y se desarrolla una base de conocimientos y plataformas de tecnología” (Biotechnology Center of Excellence Corporation, 2003).

En 2004, el crecimiento del área sembrada en cultivos transgénicos fue 20% superior al de 2003. De los 14 países líderes en la siembra de estos cultivos, nueve son países en desarrollo y cinco desarrollados. En orden de número de hectáreas (Ha) sembradas, tenemos a: Estados Unidos en primer lugar, seguido por Argentina, Canadá, Brasil, China, Paraguay, India, Suráfrica, Uruguay, Australia, Rumania, México, España y Filipinas. India tiene el más alto porcentaje de incremento en área cultivada (400%) en el año 2004 con relación a la de 2003; el incremento fue de aproximadamente 100.000 Ha en 2003 a 500.000 Ha en 2004 de algodón Bt con resistencia a lepidópteros. El incremento del área cultivada en los otros países fue, respectivamente: Uruguay, 200%; Australia, 100%; Brasil, 66%; China, 32%; Suráfrica, 25%; Canadá, 23%; Argentina, 17%, y Estados Unidos, 11%. Los principales cultivos sembrados son soya, algodón, maíz y canola (James, 2004).

En 2003, el valor global del total de la producción de los cultivos genéticamente modificados (CGM) fue estimado en US\$44.000 millones. Ese año, los beneficios económicos netos que recibieron los agricultores en Estados Unidos fueron estimados en US\$1.900 millones, y los de Argentina (2001-02) en US\$1.700 millones. Los datos a diciembre de 2004 indican que el valor de los cultivos transgénicos llega en el mundo a US\$44.000 millones entre 2003 y 2004, principalmente en cinco países que poseen el 98% de las hectáreas sembradas (Canadá, Estados Unidos, Argentina, China y Brasil). En 2004, el mercado global de la biotecnología fue de US\$4.700 millones, esto es, el 15% de los US\$32.500 millones del mercado global de protección de cultivos y el 16% de los US\$30.000 millones del mercado global de semillas comerciales en 2003. Este valor del mercado de los cultivos bio-

tecnológicos está basado en el precio de venta de la semilla más la tecnología que se aplica.

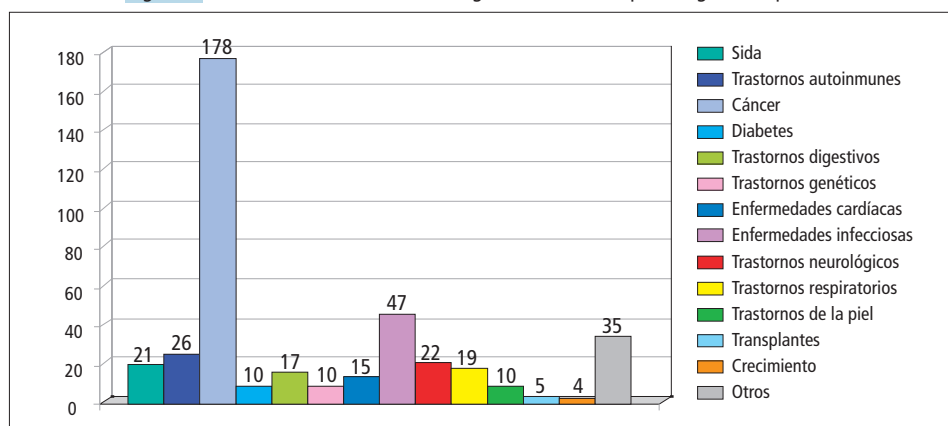
El valor acumulado global por los nueve años (1996-2004), desde la primera comercialización, fue de US\$24.000 millones. Sesenta y tres países desarrollan, en alguna de sus fases (campo, invernadero o laboratorio), experimentos con fines de evaluación en campo o aprobación para producción comercial. Muchas variedades han sido aprobadas, y podrán pasar de estudios confinados a producción comercial muy rápidamente. China tiene proyectado un potencial de ganancias de US\$5.000 millones en 2010 (US\$1.000 millones en algodón Bt y US\$4.000 millones en arroz Bt, si éste es aprobado a corto plazo). Un estudio global de economistas australianos en granos, semillas oleaginosas, frutas y cereales biotecnológicos, proyecta un potencial global de ganancia de US\$210.000 millones para 2015. La proyección está basada en la posibilidad de adopción total global con 10% de ganancias en productividad en los países de altos y medios ingresos, y 20% en los de bajos ingresos (Ford Runge & Ryan, 2004, James, 2004; Díaz-Bonilla & Robinson, 2002).

### Sector salud

El estudio de Biotechnology Center of Excellence Corporation (2003) considera que el mercado mundial de la industria farmacéutica, incluyendo fármacos, vacunas y diagnóstico para el cuidado de la salud humana y animal “asciende a US\$44.000 millones. Su potencial crece a gran velocidad debido a su tecnificación, y que nuevas tecnologías están transformando la industria. La ingeniería genética, la genómica, la proteómica, la metabolómica, la química combinatoria y la nanotecnología, la selección de alto rendimiento y la bioinformática, todas ellas aportan nuevas estrategias al descubrimiento de fármacos y ayudan a abastecer el acervo de proyectos de nuevos productos, que ya estaba perdiendo vitalidad (Biotechnology Center of Excellence Corporation, 2003).



Figura 1. Número de medicinas biotecnológicas en desarrollo por categoría terapéutica



Adaptado de *The Economist*, 2003, por De Peña, 2004

Así mismo, el estudio mencionado considera que el mercado mundial de la industria de la medicina herbal y nutracéuticos asciende a la suma de US\$128.000 millones. Es el mercado más grande de todos los analizados en este estudio y, además, registra un crecimiento considerable. En los Estados Unidos, las ventas de estos productos aumentan entre 5% y 10% al año. Las tendencias demográficas favorables, en cuanto a la expansión de los grupos de adultos jóvenes y personas mayores de 50 años, crean una demanda de productos de desempeño por parte de los grupos de menor edad, y de productos para estar en forma por parte de los grupos en proceso de envejecimiento (Biotechnology Center of Excellence Corporation, 2003).

El Biotechnology Center of Excellence Corporation calcula que el mercado de cosméticos y productos para el cuidado personal asciende aproximadamente a US\$10.000 millones. La demografía ha impulsado el rápido crecimiento de esta área. Por ejemplo, en los Estados Unidos, se registra un aumento significativo de la población en envejecimiento y este hecho estimula el crecimiento del sector de productos para la protección de la piel y contra el envejecimiento. Este sector, que registra un aumento de 8% anual, también se be-

nefia del creciente interés público en los productos naturales. Por ejemplo, para el año 2005, el mercado mundial de extractos botánicos se calcula en US\$1.300 millones de dólares.

El mercado de la bioinformática es una industria con un valor de US\$1.100 millones y con un énfasis en bases de datos y software asociado de investigación genómica y proteómica para la recolección, organización, recuperación, análisis y visualización de datos. Sus aplicaciones se centran, más que todo, en el área de descubrimiento de fármacos, aunque también abarcan el descubrimiento de productos naturales y cualesquiera aplicaciones de investigación o diagnóstico que den origen a enormes cantidades de datos de laboratorio o clínicos complejos. El campo de la informática crece a un ritmo de 33,5% anual, impulsado por avances en bioconductores y microconjuntos, los cuales permiten realizar decenas de miles de análisis en un solo experimento. La robótica y los microfluidos, que automatizan estos experimentos, también influyen en este crecimiento, como lo hacen el hardware y el software de la computación, los cuales posibilitan el manejo ágil de cantidades enormes de datos (Biotechnology Center of Excellence Corporation, 2003).

### Aplicaciones industriales

La evolución de los mercados para productos de la biotecnología en el sector industrial es difícil de predecir. Su escenario se encuentra dominado por varios nichos de mercados en un amplio rango de subsectores, adicionalmente a los lazos de éstos con los sectores agrícolas, de salud e industria en general. Sin embargo, es claro que el mercado está en expansión, especialmente en los campos de enzimas, aditivos para alimentos, aminoácidos y vitaminas, así como en bioplásticos y biocombustibles (Juma & Konde, 2002).

Para el caso del mercado mundial de la industria de enzimas industriales, el estudio de Biotechnology Center of Excellence Corporation considera que “el mercado para enzimas industriales, con aplicaciones como procesamiento de alimentos, detergentes y limpiadores, textiles, cueros y pieles, pulpa y papel y fabricación química, se tasa en US\$1.700 millones. Debido a una gama más amplia de aplicaciones, la conservación resultante de energía y la menor contaminación, este mercado crece con rapidez (10% anual). La eficiencia del empleo de enzimas se refleja en un menor volumen y costo de materias primas empleadas en producción, menor número de subproductos, y menos exigencias de la reglamentación vigente respecto de las operaciones fabriles”.

En el sector industrial se busca el desarrollo de una gran gama de productos, a partir de la identificación, clonación e inserción en microorganismos de genes obtenidos de células bacterianas, vegetales y animales, para la producción de químicos y otras moléculas útiles en la industria. Estos desarrollos se inician con estudios de bioprospección, principalmente en hábitats extremos (profundidades oceánicas, termales, desiertos, lagos salados y zonas de bajas temperaturas). Son desarrollados por compañías como Diversa (San Diego), y el Instituto para Energías Alternativas (Maryland), y terminan con la investigación de

rutas metabólicas para la definición del proceso de la producción de la proteína requerida (*The Economist*, 2003, 2004b; Miller, 2003).

Como ya se mencionó, en el sector industrial, el 5% de las ventas en productos químicos procede de la biotecnología e incluye alcohol, ácidos orgánicos, aminoácidos y químicos finos que representan US\$30.000 millones de ventas al año (Miller, 2003). Compañías como Metabolic Explorer (Clermont-Ferrand, Francia) producen metionina como suplemento alimenticio en alimentos para animales, con un mercado mundial de US\$1.440 millones al año. Se espera que con mejores tecnologías de conversión, la biotecnología pueda contribuir a transformar la biomasa en etanol, como fuente de energía más limpia (Miller, 2003; *The Economist*, 2004b).

### La biotecnología en algunos países: estudios de caso

#### Canadá

De acuerdo con el documento de Industry Canada (LSB – IC, 2004), en el área de la biotecnología, en el año 2001, Canadá generó 11,897 empleos en 375 empresas biotecnológicas, con ingresos de CA\$3.600 millones y CA\$1.300 millones, utilizados en investigación y desarrollo (I&D) para esta área. En 2003, el número de empresas había aumentado a 470 (LSB-IC, 2003).

De acuerdo con LSB-IC (2004) las empresas biotecnológicas se clasifican en siete sectores: procesamiento de alimentos, bioinformática, acuicultura, medio ambiente, recursos naturales, biotecnología agrícola y salud humana. El sector predominante en Canadá es salud humana, al cual pertenece el 52% de las empresas (37% terapéuticos y 15% diagnósticos) y utiliza el 88% del gasto en I&D. Es seguido por agricultura, con el 17% de las empresas en este sector, y procesamiento de alimentos, con el 13%. Estos dos últimos sectores comparten un 8% del gasto. Los demás secto-

res representan el 18% de las empresas y utilizan apenas un 4% del gasto en I&D.

Los principales productos de estas empresas corresponden a:

- Salud humana: diagnósticos (biosensores, inmunodiagnósticos y sondas de genes), terapéuticos (vacunas, estimulantes inmunes, biofarmacéuticos) y direccionamiento de fármacos.
- Biotecnología agrícola: biotecnología vegetal: cultivo de tejidos, embriogénesis, marcadores genéticos e ingeniería genética.
- Biotecnología animal: diagnósticos, terapéuticos, transplante de embriones, marcadores genéticos e ingeniería genética.
- Agricultura no alimentaria: combustibles, lubricantes, cosméticos, mercancías primarias (*commodities*) y materia prima para química fina.

La financiación para el año 2001 provino principalmente de capital de riesgo canadiense (37%), seguido de fuentes varias, como capital de riesgo extranjero, de los Estados Unidos, convencional o misceláneo (36%), “ángeles inversionistas” (15%) y gobierno (13%) (LSB –IC, 2004).

Una de las principales entidades que en Canadá desarrolla actividades en ciencia y tecnología es el “National Research Council of Canada NRCC” donde se reúnen 20 grupos de investigación (NRCC, 2004), a los cuales se les adjudicó un presupuesto de CA\$130 millones en 2002, correspondiente al 25% del gasto federal para ciencia y tecnología. En esta entidad se encuentra el Biotechnology Research Institute (BRI), que es el centro de I&D en biotecnología más grande del país (BRI, 2004: LSB –IC, 2004).

Las principales áreas de investigación en el BRI son:

**Sector salud:** investigación en todos los aspectos de blancos potenciales de drogas. Identificación

de productos naturales bioactivos útiles en la industria farmacéutica. Elucidación de función de genes en procariotes involucrados con enfermedades, útiles en farmacéutica. Búsqueda de enzimas útiles en síntesis, modificación y degradación de compuestos. Glicosaminoglicanos (GAG), importantes en formación de huesos e involucrados en artritis y procesos neoplásicos. Diseño y desarrollo de nuevas proteínas con propiedades nuevas o modificadas. Como tecnologías de apoyo a este sector, se identifican la bioinformática, microarreglos, imagenología, genómica estructural, genómica funcional y proteómica.

**Sector bioprocesos:** desarrollo tecnológico y de innovación en bioprocesos, utilizando microorganismos, enzimas y células animales como biocatalizadores. Desarrollo de estrategias para implementar procesos de producción a gran escala, usando herramientas de monitoreo en línea y análisis bioquímicos. Desarrollo de procesos integrados para la producción de proteínas recombinantes. Producción de vectores virales. Diseño y desarrollo de vectores de expresión para la producción de alto valor agregado como virus que puedan ser utilizados en vacunas, vectores para terapia génica, proteínas recombinantes y anticuerpos monoclonales. Como tecnologías de apoyo a este sector, se identifican transfección de células y cultivo de células incluyendo células de insectos.

### Francia

Actualmente, Francia invierte alrededor de 2,2% del PIB en investigación y desarrollo. El presupuesto en investigación del sector público alcanza los €9.000 millones. Aproximadamente, el 80% del presupuesto es distribuido a través de las organizaciones públicas de investigación, el 5% se aporta a las universidades, otro 5% es reservado para distribución directa del Ministerio de Investigación, y el 10% restante es distribuido a través de los departamentos de gobierno para sus pro-

pios programas de investigación. El presupuesto cubre salarios, infraestructura y proyectos de investigación (Couvlaere & Monrose, 2004). Los fondos públicos son principalmente responsabilidad del Ministerio de Investigación. El 55% de los fondos utilizados para investigación y desarrollo provienen de fondos privados (British Embassy, 2004).

El 50% de las compañías biotecnológicas francesas se especializan en salud humana. Las compañías biofarmacéuticas se orientan inicialmente hacia investigación en cáncer, enfermedades infecciosas, enfermedades del sistema inmune y sistema nervioso central (Buonamico & De Francisco, 2004)

En el estudio de la Embajada Británica sobre la biotecnología en Francia (2004) se distinguen seis sectores de ciencia y tecnología:

- Ambiental y desarrollo sostenible
- Energía y cambio climático
- Tecnología de información, matemáticas, física y química
- Interfase entre ciencias físicas y ciencias de la vida
- Ciencia de materiales (micro y nanotecnología)
- Ciencias de la vida

En 2004, las prioridades de investigación en este país fueron salud, desarrollo sostenible y nanotecnología, con énfasis en energía nuclear e investigación espacial. En la mayoría de los sectores se identifican componentes biotecnológicos. Las principales áreas a las que se dirige la investigación biotecnológica en estos sectores son las siguientes:

**Ambiental y desarrollo sostenible:** sensores *in situ* para diversos ambientes, incluyendo suelos; reducción en formación de contaminantes en procesos industriales y transporte; diseño de ciclos de vida de productos para el uso y desecho de productos con menor impacto ambiental; eco-

toxicología; dinámica de biosferas continentales; impacto del cambio climático en el ciclo del agua; impacto de OGM (flujo de genes); impactos ambientales en salud y centros de datos de investigaciones ambientales.

**Energía y cambio climático:** tecnologías bajas en carbono: almacenamiento, producción y distribución de hidrógeno; ciclos de energía alternativa (biomasa, geotérmica, solar, eólica); aislamiento de edificios; captura de dióxido de carbono en edificios; explotación de biomasa; almacenamiento de microenergía; investigación en ondas energéticas; cambio climático y desastres naturales; energía renovable y eficiencia de energía en edificios.

**Ciencia de materiales** (micro y nanotecnología): nanoelectrónicos; manufactura y propiedades de nano-objetos, nanotubos, supramoléculas, cables cuánticos; información cuántica y criptografía cuántica; arquitectura y ensamblaje de nanoestructuras; nanobiociencias, nanosensores y nanomotores; nano y microsistemas enfocados a aplicaciones biotecnológicas; materiales amistosos ambientalmente, nanobiotecnología, *biochips*, dispositivos para laboratorio, técnicas de microfluidos para manufactura de nanomotores y aplicaciones en telecomunicaciones.

**Ciencias de la vida:** genómica y post-genómica para estudios en enfermedades hereditarias; priones; longevidad; identificación de genes blanco para cáncer a partir de genómica; enfermedades raras; neurociencias integrativas, estudio del cerebro; impacto de OGM (flujo de genes, constructos aceptables e impacto ambiental); microbiología ambiental y de enfermedades infecciosas; biología molecular, celular y estructural; estudio de física, química y matemáticas aplicadas a la biología; bioingeniería en las ciencias de la vida; biología del desarrollo y fisiología integrativa: aplicación en aspectos moleculares y celulares del desarrollo, células madre y desarrollo de órganos; genómica marina para el mejoramiento en el mane-

jo de recursos marinos, conservación de la biodiversidad marina, identificación y desarrollo de nuevas moléculas de aplicación biotecnológica o en salud; genómica hacia diagnóstico y terapéuticos; validación de blancos y moléculas terapéuticas; perfeccionamiento de herramientas predictivas (e.g. modelos *in vitro/in vivo*); bioinformática; nanobiotecnologías; métodos de detección y contador de agentes usado en bioterrorismo; telemedicina; genómica de alimento de animales; manipulación genética de microorganismos mejorando actividades degradadoras.

### Japón

Las investigaciones en el Japón han estado dirigidas en DNA complementario, SNP (*Single Nucleotide Polymorphisms*), proteínas y cadenas de azúcares. Además, el país ha mostrado competitividad internacional en investigación básica enfocada en el tratamiento y prevención de enfermedades. El gobierno planea concentrar su gasto biotecnológico en estas líneas de investigación (JETRO Reports, 2004).

De acuerdo con el informe generado por JETRO (Japan External Trade Organization) para Japón (JETRO Reports, 2004), dentro de los lineamientos de estrategia de la biotecnología, el mercado japonés de productos biotecnológicos debe alcanzar unos 25 billones de yenes (aproximadamente unos US\$222.000 millones) en 2010, gracias a la nueva onda de innovación y a la competencia creciente, que involucra también al gobierno. El mercado puede ser dividido en cinco principales segmentos: medicina, alimentación, ambiente, energía, bioherramientas y bio-información. Tres áreas son particularmente prometedoras: medicina regenerativa, análisis de proteínas y alimentos funcionales.

En medicina regenerativa, se utilizan células madre y blastos en reparación de órganos dañados. También hay un proyecto para la construcción de

una base de datos de células madre embrionarias, desarrolladas a partir de nuevas tecnologías para propagación en masa y trasplantes celulares (JETRO Reports, 2004).

En el campo del análisis de proteínas, Japón es uno de los líderes a nivel mundial. La investigación en proteínas está dirigida al descubrimiento de la estructura tridimensional a nivel molecular de proteínas desconocidas, con el fin de ayudar al desarrollo de nuevas drogas y otros productos médicos. Así mismo, con el advenimiento de la secuenciación del genoma humano, se busca explorar el área de farmacogenómica y el uso de la proteómica (JETRO Reports, 2004).

Con la creciente tasa de enfermedades generadas por la dieta, como diabetes y presión alta, los alimentos que reducen la probabilidad de adquirir estas enfermedades están ganando popularidad entre los consumidores. Se espera que la venta de productos alimenticios específicamente diseñados para la prevención de enfermedades relacionadas con el estilo de vida, así como los alimentos orgánicos y los alimentos procesados usando materiales genéticamente modificados, puedan alcanzar una venta sustancial en el año 2010. La biotecnología en el campo de los alimentos funcionales está involucrada con la comprensión de las funciones biológicas de varios materiales alimenticios, así como su producción (JETRO Reports, 2004).

Para complementar la información anterior, existen otras áreas de investigación en Japón en otros sectores (BioJapan Reports, 2003). En el sector agrícola, se adelantan estudios en cultivos de importancia como el arroz, incluyendo secuenciación del genoma y mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares. En medio ambiente y energía, se trabaja en biocombustibles (etanol) y en la modificación genética de microorganismos para degradación de madera y biorremediación.

## Chile

Para la situación de Chile en biotecnología y caracterización de la industria biotecnológica, se identifica que las actividades de I&D se encuentran tradicionalmente en las universidades e instituciones públicas, siendo la cooperación con el sector privado aún demasiado débil. Chile invierte el 0,6% del PIB en ciencia y tecnología. La mayoría de las empresas se desenvuelven en los sectores de diagnóstico médico y veterinario, en producción de enzimas y de productos químicos finos (a menudo, a partir de recursos naturales). Se desarrollan productos como: *kits* de diagnóstico médico (enfermedad de Chagas, prueba de embarazo, entre otros), biopesticidas y oferta de servicios especiales para el sector forestal, agrícola y acuícola (Gil *et al.*, 2002). La investigación se desarrolla, principalmente, en las siguientes universidades:

La Universidad Santiago de Chile, donde se encuentra el Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CECTA) que ha desarrollado proyectos de investigación de carácter internacional, con financiación de fondos de organismos como el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, la Comunidad Económica Europea - EEC y el Consejo Superior de Investigación Científica de España - CSIC, los cuales están dirigidos a frutales y acuicultura (CECTA, 2005).

La Universidad Austral de Chile (UAC), donde existen diferentes institutos y centros de investigación que trabajan en tuberculosis bovina, micorrizas, acuicultura, biodegradación de desechos orgánicos, alimentos para animales, marcadores moleculares en cultivos (papa), nuevos fármacos para humanos, clonación de bovinos, biominería y biosensores (UAC, 2005).

La Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), que incluye varios centros y programas de investi-

gación especialmente en vinificación, genómica (vid), optimización de procesos en alimentos, mejoramiento de forestales, caracterización de diversidad, protección de cultivos, alimentos y forrajes animales, transformación genética de plantas y estudios básicos en biología celular y molecular (PUC, 2005).

El Instituto Forestal – INFOR, donde se desarrollan proyectos en recursos forestales nativos como “Uso de herramientas biotecnológicas para aumentar la rentabilidad de plantaciones de castaño en la VIII región” (INFOR, 2005).

En el estudio de Gil *et al.* (2002), se identificaron cuatro sectores biotecnológicos principales en los que Chile prioriza: agrícola, acuícola, minero y forestal. Las aplicaciones biotecnológicas identificadas para cada uno de estos sectores son:

- Minero: biolixiviación para obtención de cobre (uso de técnicas de biología molecular, ingeniería genética y bioinformática). Aproximadamente, el 5% de la producción de cobre se obtiene por lixiviación bacteriana.
- Forestal: micropropagación de árboles, control biológico, biopulpaje y transgénesis, mejoramiento de características productivas, clonación de plantas forestales.
- Agrícola: en el área frutícola, mejoramiento de aspectos de calidad de poscosecha en duraznos y nectarinas. Cultivos transgénicos con mayor valor nutricional.
- Acuícola: producción de alimentos para especies acuícolas (vegetales transgénicos y uso de proteínas vegetales), mejoramiento de los criterios de selección genética convencional con el apoyo de secuenciación genética de especies de interés, mejoramiento de la resistencia a enfermedades de animales, aumento de la producti-

vidad de sustancias de interés industrial, como el caso de las algas con fines farmacéuticos, biorremediación de fondos marinos, resistencia a la contaminación por marea roja, y desarrollo de vacunas para salmón.

Dentro de los programas de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) de Chile, se encuentra el programa GENOMA, creado con el propósito de incorporar en Chile en forma masiva y sistemática la genómica, proteómica y bioinformática en áreas relevantes de la economía nacional, para mantener y aumentar su competitividad en el mundo (CONICYT, 2004). Esta iniciativa se enmarca en el Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica del Gobierno de Chile 2001-2004, a través de tres subprogramas: Tecnologías de Información, Biotecnología en las áreas Forestal, Agropecuaria y Acuícola, y Tecnologías Limpias, y es financiado, en parte, con recursos provenientes del Banco Interamericano de Desarrollo y dirigido por un comité formado por representantes del Ministerio de Economía, Corfo (FDI), Ministerio de Agricultura (FIA) y CONICYT, organismo al que le corresponde la gestión general del Programa.

Actualmente, se encuentran aprobados tres proyectos:

- Genómica funcional en nectarines: plataforma para fomentar la competitividad de Chile en exportación de frutas. Institución principal: Universidad de Chile. Monto global: CL\$1,228 billones (aproximadamente US\$2.240 millones).
- Plataforma científico-tecnológica para el desarrollo de la genómica vegetal en Chile. Etapa I: Genómica funcional en vid. Institución principal: Universidad Técnica Federico Santa María. Monto global de CL\$1,731 billones (aproximadamente US\$3.196 millones).

- Estudios genómicos y de expresión genética en vides: respuesta a la infección viral y desarrollo de sistemas de diagnóstico. Institución principal: Pontificia Universidad Católica de Chile. Monto global de CL\$1,083 billones (aproximadamente US\$2.000 millones).

### Argentina

En el documento “Análisis de la biotecnología en Argentina” (Vitagliano & Villapano, 2003), realizado en el estudio prospectivo para la generación de acciones que permitan el aumento de la competitividad a nivel biotecnológico de Argentina, se identificaron alrededor de 50 empresas con componente biotecnológico, que incluyen tanto uso como desarrollo de productos. Muchas de estas empresas también se encuentran en el Foro Argentino de Biotecnología (FAB, 2005).

El FAB es una entidad pública, sin ánimo de lucro, que está integrada por más de 30 socios activos: empresas, entidades nacionales e internacionales, personas individuales, facultades y departamentos de universidades nacionales y entidades del sector público nacional de ciencia y tecnología (13 multinacionales, 22 empresas nacionales, 5 entidades estatales y 5 socios individuales). La Misión del FAB es difundir la biotecnología dentro del país, alentar políticas en su área, y servir de instrumento de articulación y vinculación para el desarrollo de estrategias conjuntas de los sectores empresarial, científico, tecnológico y estatal. Sus bases fueron el modelo del Triángulo de Sábato, que es la insistencia en la unión de la ciencia, la empresa y el sector público (FAB, 2005).

En Argentina, existen alrededor de 115 institutos, grupos y centros de investigación dependientes de universidades e institutos nacionales y grupos técnicos de empresas privadas que realizan I&D en biotecnología. De ellos, 68 (41 empresas y 27 grupos de investigación) están dedicados al sector agropecuario y de salud animal. También existen

entidades que han desarrollado una oferta consistente en materia de tecnologías, y más de 30 centros, institutos y laboratorios nacionales que desarrollan actividades de vinculación y prestación de servicios al sector productivo. En el sector alimentario, hay 51 grupos que realizan actividades de investigación y desarrollo. Vitagliano & Villapano (2003), diferencian cinco sectores o cadenas de valor: agropecuario, alimentación, salud humana y diagnóstico, salud animal y medio ambiente.

En el sector agropecuario, hay que recordar que Argentina es el segundo productor de cultivos genéticamente modificados, después de Estados Unidos. A nivel agrícola, ya cuenta con cultivos de soya, maíz y algodón, y están en evaluación girasol, papa, trigo y alfalfa. A nivel pecuario, en 2002, el país obtuvo los primeros ejemplares, en el mundo, de ganado bovino modificado genéticamente para la producción de hormona de crecimiento humano (hu-GH). En el área de semillas, se trabaja en mejoramiento genético, micropropagación vegetal, protección frente a herbicidas e insecticidas y desarrollo de inoculantes. Ya se encuentran en el mercado inoculantes para fijación de nitrógeno en cultivos de importancia económica, bioinsecticidas y biofertilizantes. En salud animal, se trabaja principalmente en desarrollo de vacunas aviarias y bovinas. Además, se producen antiparasitarios y promotores de crecimiento (Vitagliano & Villapano, 2003).

En el área de alimentos, el sector de más desarrollo es la producción de enzimas de uso industrial; el 8% de éstas son resultado de procesos biotecnológicos, y el 46% son producto de otros insumos provenientes de la biotecnología. En la industria de alimentos, ya están en el mercado el jarabe de maíz con altos contenidos de fructosa y productos lácteos probióticos.

En salud humana, se trabaja en diagnósticos moleculares, incluyendo técnicas de DNA y anticuer-

pos de última generación, y oncología molecular. También hay avances importantes en terapia génica. En el campo farmacéutico, la mayoría de los productos son el resultado de la aplicación de la tecnología del DNA recombinante, eritropoyetina humana, interferones humanos, factores estimulantes de colonias y hormona de crecimiento.

Las principales aplicaciones de la biotecnología que se han proyectado en el sector ambiental incluyen: el desarrollo de enzimas para degradación de lignina, árboles con menor cantidad de lignina, biolixiviación de metales, producción de plásticos por bioprocesos, biofibras y biorremediación.

En el sector industrial, se destacan trabajos en producción de alcohol, ácidos orgánicos, solventes, aminoácidos, vitaminas, hormonas, quesos, leche ácida, recuperación secundaria de petróleo, fijación de nitrógeno, tratamiento de efluentes, producción de biogás y compostajes.

Como resultado de una consulta a la comunidad científica y tecnológica, en 1996 se creó la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) para el fomento a las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, cuyos recursos provienen de aportes del presupuesto nacional y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Los agentes ejecutores son el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT) y el Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR). El FONCyT apoya proyectos y actividades cuya finalidad es la generación de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos –tanto en investigación básica como aplicada– desarrollados por investigadores pertenecientes a instituciones públicas y privadas sin fines de lucro radicadas en el país. Se calculó un monto de US\$42.999.000 para el año 2004 a través de este fondo. Por su parte, el FONTAR financia proyectos de empresas, instituciones públicas o privadas, destinados a promover la innovación o moderni-



zación tecnológica. Para 2004, el BID calculó un monto de US\$49,5 millones para este fondo (Vitagliano & Villapano, 2003).

En cuanto al financiamiento privado, existe la presencia de fondos internacionales y sus alianzas con capitales locales. Sin embargo, este movimiento inversor perdió su impulso inicial debido a la depreciación de los activos del indicador Nasdaq, y por la severa crisis de la economía del país, que alcanzó su punto culminante al inicio del año 2001, motivando el alejamiento de muchos de estos fondos y la imposición de políticas de inversión mucho más restrictivas y con mayor aversión al riesgo.

Pese a ello, perduran otras iniciativas, como el convenio BID – Banco Credicoop por un total de US\$20.000 millones para un fondo de capital de riesgo, cuyo objetivo principal es el de fomentar una cultura de la inversión de riesgo mediante la disponibilidad de fondos, y la capacitación y difusión de experiencias exitosas entre los administradores y las instituciones financieras (Vitagliano & Villapano, 2003).

### Percepción y apropiación social de la biotecnología

Como toda nueva tecnología, la biotecnología, que tiene que ver directamente con la vida, es motivo de preocupación por sus posibles consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente, particularmente en el caso de las plantas transgénicas. También se han planteado serios interrogantes éticos sobre su utilización, en especial en el campo de la clonación.

Estas preocupaciones han llevado a grandes debates públicos sobre el tema y a posiciones diametralmente opuestas, entre los que favorecen el uso de esta tecnología y aquellos que se oponen rotundamente a ella. En el caso de los organismos genéticamente modificados (OGM), estas

preocupaciones se centran en los impactos no deseados sobre los ecosistemas en los cuales estos organismos son liberados, su posible efecto sobre la biodiversidad o su posible incidencia en la salud humana por la generación de problemas de alergenicidad y toxicidad.

En el caso de la biotecnología agrícola, lo que ha caracterizado este debate es que son sólo las aplicaciones más controvertidas, como aquellas relacionadas con su uso en la alimentación, las que son discutidas o mencionadas en los foros y en los medios de comunicación. Como lo menciona Lurquin en el libro *The green phoenix: A history of genetically modified plants*, “la biotecnología agrícola ha sido condenada, en la mente de muchos, antes de tener una audiencia justa. La mayoría, si no todos los beneficios que ésta ha traído a la ciencia básica o las aplicaciones menos controvertibles han sido ignoradas o malinterpretadas”. Por lo general, no se analizan con fundamentos científicos los pros y los contras de los alimentos transgénicos; por el contrario, se enfatizan sus daños potenciales, sin hacer una evaluación crítica. La polarización de las posiciones entre defensores y opositores ha dejado al consumidor y a la opinión pública en una encrucijada sobre a quién creerle finalmente. En últimas, la aceptación o rechazo de estos alimentos deberá estar basado en rigurosas pruebas científicas de evaluación de riesgo y en información veraz para el consumidor.

Este debate, así como la preocupación de los gobiernos y de los propios investigadores, ha llevado a la promulgación de leyes y normas de bioseguridad que regulan la producción, la liberación y comercialización de los OGM. De acuerdo con estas regulaciones, un OGM debe ser sometido a una rigurosa evaluación, antes de que su uso comercial sea permitido (De Peña, 2003).

Por lo tanto, es importante reconocer que los desarrollos actuales de la biotecnología hacen que

sea de vital importancia para el sector biotecnológico que todos los actores relacionados presten atención a los temas que preocupan al público en general. Si la tecnología va a lograr la aceptación general, los debates sobre cultivos transgénicos, el uso de células madre, la clonación, la terapia de genes, y las pruebas genéticas, entre otros, exigen una atención constante y un diálogo claro, abierto y franco con el público en general (Roca, 2004), así como una constante evaluación de la percepción que la sociedad tiene sobre los diferentes productos de la biotecnología.

En este contexto, muchos países han realizado desde hace varios años estudios de percepción pública de la biotecnología, con el fin de conocer el grado de apropiación del conocimiento de la sociedad en este tema, sus temores y percepciones.

#### Estados Unidos y Canadá

Siendo estos dos países de los primeros en permitir la comercialización de este tipo de productos, en especial de cultivos modificados, es interesante visualizar la diferencia en la percepción de las dos sociedades. En un estudio realizado en 2001 (IFIC, 2004; CBI 2005), se compararon las opiniones sobre varias preguntas, y las respuestas obtenidas indican que la aceptación de estos productos es más baja en Canadá que en Estados Unidos.

- ¿Cree que los beneficios son mayores que los riesgos? Canadá (44%), E.U. (54%).
- ¿Está de acuerdo en que la biotecnología agrícola será buena a largo plazo para la sociedad? Canadá (53%), E.U. (60%).
- ¿Continuará comprando alimentos marcados GM? Canadá (46%), E.U. (49%).
- ¿Apoya el uso de la biotecnología en la agricultura? Canadá (52%), E.U. (61%).

Al evaluar en E.U. las dos primeras preguntas anteriores en tres sectores diferentes de la población

(líderes de opinión, público en general y reguladores), se observa que la mayoría de los entrevistados de los tres sectores considera que hay más beneficios que riesgos (63%, 54%, 58% respectivamente) y que la biotecnología en agricultura será buena a largo plazo para la sociedad (65%, 60%, 55%).

#### Unión Europea

En 2003, el Eurobarómetro (Eurobarometer 58.0, 2003), que evalúa la percepción en los países de la Comunidad, realizó un estudio sobre los europeos y la biotecnología. El estudio involucró a 16.500 personas en 15 países. Se observaron variaciones con respecto a los estudios anteriores (1993, 1996, 1999, 2002), mostrando un aumento del optimismo hacia la biotecnología, pero aún se presentan diferencias en cuanto a las aplicaciones médicas y en alimentos y agricultura. También se observaron variaciones de opinión entre los países evaluados.

En cuanto a confianza, cerca del 70% de europeos la tiene en los médicos, científicos de universidades y asociaciones de consumidores. Cerca del 55% confía en científicos de la industria privada, periódicos y revistas, grupos ambientalistas, almacenes, granjeros y en la Comisión Europea. Sin embargo, menos del 50% tiene confianza en sus propias instancias gubernamentales y en la industria.

#### Latinoamérica

Argentina realizó un estudio de percepción pública con el objeto de tener información sobre conocimiento y pensamiento de los consumidores acerca de la biotecnología (Proyecto SAGPYA UNEP-GEF. 2003). Este estudio lo realizaron para dos sectores de la población: consumidores comunes en supermercados y productores agropecuarios. Hay que tener en cuenta que Argentina es el segundo país con mayor área de cultivos genéticamente modificados, y que lleva varios años en el tema.

Los resultados de la encuesta a quienes desarrollan actividades en el agro indican que el 90% conoce o ha oído hablar sobre OGM; el 75% considera que el consumo de estos productos y sus derivados no presenta riesgos para la salud humana; un 18% indica que uno de los principales peligros son las alergias; el 82% opina que la biotecnología es una herramienta que permite resolver problemas que no se han podido resolver con otras tecnologías, y más de la mitad (54%) subraya que el uso de semillas GM se incrementará en las próximas cosechas. En el mismo estudio, realizado a consumidores comunes, hay variación en los resultados: el 64% conoce algo sobre biotecnología; el 77% está de acuerdo con su uso en salud; el 43%, en el uso con fines agrícolas, y el 23%, en mejoramiento animal; el 40% opinó que tiene miedos e incertidumbre.

Ambos grupos coinciden en destacar a la comunidad científica como uno de los referentes en los que se tiene mayor confianza. Para los agricultores, los institutos de investigación y las universidades tienen credibilidad, mientras que para los consumidores, las instituciones como Greenpeace (69%) son dignas de confianza. Fue común para los dos grupos la responsabilidad de los organismos gubernamentales de informar acerca de los riesgos y beneficios del uso de estos productos.

En México, se han realizado tres encuestas, entre 1997 y 2001 (Sasson, 2003; Aerni, 2001), dirigidas a organizaciones no gubernamentales (ONG) ambientales y de desarrollo rural, agricultores, organismos gubernamentales, sector comercial, industria, universidades y medios de comunicación, entre otros actores. Los resultados de estas evaluaciones indican que existe percepción positiva de la biotecnología para la solución de problemas, pero que hay preocupación por los posibles efectos sobre el medio ambiente, y muy poca credibilidad en los sistemas de regulación existentes.

Costa Rica ha realizado dos encuestas en cuanto al conocimiento de la biotecnología y sus productos: una, en 2001, para adultos sin discriminar, y otra, en 2002, específica para estudiantes universitarios. El resultado más importante indica que la percepción es positiva y la aceptación está relacionada con mayor conocimiento de la población (Sasson, 2003).

Chile ha realizado varios estudios en los últimos años (Sasson, 2003; de Souza *et al.*, 2003) dirigidos a diferentes sectores de la población: a hogares (2000-2001); a consumidores (2002); a agricultores en una feria agropecuaria (2003), y a consumidores en supermercados (2003).

Los resultados son similares a otros de los países latinoamericanos evaluados. Se presenta mayor aceptación y conocimiento a mayores niveles económico y cultural, y en poblaciones concededoras (agricultores). Es mejor la aceptación de desarrollos en medicina y salud, y falta confianza en entidades fiscalizadoras y reguladoras. Se conoce la normativa entre agricultores, mas no entre el público en general. Hay un gran interés por obtener mayor información, y se considera un deber del Estado el informar sobre riesgos y beneficios, principalmente.

## Conclusiones

La información analizada sobre el contexto internacional de la biotecnología nos permite inferir algunas posibles estrategias que lleven a su desarrollo en Colombia.

- Los principales desarrollos en el mundo se encuentran en los sectores de salud y agricultura, aunque el número de productos resultantes de la biotecnología y la aplicación de estas tecnologías son cada vez mayores en el sector industrial.
- La industria farmacéutica es la que ha adoptado más fácilmente estas tecnologías y se ha transfor-

- mado drásticamente en los últimos años. En agricultura, el hecho más relevante es la adopción rápida de cultivos transgénicos en el mundo, especialmente en países en desarrollo a pesar de las diversas preocupaciones sobre el tema.
- Los mercados de productos biotecnológicos han ido en aumento, especialmente en los dos sectores ya identificados. Existen sectores de gran crecimiento, como son la bioinformática, la cosmética y la producción de enzimas.
  - En los estudios de caso, se identifican políticas claras a largo plazo, a nivel de Estado en el tema de la biotecnología, así como la priorización de los temas de investigación y desarrollo de productos, hacia sectores esenciales de la economía y sectores en los que el país es más competitivo en términos de investigación y desarrollo. Así mismo, la inversión de recursos de Estado o privados en investigación y desarrollo es alta.
  - Persiste en el mundo la inquietud de la percepción pública de estos productos. Muchos de los países realizan constantes evaluaciones, con miras a desarrollar programas de educación en biotecnología y apropiación adecuada del tema por la sociedad. Se observa que, dependiendo de la sociedad, en algunos temas, la percepción hacia los productos de la biotecnología es diferente y es recurrente la mayor aceptación de las aplicaciones en el sector salud, así como mayor aceptación de acuerdo al nivel de conocimientos del público evaluado.

## REFERENCIAS

- Aerni P. (2001, julio). La percepción pública de la biotecnología agrícola en México, un proyecto de investigación común del Centro para el Desarrollo Internacional de la Universidad de Harvard (CID), EUA, Departamento de Sociología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A) e Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Programa Ciencia, Tecnología e Innovación Centro para el Desarrollo Internacional, Universidad de Harvard Cambridge. MA 02138, USA, Cambridge.
- BIOJAPAN Reports (2003, March). Biotechnology, Strategy for bioindustry begins to take shape. Biotech Japan. [www.biojapan.org/industry/reports.htm](http://www.biojapan.org/industry/reports.htm).
- Biotechnology Center of Excellence Corporation (2003, April). "Technology applications in the Andean Region, Final report." Submitted to: CAF - Corporación Andina de Fomento Caracas, Venezuela. Waltham, Massachusetts.
- Biotechnology Center of Excellence Corporation (2003, diciembre). Análisis de mercados para la utilización de plataformas de biodiversidad en la Región Andina mediante aplicaciones de tecnología. Informe final presentado a la Corporación Andina de Fomento (CAF).
- BRI - Biotechnology Research Institute (2004). National Research Council Canada. [www.irb-bri.cnrc-nrc.gc.ca](http://www.irb-bri.cnrc-nrc.gc.ca).
- British Embassy - France (2004, September). Research and development in France. [www.britishembassy.gov.uk/servlet/Front?pagename=OpenMarket/Xcelerate/ShowPage&c=Page&cid=1101390093704](http://www.britishembassy.gov.uk/servlet/Front?pagename=OpenMarket/Xcelerate/ShowPage&c=Page&cid=1101390093704).
- Buonamico C. A., & De Francisco (2004). French biotechnology industry: Diverse, young and promising. Chemistry Today o Chimica Oggi. [www.teknoscienze.com/supplements/biotech\\_in\\_europe/biotech\\_in\\_europe.htm](http://www.teknoscienze.com/supplements/biotech_in_europe/biotech_in_europe.htm).
- Cabrera M. J. (2004). Bioprospecting partnerships in practice: A decade of experiences at INBio in Costa Rica. IP Strategy Today No. 11, pp. 27-40. [www.bioDevelopments.org](http://www.bioDevelopments.org).
- CBI - Council for Biotechnology Information (2005). <http://www.whbybiotech.com>
- CECTA - Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. [www.vrid.usach.cl/Cecta/cecta.htm](http://www.vrid.usach.cl/Cecta/cecta.htm).
- Clarke, T. (2003, October). Modified bacteria spot arsenic. Nature. [www.nature.com/nsu/030929/030929-7.html](http://www.nature.com/nsu/030929/030929-7.html).
- CONICYT - Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (2004). [www.conicyt.cl/genoma/](http://www.conicyt.cl/genoma/)
- Couelaere J. H., & Monrose C. (2004). Economic activity by region and sector. British Embassy - Paris. Foreign & Commonwealth Office. [www.fc.gov.uk/Files/kfile/Sector%20clusters%20by%20Region%20June%2004%20cm0804.pdf](http://www.fc.gov.uk/Files/kfile/Sector%20clusters%20by%20Region%20June%2004%20cm0804.pdf).
- Crawford, L. M. (2003). Cómo comprender la biotecnología en la agricultura. En Biotecnología Agrícola. Departamento de Estado de los Estados Unidos, Perspectivas Económicas vol. 8 (3), pp 12-16.
- Chassy, B. (2003). La función de la biotecnología agrícola en la ayuda alimentaria mundial. En Biotecnología Agrícola. Departamento de Estado de los Estados Unidos Perspectivas Económicas vol 8(3), pp 22-25.
- Daar, A. S., Martin, D. K., Nast, S., Smith, A. C., Singer, P. A. & Thorsteinsdóttir H. (2003). Top 10 biotechnologies for improving health in developing countries. Program in Applied Ethics and Biotechnology- Canadian Program on Genomics and Global Health. University of Toronto Joint Centre for Bioethics, pp 117.
- De Peña, M. (2003, julio 22-25). La biotecnología como factor de desarrollo para América Latina y el Caribe: Retos y oportunidades, 2003. En: Latin America and the Caribbean Regional Consultative Meeting. Global Biotechnology Forum. UNIDO. Brasil.

- De Souza, L., Oda, L., Martínez, V., & Gil, L. (2003, noviembre). Estudio comparativo sobre percepción pública de la biotecnología moderna en Brasil y Chile, 2003. En: *Bioseguridad y Comercio Internacional de Alimentos transgénicos en las Américas: Decisiones y Desafíos*. Ed. Lionel Gil & Víctor Martínez. Andros Impresores Ltda., Santiago de Chile, pp 333-345.
- Díaz-Bonilla, E. & S. Robinson, S. (2002). *La Biotecnología, el Comercio y el Hambre*. IFPRI. [www.ifpri.org/spanish/pubs/essays/ar2000\\_essay01sp.htm](http://www.ifpri.org/spanish/pubs/essays/ar2000_essay01sp.htm).
- Etherton, T. D. (2003). Mejoramiento de la ganadería mediante la Biotecnología. En *Biotecnología Agrícola*. Departamento de Estado de los Estados Unidos Perspectivas Económicas vol 8(3), pp 30-32.
- Eurobarometer 58.0 (2003, March 21st). *Europeans and Biotechnology in 2002. A report to the EC Directorate General for Research from the project 'Life Sciences in European Society' QL67-CT-1999-00286*. by George Gaskell\*, Nick Allum and Sally Stares (Methodology Institute, London School of Economics, London WC2A 2AE, UK). 2nd Edition.
- European Comisión (2003). *Third European Report on Science & Technology Indicators 2003: Towards a knowledge-based economy*. Directorate-General for Research.
- FAB - Foro Argentino de Biotecnología (2005). <http://www.foarbi.org.ar>.
- Ford R. C., & Ryan, B. (2004). The global diffusion of plant biotechnology: International adoption and research in 2004. Paper for The Council on Biotechnology Information, Washington, D.C., pp 117. In: <http://www.wapec-umn.edu/faculty/frunge/globalbiotech04.pdf>.
- Gil L., Martínez V. & U. Dornberger, U. (2002). *Caracterización de la Industria Biotecnológica Chilena*. Universidad de Leipzig, Alemania. [www.uni-leipzig.de/sept/downloads/Biotecnologia\\_Chile\\_2002.pdf](http://www.uni-leipzig.de/sept/downloads/Biotecnologia_Chile_2002.pdf).
- IFIC - International Food Information Council (2004). "U.S. Consumer attitudes toward food biotechnology". Wirthlin Group Quorum Surveys. March 1997, February 1999, October 1999, May 2000, and January 2001. Cogent Research. September 2001, August 2002, April 2003, January 2004. In: [www.ific.org](http://www.ific.org)
- Industry Canada. (1998). *The 1998 Canadian Biotechnology Strategy: An Ongoing Renewal Process*. <http://strategies.ic.gc.ca/cbs>.
- INFOR - Instituto Forestal de Chile. [www.infor.cl/](http://www.infor.cl/)
- Institute for the Future. *Health and Health Care - 2010* (2003). *The Forecast, the Challenge*. Second Edition. Jossey-Bass a Wiley Company, Princeton, NJ.
- James, C. (2004). Preview: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2004. ISAAA Briefs. No. 32. ISAAA: Ithaca, NY. In: <http://www.isaaa.org>.
- JETRO Reports (2004). *Attractive sectors. Invest in Japan Biotechnology*. Biotech Japan. [www.biojapan.org/industry/reports/JETROmarketreport2004.pdf](http://www.biojapan.org/industry/reports/JETROmarketreport2004.pdf).
- Juma C., Konde, V. (2001). *Industrial and environmental applications of biotechnology: Developing countries in a new bioeconomy*. A paper prepared for the United Nations Conference on Trade and Development. Geneva, Switzerland. Belfer Center for Science and International Affairs, Kennedy School of Government. Universidad de Harvard.
- Juma, C., Konde, V. (2002, July-August). *Industrial Applications for Biotechnology: Opportunities for developing countries*. *Environment* vol 44, (6).
- Lovley, D. R. (2003). *Cleaning up with genomics: Applying molecular biology to bioremediation*. *Microbiology*, vol 1(1):35-44.
- LSB - IC, Life Science Branch - Industry Canada (2004, marzo). *Biotechnology in Canada - A Regional View*. [www.citebiotech.com/Docs/eng/Doc%20partenaires/Biotech%20in%20Canada%20-%20Regional%20View%202004.pdf](http://www.citebiotech.com/Docs/eng/Doc%20partenaires/Biotech%20in%20Canada%20-%20Regional%20View%202004.pdf).
- LSB - IC, Life Science Branch - Industry Canada (2003). *Canada's Biotechnology Sector*. Industry Canada. [www.strategies.ic.gc.ca/epic/internet/inlsg-pdsv.nsf/en/h\\_hn00079e.html](http://www.strategies.ic.gc.ca/epic/internet/inlsg-pdsv.nsf/en/h_hn00079e.html).
- Malpica, L.C. (2004). *Implementing the principles of the United Nations Convention on biological diversity: The Experience of Kina Biotech in Peru*. *IP Strategy Today* No. 11, pp. 21-26. [www.bioDevelopments.org](http://www.bioDevelopments.org)

- Mathur E., Costanza, C., Christoffersen, L., Erickson, C., Sullivan, M., Bene M., & Short J. M. (2004). An Overview of bioprospecting and the diversa model. IP Strategy Today No. 11, pp 1-20. In [www.bioDevelopments.org](http://www.bioDevelopments.org)
- Miller, G. (2003). Biotechnology Fueling Chemical, Energy Innovation. BIO 2003, News Room. [www.bio.org/-events/2003/media/energy.asp](http://www.bio.org/-events/2003/media/energy.asp).
- NRCC - National Research Council Canada. (2004). [www.nrc-cnrc.gc.ca/main\\_e.html](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/main_e.html).
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (2001). The application of Biotechnology to Industrial Sustainability.
- Penn, J. B. (2003). La biotecnología agrícola y el mundo en desarrollo. En *Biotecnología Agrícola*. Departamento de Estado de los Estados Unidos Perspectivas Económicas vol 8(3), pp 9-11.
- Pinstrup-Andersen P. (2002). More Research and Better Policies are Essential for Achieving the World Food Summit Goal. World Food Summit: Five Years Later. Rome, Italy. International Food Policy Research Institute. Washington, DC. [www.ifpri.org](http://www.ifpri.org)
- Proyecto SAGPYA UNEP-GEF (2003). Percepción pública: Consultas sobre la biotecnología en la Argentina. Estudio elaborado para la evaluación del marco Nacional de Bioseguridad - Argentina.
- PUC - Pontificia Universidad Católica de Chile. [www.puc.cl/](http://www.puc.cl/)
- Roca, W. (2004). "Estudio de las Capacidades Biotecnológicas e institucionales para el Aprovechamiento de la Biodiversidad en los Países de la Comunidad Andina." Informe presentado a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Corporación Andina de Fomento (CAF). Centro Internacional de la Papa (CIP) Lima, Perú.
- Sasson, A. (2003). Percepción pública de la biotecnología: Tendencias recientes. En: *Bioseguridad y Comercio Internacional de Alimentos transgénicos en las Américas: Decisiones y Desafíos*. Ed. Lionel Gil & Víctor Martínez. Andros Impresores Ltda., Santiago de Chile, Noviembre 2003. Pp. 307-320.
- Scientific American (2002). The frontiers of Biotechnology. Scientific American. Pp 83.
- The Economist (2004a, September 18). Dawn on the farm: The Economist Technology Quarterly. Print edition, pp 24-27.
- The Economist (2004c, May 15). On the mend (Biotechnology). Pp. 60.
- The Economist (2004b, May 1). Sea of dreams. Print edition. Pp. 81-82.
- The Economist (2003, March 27). Survey: Biotechnology. Climbing the helical staircase, Print edition. Pp. 60.
- Thorsteinsdóttir, H., Quach, U., Martin, D. K., Daar A. S., & Singer. P. A. (2004). Promoting Global Health through biotechnology. Nature Biotechnology - Supplement. Volumen 22, pp. 52.
- Torres, R. (2002). Bases para una política nacional de biotecnología. Informe final presentado al Departamento Nacional de Planeación - DNP, Dirección de Desarrollo Agrario. Bogotá.
- UAC - Universidad Austral de Chile. [www.uach.cl/](http://www.uach.cl/)
- UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development (2002). Key Issues in Biotechnology. United Nations, New York and Geneva. P. 14.
- Vitaglano J. C. & Villalpando F. (2003). Análisis de la Biotecnología en Argentina. Programa de Fortalecimiento Institucional de la Política Comercial Externa, Préstamo BID 1206/OC-AR. Diseño de Programas Piloto Sectoriales de Exportación. En [www.foarbi.org.ar/docs/BiotecArgV1.pdf](http://www.foarbi.org.ar/docs/BiotecArgV1.pdf).





## CAPÍTULO III

# Contexto de la biotecnología en Colombia

### Introducción

Los principales problemas identificados para el desarrollo de la biotecnología en el país se refieren a la creciente brecha científica y tecnológica con respecto a los países industrializados, a la incipiente capacidad empresarial en esta área, y a la falta, en general, de incentivos para la realización de inversiones en este campo. Los recursos genéticos son la materia prima de la industria biotecnológica, y el acceso a estos puede ser aprovechado para sustentar una política de alianzas estratégicas que agilice las inversiones y la transferencia de biotecnologías hacia el país (Melgarejo *et al.*, 2002; Torres, 2002). Su desarrollo y aplicación facilitarían el mantenimiento dinámico de la competitividad en la producción tradicional del país y la incursión en nuevos mercados. A la vez, la no incorporación de la biotecnología plantea serias amenazas a causa de la pérdida de competitividad frente a los países que están aplicando innovaciones biotecnológicas en forma creciente (Torres, 2002; Rodríguez, 2003).

El país ha llevado a cabo varios ejercicios para la priorización de temas. El ejercicio de biotecnología agropecuaria desarrollado por Tecno-Cambiotec-Colciencias en 2002, presenta, adicionalmente a las conclusiones acerca de técnicas prioritarias, demandas y oferta de productos en el sector, una recomendación que consideramos importante retomar: “Para que los ejercicios de selección de prioridades de investigación y desarrollo puedan tener condiciones adecuadas para su ejecución, y puedan lograr el impacto previsto en la producción, es necesario que estén acompañados de otra serie de medidas de carácter financiero, institucional y de uso de incentivos, en el marco de una política coherente para el desarrollo nacional de la biotecnología. Esta política, además de ocuparse del fortalecimiento de las actividades de investigación y desarrollo, debe orientarse también hacia el fomento de la innovación tecnológica en sectores productivos identificados por su importancia económica y social, con el uso de productos biotecnológicos, y hacia la producción de los bienes y servicios que son requeridos como insumos para ese proceso de innovación” (Torres & Laignelet, 2002).

## Biología en Colombia: indicadores

En Colombia, a partir de la creación del Programa Nacional de Biotecnología - PNB en 1991, se fueron desarrollando instrumentos para el fortalecimiento de la capacidad científica y la promoción del desarrollo de la biotecnología, y se realizó un acompañamiento y monitoreo continuo de los grupos y centros de investigación del país. En 1997, se definieron unas líneas programáticas de acción las cuales determinaron la formulación del Plan Estratégico 1999-2004. A partir del año 2000, se han venido realizando esfuerzos por diferentes instancias para el diagnóstico, fortalecimiento y desarrollo de la biotecnología. Actualmente, existen algunas iniciativas regionales, como el *Cluster* de Bioindustria del Valle del Cauca, el Ejercicio Prospectivo en Biotecnología y Salud de Antioquia, y la iniciativa de Bioprogreso en la región Bogotá-Cundinamarca. Estas iniciativas buscan articular los diferentes actores en áreas prioritarias para las regiones.

### Capacidad en investigación

A diferencia de lo que ocurre con otras tecnologías de punta, los diferentes estudios muestran que, en biotecnología, el país cuenta con una importante tradición y una infraestructura de investigación básica, especialmente en los campos de la agricultura y la salud humana, que representan una fortaleza primordial, a partir de la cual es posible levantar la plataforma científica requerida.

A partir de la creación del PNB, se realizó un acompañamiento y monitoreo continuo de los grupos y centros de investigación del país. Así, se financió la formación de recursos humanos y de proyectos de investigación, se fomentó la creación, diseño y vinculación a redes nacionales e internacionales en el área, se diseñaron y elaboraron dos directorios de grupos de biotecnología, y se desarrollaron bases de datos con la información de los grupos presentes en las convocatorias y con las hojas de vida de los investigadores.

En 1995, Colciencias publicó el directorio de biotecnología, con el objeto de realizar un diagnóstico de los grupos de investigación del sector y, a la vez, conocer sus capacidades, logros y necesidades, con miras al establecimiento de actividades futuras de cooperación entre ellos y buscando la definición de políticas en el tema. Con esta iniciativa se identificaron los grupos de investigación en biotecnología del país (81 en total), y se clasificaron de acuerdo con el sector de aplicación: 58% en el sector vegetal y agrícola, 17% en salud humana, 12% en ambiental, 8% en pecuario y 5% en industrial. Los profesionales, de acuerdo con el grado académico, se agrupaban con nivel de pregrado el 46%, con maestría el 31%, y con doctorado el 17%, sumados a un 4% y 2% de candidatos a maestría y doctorado, respectivamente. Estos profesionales se especializaban el 45% en el área vegetal y agrícola, el 25% en salud humana, el 15% en ambiental, el 8% en industrial y el 7% en biotecnología animal. Los proyectos en ejecución entre 1990 y 1995 de acuerdo con el campo, se desarrollaban, el 43% en vegetal y agrícola, el 29% en salud humana, el 14% en ambiental, el 10% en animal, y el 4% en industrial (Hodson de Jaramillo & Aramendis, 1995).

El informe de país (con datos entre 1998 y 2002, y con información que incluyó todos los Programas Nacionales de Colciencias, no solo el Programa Nacional de Biotecnología, y la base de datos de la convocatoria nacional para grupos y centros del año 2000) presentado por el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT) y Colciencias al Programa Cooperativo para la Construcción de Indicadores en Biotecnología de la Organización de Estados Americanos (OEA), indica que en ese momento el país contaba con 76 instituciones que incluían 184 grupos o centros que desarrollaban proyectos con componente biotecnológico, de los cuales el 82,6% formaban recursos humanos. En cuanto a los investigadores el número total vinculado a los grupos an-

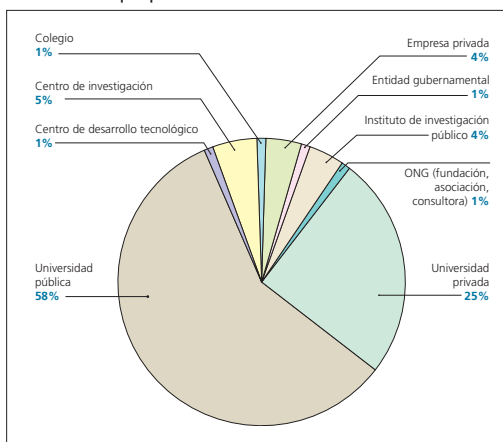
teriores fue de 1.991, de los cuales, 1.007 participaban al menos en un proyecto con componente biotecnológico. De acuerdo con la escolaridad máxima (de un total de 854 de los cuales se tenía la información), el 44,1% tenía pregrado, el 7,7% especialidad, el 29,1% maestría y el 19% doctorado. En términos de proyectos se presentó un total de 667. De éstos, el 38% estaba dirigido al sector agrícola, el 34% a salud humana, el 11% a ambiental, el 5% a pecuario, el 1% a alimentos, y el 11% restante a otras áreas de la biotecnología (Orozco & Carrizosa, 2004).

En 2004, el OCyT realizó un estudio de indicadores del Programa Nacional de Biotecnología, con la colaboración de Colciencias, en el cual se evaluaban indicadores de contexto, insumo-producto, de estructura y resultados, y de impacto (Olaya & Orozco, 2004). Este trabajo presenta algunos datos que se relacionan a continuación y que muestran una visión de la situación actual de la biotecnología en investigación, áreas principales de aplicación y recursos.

En lo que se refiere al número de grupos de investigación que trabajan en el área de biotecnología en el país se identifican los que se inscribieron en la convocatoria a grupos y centros de Colciencias en 2002: un total de 138 grupos, 56 reconocidos, 56 registrados no reconocidos y 26 registrados pero no participantes en la medición 2002. Estos grupos se pueden clasificar por el tipo de institución a la que pertenecen (figura 1) y como se puede observar, la gran mayoría se encuentran circunscritos a universidades públicas del país, seguidos por universidades privadas.

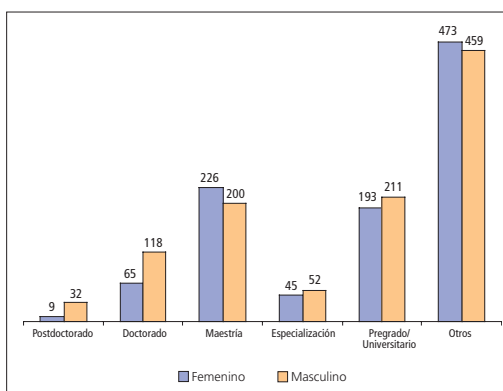
Con relación a la máxima formación académica y al género (figura 2), de los 2.083 investigadores vinculados en los grupos participantes en la convocatoria 2002, el 45% (932) no está clasificado por escolaridad. Del resto (1.151), el 35% tiene pregrado, 8,4% especialización, 37% maestría, y 19,5% doctorado o postdoctorado.

**Figura 1.** Clasificación de los grupos de investigación del Programa Nacional de Biotecnología (Colciencias) por tipo de institución a la que pertenecen



Olaya & Orozco, 2004. Fuente Programa Nacional de Biotecnología- Convocatoria Colciencias 2002

**Figura 2.** Investigadores de los grupos en biotecnología de acuerdo con escolaridad máxima y género



Olaya & Orozco, 2004. Fuente PNB- Convocatoria Colciencias 2002

Si se revisa la evolución en capacidad en términos de formación de investigadores (tabla 1), con los datos de las diferentes convocatorias de Colciencias podríamos observar la clara tendencia al aumento en el número de doctorados y maestrías con relación al nivel de pregrado.

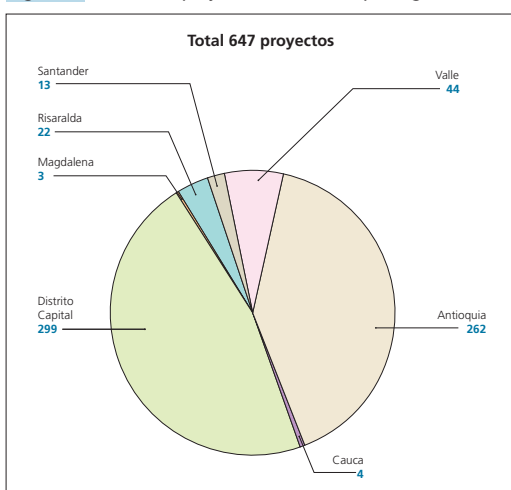
Los grupos, a los cuales se les financiaron proyectos (figura 3) se encuentran localizados principalmente en el Distrito Capital, seguido por Antioquia y Valle del Cauca, con muy pocos grupos en otras regiones.

Tabla 1. Número de investigadores y grupos en biotecnología, en las diferentes convocatorias de Colciencias

Personas/año	1991	1992	1995	1998	2000 (2002)	2004
Maestría	33	49	62	138	(248)	426
Doctorado	25	29	48	90	(162)	183
<b>Total investigadores + personal de apoyo</b>		204	251	532	(854)	1.151
Grupos	20			74	(184)	138
Grupos convocatoria				9	21	112

Olaya & Orozco, 2004. Fuente Colciencias 2000-2002

Figura 3. Número de proyectos financiados por región



Olaya & Orozco, 2004. Fuente Colciencias

Las áreas de aplicación de los proyectos desarrollados en esta etapa muestran una clara hegemonía de proyectos en el área agrícola, seguida por la salud, ambiental e industrial (datos a partir de 2000).

El principal producto de los proyectos de investigación es la producción bibliográfica, que ha venido incrementándose en los últimos años, aunque aún es muy baja con referencia a otros países (figura 4).

En cuanto al número de proyectos financiados por el programa desde 1991, se observa que no ha habido un incremento considerable, lo cual está íntimamente relacionado con la disponibilidad de recursos, que en vez de aumentar ha disminui-

do con el paso de los años (figura 5). En términos de financiación entre los años 1994 y 1996, el país elevó significativamente la inversión en investigación en ciencia y tecnología, luego de lo cual se redujo paulatinamente, incrementándose levemente en los últimos años. No obstante la poca disponibilidad de recursos, el número de propuestas presentadas al PNB aumentaron con el paso de los años, indicando el crecimiento de la comunidad en biotecnología.

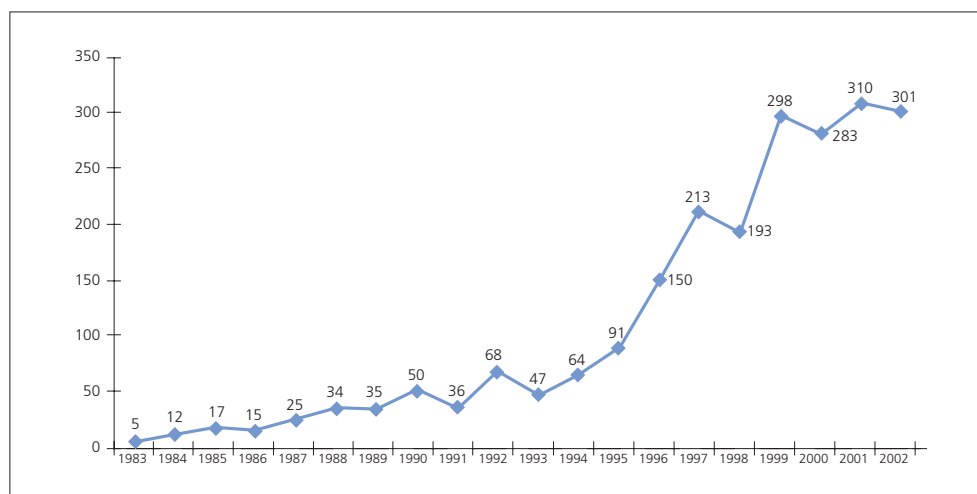
Adicionalmente a los recursos del PNB, Colciencias por medio de los programas de Ciencias Básicas, Ciencia y Tecnología de la Salud, Ciencias del Medio Ambiente y Hábitat y Ciencia y Tecnologías del Mar, la Subdirección de Innovación y Desarrollo Empresarial y el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad aportan recursos a proyectos con componente biotecnológico. A la vez, es importante recordar que existen otros recursos públicos que son destinados a la investigación en biotecnología, recursos que son asignados directamente por los Ministerios (Agricultura y Desarrollo Rural y Protección Social, principalmente) a sectores y prioridades de éstos.

Una proporción apreciable de los recursos para proyectos biotecnológicos ha sido aportada por las universidades (Nacional, de Antioquia, Industrial de Santander, Javeriana, de los Andes), centros de investigación de carácter mixto (Corpoica), y empresas privadas (Cenicaña, Cenicafé, Ce-

Tabla 2. Número de proyectos aprobados por año y por área desde el año 2000 (De Peña, 2005)

	Agrícola	Pecuario	Salud	Ambiental	Industrial	Bioinformática	TOTAL
2000	6	1	6	1	2	0	16
2001	9	3	1	2	0	0	15
2002	11	0	0	5	4	0	20
2003	6	1	2	5	2	0	16
2004	5	1	6	3	0	2	17
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>84</b>

Figura 4. Publicaciones de los grupos de investigación cuyo programa nacional principal es biotecnología



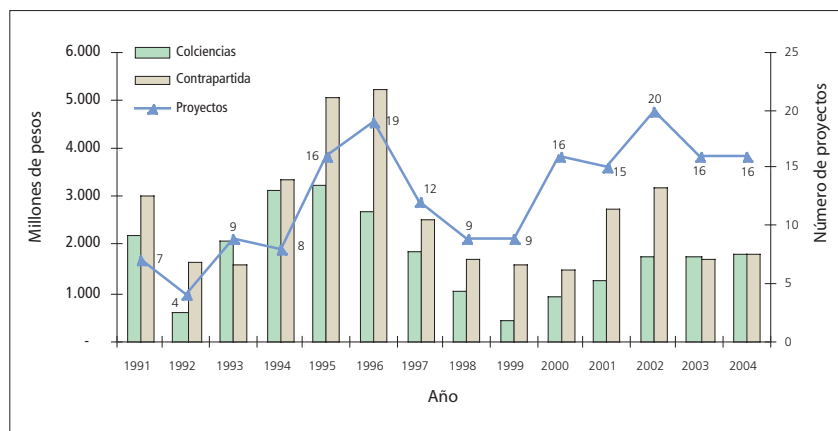
Olaya & Orozco, 2004. Fuente Colciencias

nipalma, Fedepapa, Fedearroz, Corpocebada). Se estima que los recursos asignados por Colciencias a I&D son aproximadamente un 10% del total de los recursos nacionales.

La financiación a través de convenios internacionales también ha sido importante en el desarrollo de la biotecnología. Existen acuerdos de cooperación con centros y grupos de excelencia (ICGEB, CYTED, CABBIO, entre otros) que han sido fundamentales en la capacitación y formación de capital humano. Instituciones como ORSTOM, la Fundación Rockefeller y la ONUDI financian algunos proyectos de biotecnología en Colombia.

También existen otros medios de financiación, especialmente para el desarrollo de empresas. Entre éstos, están los fondos como Fomipyme (Fondo Colombiano de Modernización y Desarrollo Tecnológico de las micro, pequeñas y medianas empresas del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo) que cofinancia proyectos de investigación hasta por el 65% de su valor; el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), que ha asignado recursos para proyectos de biotecnología y que se entregan a empresas a través de incubadoras; la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República, que ha apoyado proyectos en biotecnología, entre otros.

**Figura 5.** Número de proyectos financiados y recursos (en pesos constantes) destinados por el Programa Nacional de Biotecnología (1991-2003) (2000: aprobados 16 por PNB y 4 por Innovación)



Además de la información de Colciencias y del OCyT, otro estudio de capacidad en biotecnología, realizado por W. Roca (2004), identifica 135 grupos de investigación en biotecnología en Colombia. A continuación, se presentan los datos:

- Se identificaron 62 grupos (45,9% del total) que utilizan la biotecnología en recursos genéticos vegetales, 30 (22,2%) dedicados a estudios en humanos, 12 (8,9%) y 6 (4,4%) con trabajos en áreas de ambiente y de industria respectivamente, y 5 grupos que desarrollan investigación en microorganismos (3,7%).
- Se identificó que el país utiliza una amplia gama de biotecnologías, siendo la de mayor uso la multiplicación *in vitro* (47 grupos), generalmente en vegetales. Las técnicas de biología molecular están ampliamente difundidas, desde la biología molecular básica (31 grupos), hasta estudios genómicos y proteómicos (2 y 1 grupo, respectivamente). Un grupo hace secuenciamiento de DNA; 4 grupos, clonación de genes, y 15, transformación genética. Entre las técnicas bioquímicas y químicas analíticas utilizadas, se encuentran la exploración de sustancias naturales usando HPLC (9 grupos), trabajos con metabolitos secundarios (6), caracterización de

enzimas y proteínas (5), espectrometría (1) y librerías químicas (1 grupo).

- En términos de recursos genéticos utilizados, los más investigados son las bacterias (19,7%) y los hongos (18,2%). Las plantas ornamentales y los frutales comprenden el 12,8% y el 11,3%. Hay un tercer grupo conformado por raíces y tuberosas, virus, y protozoarios y parásitos, que fluctúa entre 7,9 y 5,9%, mientras que los comprendidos por cultivos industriales, animales silvestres, insectos, animales domésticos, cultivos forestales, plantas medicinales, granos, hortalizas, leguminosas y herbáceas representan individualmente porcentajes menores al 4,5%.
- En las áreas de especialización de los investigadores, las ingenierías química e industrial cuentan con el mayor número de profesionales, seguidas por las áreas de biología, microbiología y salud humana y animal. Los profesionales con grados académicos de magíster y doctor se encuentran en su mayoría en las áreas referidas y en ingeniería química e industrial. Por otro lado, el número de profesionales dedicados a la biología molecular, biotecnología y genética molecular comprende un número relativamente menor, aunque la mayoría de estos profesionales cuenta con estudios de posgrado.

El estudio realizado por Roca (2004), adicionalmente a los indicadores en número de grupos, sector de aplicación y áreas de formación y dedicación de los investigadores, seleccionó 22 grupos para un estudio más profundo, y los analizó de acuerdo con sus capacidades en cuanto a tecnologías utilizadas, recursos humanos especializados y nivel de formación, infraestructura, productos, propiedad intelectual, alianzas y recursos genéticos o biológicos utilizados. Aparecen 12 grupos con calificación alta, que se enuncian a continuación con algunas de sus líneas de investigación. Algunos trabajan a la vez en varios sectores de aplicación. Así mismo es importante aclarar que estos no son todos los grupos de excelencia en el campo en el país, sino una muestra del estudio.

#### Sector agrícola y forestal

- Corpoica: realiza investigaciones con genes de *Bacillus thuringiensis* (Bt), en ingeniería genética de plátano, para resistencia al picudo negro, y en algodón para resistencia al picudo. A la vez, lleva a cabo investigaciones en casi todas las áreas de agro-biotecnología y recursos fitogenéticos: caracterización molecular de germoplasma (papa, aguacate, musáceas, guanábana, pasifloras, maíz, soya, algodón, guayaba, tomate de árbol). Trabajos con pasifloras, a través de un proyecto colaborativo con el CIAT, en la diversidad genética y la filogenia de especies colombianas. Se trabaja en maíz en selección asistida por marcadores moleculares (MAS) para tolerancia a sequía y a suelos ácidos; lo mismo, para tolerancia a toxicidad de aluminio en soya. También se utilizan microsatélites (SSR) para estudiar la diversidad del hongo causante de la sigatoka. Corpoica cuenta con el banco de germoplasma, que mantiene 22.000 accesiones de 75 especies; el banco de germoplasma de papa, con 760 accesiones de siete especies cultivadas: *Solanum tuberosum* spp. andígena, *S. phureja* (100 accesiones), *S. juzepczukii*, *S. curtilobum*, *S. stenotomum*, y 1.200 accesiones de cinco especies silvestres.
- Laboratorio de Biotecnología de Cenicaña: adelanta trabajos en el uso de microsatélites para el registro y protección de variedades de caña, con el fin de definir la base genética de parentales para el mejoramiento y estudios de polimorfismos entre variedades resistentes y susceptibles, con miras a marcación de genes de resistencia; en el desarrollo de marcadores para el síndrome de la hoja amarilla de la caña con financiamiento de Cenicaña (95%) y de Colciencias; y en técnicas de PCR para la detección de la bacteria causante del raquitismo y la escaldadura de la caña de azúcar y para la detección de virus RNA Fiji, hoja amarilla y mosaico de la caña. Además, Cenicaña es parte de un consorcio internacional para la biotecnología y genómica de la caña de azúcar, y genera material transgénico con resistencia (gen *Bt*) al síndrome de la hoja amarilla, enfermedad de la caña. El material transgénico está listo para ensayos de campo.
- Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN): realiza sus actividades mediante proyectos colaborativos con instituciones como el SENA para el desarrollo de incubadoras de empresas, y en cadenas productivas (Asocaucho, Aves, Leches, Cevipapa, etc.). Así mismo desarrolla un proyecto en la Costa Atlántica con ñame (*Dioscorea* sp.), para la producción de material de calidad para la siembra. Este proyecto lo adelanta en colaboración con el gobierno de Holanda. También ejecuta un proyecto sobre cadena productiva de caucho, en la región de Caquetá y Putumayo, con el Ministerio de Agricultura.
- CorpoGen: corporación creada en 1995, sin ánimo de lucro y regida por el derecho privado. Realiza investigación en biotecnología molecular y genética molecular, en diagnósticos de patógenos vegetales, en la identificación de marcadores moleculares específicos de *Fusarium*

*oxysporum f.sp. dianthi* y *F. oxysporum f.sp. dianthi* razas 2 y 4 (las más agresivas en la Sabana de Bogotá), con el fin de desarrollar una prueba diagnóstica molecular específica; y en expresión y caracterización de una hemicelulasa de *F. oxysporum f.sp. dianthi*.

- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Compañía Colombiana de Tabaco S.A. (Coltabaco): realiza investigación y desarrollo relacionado con biodiversidad mediante trabajos colaborativos con la Universidad de Antioquía en determinación de los principios activos responsables de la resistencia a *Heliothis virescens*, con miras a la identificación de las moléculas responsables; con la Universidad de Clemson en evaluación de germoplasma para fuentes de genes de resistencia a *Heliothis*: colaboraciones con India y Brasil; con el CIB en caracterización molecular de *Bt* para control de coleópteros y lepidópteros del tabaco, y otras colaboraciones con la Universidad de Kentucky, E.U., el INRA de Francia y Suráfrica. Entre los productos que ha desarrollado el centro, se encuentran cuatro variedades de tabaco usado en cultivo de anteras; dos de éstos tienen derechos de obtentor.

#### Sector industrial

- Sucromiles: empresa de capital nacional (49%) y extranjero (51%). Su actividad principal de negocio ha estado basada en fermentaciones tradicionales, mediante la adaptación de tecnologías clásicas para la producción de ácido cítrico. Desarrolla investigación en el mejoramiento de cepas de microorganismos por mutación química y selección; exporta ácido cítrico y alcohol a Venezuela, Chile, Argentina y República Dominicana, entre otros, y trabaja en el desarrollo de biofiltros para la remediación de residuos de la caña para eliminar el ácido sulfhídrico, proyecto colaborativo con Colciencias, Corporación Biotec y Levapán.

- IBUN: desarrolla un proyecto para el uso de residuos de la palma de aceite para la producción de etanol como solvente. Hay 35 técnicos en proyectos con empresas.

- Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle: trabaja con jugos de frutas tropicales en colaboración con la industria (Alpina), y en extrusión termoplástica para obtener productos a partir del maíz y la yuca, en colaboración con Carn Productos y con ClaYuca, CIAT.

#### Sector de productos naturales, biofarmacéuticos y salud humana

- En su encuesta de grupos del sector académico y de pequeños industriales y cultivadores dedicados a productos naturales, Colciencias ha identificado 57 grupos que realizan trabajos en productos naturales. En la tabla 3, se presenta un resumen.

Taller Internacional sobre Aprovechamiento de Recursos Biológicos y Oportunidades de Utilización en Colombia, marzo de 2003, Bogotá (M. Tobar; Colciencias).

- Instituto Alexander von Humboldt: adelanta estudios de investigación en genética de la biodiversidad. Posee un Banco de Tejidos, como fuente futura de DNA, mantenido en nitrógeno líquido, para propósitos de investigación. Actualmente, el Banco contiene unas 2.000 muestras de 1.200 especies de todo el país, con preferencia de endemismos y material amenazado. También realiza investigación de diversidad usando AFLP, microsátélites, RAPD y secuenciación para estudio de filogenia con la colaboración de la Unidad de Biotecnología del CIAT. Los proyectos de investigación se realizan en palmas amenazadas de Colombia; robles, con apoyo de la Fundación para la Educación Superior (FES) y del Banco de la República; biodi-



Tabla 3. Número de grupos de investigación por institución con trabajos en productos naturales en Colombia

Institución	# grupos	# investigaciones	Líneas de investigación
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	10	57	Principios activos de rutáceas, myristicáceas, solanáceas, euforbiáceas; fitoalexinas, aromas de frutas, fármacos, antifúngicos, antiinflamatorios, antihipertensivos, anticancerígenos, anti-Sida, antiparasitarios, biopesticidas.
Universidad de Antioquia, Medellín	12	84	Antimaláricos, biopesticidas, leishmaniasis, antimicrobianos, antiprotozoarios, insecticidas, fitoalexinas, acetogeninas, alcaloides, antioxidantes, cosméticos, aceites esenciales.
Universidad del Valle, Cali	3	19	Validación farmacológica de plantas medicinales, monitoreo terapéutico de medicamentos, síntesis de compuestos con actividad biológica.
Universidad del Cauca, Popayán	3	12	Toxicología, parasitología, bacteriología de productos naturales.
Universidad del Magdalena, Santa Marta	2	3	Fitoquímica.
Universidad del Atlántico, Barranquilla	2	4	Fitoquímica.
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga	1	4	Antioxidantes, aceites esenciales.
Universidad de los Andes, Bogotá	2	8	Aromáticos, medicinales, microbiología experimental.
Universidad Javeriana, Bogotá	1	8	Fitoquímica.

Taller Internacional sobre Aprovechamiento de Recursos Biológicos y Oportunidades de Utilización en Colombia, marzo de 2003, Bogotá (M. Tobar, Colciencias)

versidad asociada al tratamiento de aguas residuales con UniValle, y en especies amenazadas con el Ministerio de Medio Ambiente.

- CorpoGen: en el área de salud humana, trabaja en identificación de genes formadores de *bio-film* del género *Klebsiella*, en colaboración con la Universidad de Harvard, E.U.; en biología básica de *Mycobacterium tuberculosis*, en colaboración con siete países, proyecto financiado por la Comunidad Económica Europea; diagnóstico de tuberculosis humana, dengue y rotavirus. Entre los productos desarrollados por esta empresa, están: *kits* para la tipificación genética humana HLA-DR mediante técnicas moleculares; sistema de aislamiento de DNA humano, oligonucleótidos sintéticos, Taq polimerasa y marcadores de peso molecular.
- Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional: realiza investigaciones sobre plantas medicinales, con miras a la identificación, aislamiento y comercialización futura de principios bioactivos, principalmente para medicina (antiinflamatorios y anticancerígenos, principalmente).

- Centro Internacional de Vacunas, Fundación Univalle: tiene amplia experiencia en el desarrollo de vacunas y medicamentos antimaláricos. Para esto, ha desarrollado modelos animales y tiene el bioterio de primates más importante de Colombia. Actualmente, realiza sus actividades de investigación con financiamiento de National Institutes of Health (NIH) de E.U. Sus proyectos incluyen un convenio con TIGER (bajo financiamiento con NIH) para la secuenciación de *Plasmodium vivax*.
- Grupo de Productos Naturales de la Facultad de Química de Univalle: realiza investigación en obtención de metabolitos del hongo *Botrytis cinerea* (patógeno de 235 especies tropicales); separación de metabolitos de la Stevia.
- Corporación Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas (CIDEIM): organismo dedicado a probar principios o compuestos biológicos para el área biomédica, incluyendo la capacitación de personal especializado. Funciona con financiamiento de Colciencias y externo, incluyendo colaboración con multinacionales. Entre sus actividades, podemos citar las de servicios, donde hacen pruebas o diagnósticos en salud: *test* de PCR para diagnóstico de VIH (registrado por Laboratorios Roche en Colombia); citometría (bajo acuerdo con Perkin Elmer) para diagnóstico de multirresistencia en *M. tuberculosis* por luminiscencia de micobacterias; PCR para diagnóstico de Leishmania y malaria (en colaboración con la universidad peruana Cayetano Heredia); control de calidad en la producción de membranas para injerto de piel en colaboración con Laverlam (escalamiento); ensayos clínicos para calidad de medicamentos genéricos (bioequivalencia y biodisponibilidad) en colaboración con Tecnoquímicos. Y las de investigación en la búsqueda de nuevos blancos (*targets*) para malaria y leishmaniasis; estudios de citotoxicidad a nivel genético/funcional; proteómica, en colaboración con laboratorios de E.U.; resistencia a enfermedades bacterianas; ensayos clínicos controlados en poblaciones humanas.
- Grupo de Productos Naturales de la Universidad de Antioquia: uno de los grupos más importantes de Colombia en esta área. La mayor actividad de este grupo es el estudio y validación de principios activos de plantas medicinales con miras a biocomercio. El grupo trabaja con financiamiento de Colciencias y otros organismos nacionales.

#### Sector nutracéutico

- Corporación Biotec del Valle del Cauca: ha iniciado proyectos sobre principios activos de frutas: acetogeninas de guanábana, flavonoides de uvas en colaboración con la empresa de cosméticos Recamier (análisis y experiencia de mercado); con maracuyá y mango con la empresa Bavaria (Jugos S.A.).

#### Sector pecuario

- CorpoGen: ha desarrollado sistemas de diagnóstico para tuberculosis bovina, a través de marcadores moleculares, y un diagnóstico específico para *Mycobacterium bovis*, evaluado en ganado de la sabana de Bogotá. También, *kits* de diagnóstico para el virus de la mancha blanca del camarón. En alianzas estratégicas con diferentes empresas, presta servicios de diagnóstico molecular para enfermedades aviares como micoplasma, *Newcastle* y corisa.
- Corpoica: mantiene bancos de germoplasma de animales (bovinos criollos, cerdos, ovejas). La investigación con germoplasma de animales incluye: transferencia de embriones para mejoramiento de ganado vacuno criollo y uso de marcadores genéticos para calidad de carne vacuna, y resistencia a enfermedades (aftosa, brucelosis) en las razas criollas.

- Grupo de Salud Animal de la Universidad de Antioquia: trabaja en la caracterización molecular de especies nativas de peces (cachama, zabaleta) y de ganado vacuno criollo, principalmente el ganado blanco ojinegro como contribución a la preservación del ganado criollo colombiano (colaboración de Colciencias). Este grupo también ha sido activo en estudios inmunológicos para diagnóstico de aftosa, hepatitis E y el virus del papiloma en vacunos.
- Laverlam S.A: una de las empresas más antiguas de Colombia en el área de biológicos. Su fuerte está en la producción de vacunas, principalmente contra la fiebre aftosa. Dentro de los productos para enfermedades avícolas, ha desarrollado una serie de vacunas, para la prevención de bronquitis infecciosa, encefalomielitis aviar, gumboro, viruela y artritis viral. Laverlam tiene ocho vacunas diferentes para prevenir una variedad de enfermedades del ganado, y está registrando vacunas contra la estomatitis vesicular y la rabia.
- Grupo de Salud Animal de la Universidad de Antioquia: trabaja en la caracterización molecular de especies nativas de peces (cachama, zabaleta) y de ganado vacuno criollo, principalmente el ganado blanco ojinegro como contribución a la preservación del ganado criollo colombiano (colaboración de Colciencias). Este grupo también ha sido activo en estudios inmunológicos para diagnóstico de aftosa, hepatitis E y el virus del papiloma en vacunos.
- Están utilizando *Pseudomonas* para la degradación de hidrocarburos y fenoles del petróleo usando tecnología de células inmovilizadas.
- CorpoGen: lleva a cabo investigación en diversidad microbiana y de procesos biológicos. Viene realizando trabajos de bioprospección (con financiamiento de Colciencias) para la identificación de microorganismos de las aguas del río Bogotá. También se está estudiando el efecto de poblaciones microbianas sobre la producción de metabolitos secundarios, y se han aislado microorganismos para el proceso de remoción de cromo hexavalente en industrias de cromado.
- Corporación Biotec: tiene proyectos colaborativos, mediante gestión, con Sucromiles para la elaboración de biofiltros para biorremediación de residuos de la caña de azúcar para eliminar el ácido sulfhídrico; y producción de “vinaza”, un producto derivado de la acción de *Trichoderma* sobre la melaza de la caña de azúcar. El biofiltro desarrollado por Sucromiles ha tenido éxito a nivel comercial.

#### Sector ambiental y microorganismos

- Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental de la Universidad Javeriana: trabaja en la búsqueda de indicadores de contaminación para la reutilización de aguas residuales. Aquí, la biología microbiana a nivel anaeróbico es importante. El trabajo se concentra en aguas residuales de Paipa, mediante el estudio de microorganismos termofílicos en colaboración con el IRD, Marsella. Se han encontrado dos nuevas especies (sulforreductoras y *Clostridium*), y hay pendientes 10 especies para su caracterización. Se ha ensamblado un cepario de 20 especies: mesofílicas y termofílicas. En colaboración con Ingeominas y la Universidad de Bremen se realiza un estudio ecológico molecular de los termales de Paipa.
- CIMIC de la Universidad de los Andes (ULA): realiza investigación en el tema de biorremedia-

#### Sector biopesticidas y biofertilizantes

- Empresa Colombiana de Productos Veterinarios (Vecol S.A.): una de las empresas más antiguas de Colombia y cuya tradición ha sido la producción y distribución de vacunas. También está desarrollando actividades productivas en el área de control biológico de plagas agrícolas, a través de alianzas y colaboraciones con diversas instituciones: *B.thuringiensis* con la Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB), y Beauveria con la Federación Nacional de Cafeteros.
- Centro de Investigaciones Microbiológicas (CIMIC) de la Universidad de los Andes: lleva adelante actividades colaborativas de investigación/desarrollo/servicio, como en biopesticidas: *Bacillus sphaericus* para control de mosquitos vectores de enfermedades tropicales. La inves-

tigación/desarrollo se hace en colaboración con el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de los Andes, y el escalamiento con LST (Life Systems Technology S.A.). También realiza estudios en promotores del crecimiento: estudios iniciales sobre micorrizas arbusculares y *Azotobacter*, con LST, sobre metabolitos secundarios de endofitas para uso en salud y medio ambiente. En servicios: el CIMIC realiza control de calidad de cepas de *Bt* de Vecol, Laverlam (Cali) y Proficol.

- IBUN de la Universidad Nacional: desarrolla proyectos de investigación y productos como biofertilizantes; fijación de nitrógeno y solubilizadores de potasio registrados en el ICA; bio-prospección de *Bt* en todo el país; una cepa *Bt* registrada ya en Colombia y para patentamiento en E.U., para el control de *Spodoptera* (papa, algodón, soya, sorgo); cepas para control de mosquitos transmisores del dengue en México, Brasil y Colombia, y control biológico de hongos como *Rhizoctonia solani* de papa con *Pseudomonas*, en estudio, entre otros.
- Corpoica: realiza investigación en bioplaguicidas en colaboración con varios grupos para control biológico de *Tescia* en papa; uso de una levadura para control de una plaga del tomate (se ha encontrado que, además, retarda la maduración del fruto). Corpoica mantiene un cepario de 3.000 accesiones entre bacterias, hongos y levaduras. El programa de control biológico de Corpoica ha logrado avances significativos en la aplicación de los principios del control integrado a un número significativo de cultivos, a través de colaboraciones con organismos del sector productivo colombiano.
- Life Systems Technology S.A. (LST): se inició hace 15 años, como una iniciativa de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, dentro del Laboratorio de Investigaciones sobre

Química del Café (LIQC). Actualmente, LST se ha situado bien a nivel internacional como empresa de agrobiológicos. Tiene cinco productos en el mercado. Ha establecido alianzas y colaboraciones en Italia, España, Suiza y Alemania para sus productos agrobiológicos, para su distribución en Colombia y otros países. Tiene productos registrados en Guatemala, Honduras, Costa Rica, Ecuador y Argentina, y contactos establecidos en Brasil (control de la garrapata y mosca blanca), en Panamá (mosca blanca) y E.U. (mosca blanca, áfidos, trips y coleópteros de cítricos). En colaboración con CorpoGen, está analizando mecanismos moleculares en los géneros de hongos *Trichoderma* y *Beauveria* para la caracterización de cepas con base en su actividad en el control biológico.

- Laverlam S.A.: ha incursionado en la producción de *Bt* para el control de la polilla de la papa con éxito; para otros agrobiológicos, tiene colaboración de escalamiento con Corpoica (control biológico), el Cideim (Cali) y con Cenicafé (control biológico). En la actualidad, la compañía tiene siete productos registrados con base en los siguientes hongos y bacterias: *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Verticillium lecanii*, *Entomophthora virulenta*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus thuringiensis*. Todos los productos han pasado las pruebas Tier I agentes de control microbiológico (estudios toxicológicos), siguiendo las guías de la agencia para la protección ambiental (EPA) de los Estados Unidos. Esta es la primera y única empresa latinoamericana en haber completado este requisito de calidad.
- Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB): tiene proyectos de investigación básica y de desarrollo en colaboración con la industria. Las líneas de investigación más importantes son: (i) biopesticidas con base en *Bt*, lo que ha dado su característica al CIB; aquí realiza desde investigación básica, desarrollo y comercializa-

ción de productos, tiene colaboraciones con Vecol y Coltabaco sobre investigación y desarrollo de *Bt*; (ii) control biológico basado en productos de la biodiversidad; (iii) vacunas para ganado basadas en DNA recombinante, y (iv) ecología microbiana (biorremediación).

De acuerdo con los estudios presentados anteriormente, se observa que, en términos de capacidad y de recurso humano, el país cuenta con una comunidad académica preparada, que crece con el tiempo. En términos de financiación, como ya se indicó no se ha incrementado significativamente la designación de recursos a proyectos en el tema. En contraste, el número de solicitudes presentadas a las convocatorias del Programa Nacional de Biotecnología ha ido en aumento en los últimos años, indicativo del incremento de los grupos de investigación en el tema. Así, mientras a la convocatoria de 2000 sólo se presentaron 19 grupos, a la de 2002 llegaron 123, del campo de la biotecnología. De éstos, 49 grupos tenían la biotecnología como programa principal y 74 como programa secundario, de los cuales fueron reconocidos 11 y 26 grupos, respectivamente. En enero de 2005, había 90 grupos registrados en el Programa Nacional de Biotecnología, de los cuales 39 son reconocidos. También existen 125 grupos que lo reportan como programa secundario y, de éstos, 55 son reconocidos. En total, hay 215 grupos registrados y 94 reconocidos, que realizan actividades de investigación en biotecnología.

#### Formación de recursos humanos

En cuanto a educación, el país cuenta con un sistema educativo básico en constante evaluación y cambio. El estudio realizado por el OCyT y Colciencias (con datos 2002) (Orozco & Carrizosa, 2004) con información recolectada de los programas de pregrado y postgrado relacionados directamente con biotecnología, es decir, programas que pueden llevar a la formación de investigadores en áreas básicas (Biología, Medicina, Biomé-

dicas, Microbiología, Química, Farmacéuticas, Salud Animal y Producción Animal, e Ingenierías relacionadas), presenta los siguientes datos:

- Total de instituciones: 82
- Total de programas de pregrado: 260
- Total programas de posgrado: 145
- Doctorados: 16
- Maestrías: 50
- Especializaciones: 79

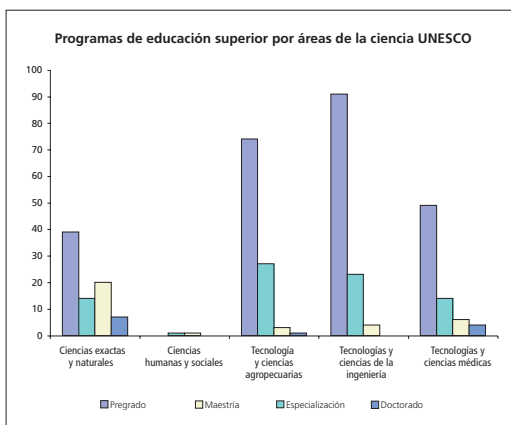
La oferta de formación a nivel de doctorado, en temas relacionados con biotecnología, se concentra en Ingenierías, Ciencias Biológicas, Biomédicas, Farmacéutica, Salud Animal y Producción, Ciencias Agrarias y Química, entre otros. Los doctorados están soportados por grupos de investigación en las diferentes instituciones, que tienen líneas de investigación en cada campo.

Adicionalmente, el estudio (Orozco & Carrizosa, 2004) incluye una revisión de otras áreas, teniendo en cuenta que la biotecnología es interdisciplinaria y que para su desarrollo y comercialización es indispensable que en el proceso se encuentren implicados profesionales de muchas áreas de las ciencias (Derecho, Administración, Economía, Ingenierías). La selección de estos programas adicionales se realizó teniendo en cuenta la formación de los investigadores que en el país desarrollan proyectos de investigación con base biotecnológica, estudios de análisis y gestión en el área y profesionales que se encuentran en diversos foros sobre biotecnología. Los resultados muestran que el país tiene la estructura educativa adecuada en las diferentes áreas, pero sería importante la revisión e integración de los temas específicos en los diferentes currículos (figura 6).

#### Redes e iniciativas regionales

En cuanto a la articulación de sectores en temas estratégicos, se han conformado redes como la Red CDT en Biotecnología, la red de fortaleci-

**Figura 6.** Programas de educación superior por áreas de la ciencia



Fuente: Orozco & Carrizosa, 2004

miento de la bioinformática y el grupo interdisciplinario de trabajo en el control de enfermedades de la papa, entre otros. Adicionalmente, existen algunas iniciativas regionales, como Biorregión Valle del Cauca, Proyecto Agenda Prospectiva de Innovación en Medicina y Biotecnología para Antioquia del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, y Bioprogreso en la región Bogotá-Cundinamarca, que describimos a continuación.

#### a. Bioprogreso

Bioprogreso es una iniciativa regional de Bogotá-Cundinamarca, y tiene como misión ser un organismo que identifique, promueva, gestione e implemente acciones que fortalezcan la biotecnología como sector estratégico para el incremento de la competitividad de la región. Esta iniciativa nació de la premisa básica de la biotecnología de conformar grupos interdisciplinarios que permitan el accionar y su desarrollo. La Alcaldía Mayor de Bogotá, la Cámara de Comercio de Bogotá y la Gobernación de Cundinamarca conformaron el Consejo Regional para la Competitividad de Bogotá y Cundinamarca, el cual, a través de la concertación de decisiones público-privadas, pretende adoptar decisiones económicas estratégicas para mejorar el entorno económico de la región.

Para tal fin, se establecieron siete mesas de trabajo, siendo la de Tecnología para la Innovación la encargada de manejar el capítulo de Biotecnología. Desde noviembre de 2001, se estableció la mesa de biotecnología, a la cual se convocaron actores pertenecientes al sector de empresas de base biotecnológica, el sector académico científico y el sector gubernamental. De estas reuniones, nació el grupo Bioprogreso.

Dentro del plan estratégico trazado por los diferentes miembros de Bioprogreso, se planteó la posibilidad de realizar una misión exploratoria a alguno de los eventos representativos que se realizan a nivel mundial en el tema de la biotecnología. Así, se identificó la Convención Anual de Biotecnología de los Estados Unidos, BIO 2004, como uno de los escenarios más importantes para tener una visión más cercana y real de la industria y poder aprovechar este conocimiento en el fortalecimiento de las empresas y los centros de investigación y desarrollo de Bioprogreso (cada una desde su ámbito), y de la Cámara de Comercio de Bogotá, que también busca aprender sobre la industria biotecnológica y poder así encaminar su apoyo a las empresas de la región.

En el informe de la visita (Bioprogreso, 2004), Bioprogreso presenta los aspectos más relevantes y que, según criterio de los asistentes a BIO 2004, deben ser tenidos en cuenta para fortalecer la biotecnología y hacer que ésta sea una realidad en los procesos de desarrollo de la región Bogotá-Cundinamarca:

- El desarrollo de la biotecnología es compartido actualmente por la academia y las empresas que se dedican al sector biotecnológico; la sinergia entre tecnología y decisión política (desarrollo de marco jurídico, buenas condiciones para los inversionistas, protección de la propiedad intelectual, entre otros) es una clave importante para el desarrollo exitoso y eficiente de la biotecnología.

- La industria de la biotecnología ha experimentado un avance vertiginoso en los últimos tiempos, con impactos financieros y sociales significativos. El país debe por lo tanto direccionar esfuerzos estatales y privados que permitan su desarrollo.
  - El Estado debe financiar la primera etapa en la creación de empresas de base biotecnológica y las universidades y centros de investigación deben convertirse en fuente de desarrollos innovadores que sean el material para el inicio de estas empresas.
  - En general, el público no está familiarizado con el tema de la biotecnología, y carece de información adecuada que le permita entender, apropiarse y aprovechar los resultados de la misma. Por lo tanto se deben iniciar programas de difusión que permitan la aceptación de los productos de la biotecnología por parte de la sociedad.
  - La Cámara de Comercio de Bogotá debe apoyar a las empresas biotecnológicas de la región en la identificación y el desarrollo de un proyecto puntual, que sea de impacto en el país y en la región y que potencialice y apoye a las empresas locales.
  - Como parte del Protocolo de Bioseguridad de Cartagena, el país debe evaluar los inconvenientes que éste está generando a nivel mundial en el avance de la biotecnología y sus productos.
  - Se deben iniciar alianzas con otras regiones para potenciar los esfuerzos e impulsar la biotecnología a nivel nacional; existen fuentes internacionales de financiación que deben ser exploradas.
  - La amplitud y actualización de los temas tratados permiten tener una visión general del rumbo de la biotecnología en los diferentes campos, y muestran que para llegar a obtener sus beneficios, se requiere de una estructura muy fuerte que incluye la decisión y apoyo de los gobiernos, una alta inversión financiera, recurso humano altamente capacitado y que el conocimiento se transforme en innovación para que realmente llegue a la sociedad en general. El país debe encontrar mecanismos que le permitan transferir los resultados de la academia al sector productivo, bien sean estas oficinas de licenciamiento de tecnologías (TLO), fundaciones o corporaciones.
- Así mismo, al tener una visión general de la situación y futuro de la biotecnología, se presentan recomendaciones de priorización de investigación y desarrollo para cada sector de aplicación de la misma, así como tener en cuenta las tecnologías de frontera como SNP, RNA de interferencia y microarreglos.
- Salud: se podría generar conocimiento que lleve al desarrollo de productos que satisfagan las necesidades locales y las de nuestros países (América Latina). El desarrollo se mueve hacia el diagnóstico. Los temas prioritarios de estudio son polimorfismos genéticos, anticancerígenos, células madre, enfermedades degenerativas y del primer mundo y vacunas.
  - Alimentos y agricultura: se debe promover el estudio y la generación de nutraceuticos. Debe tenerse en cuenta el desarrollo de transgénicos en cultivos de importancia para el país cuando esta tecnología se requiera. Los temas prioritarios de estudio son los transgénicos (desarrollo e investigación), biomasa y biorremediación.
  - Protección ambiental: desarrollo de tecnologías que soporten el desarrollo de la agricultura sostenible. Utilización de microorganismos para la degradación de biomasa y generación de energías alternativas.

– Industrial: desarrollo en los procesos de separación y purificación. Se evidenció un crecimiento medio a nivel mundial en este tema.

#### b. Biorregión Valle del Cauca

La estrategia Biorregión Valle del Cauca fue acogida en el marco de la Agenda Prospectiva de Ciencia, Tecnología e Innovación (CyT+I), del Valle del Cauca (2004) - Caso Piloto Bioindustria/Biotecnología, identificada como una apuesta regional para el desarrollo del país, y reconocida en el Plan de Desarrollo del Departamento 2004-2007 “Vamos juntos por el Valle del Cauca” y acogida por Colciencias con un respaldo de capital semilla de \$500 millones. La estrategia ha diseñado un plan de acción inmediato, de arranque y planeación a 10 años, con el propósito de contribuir a que en 2015 el Valle del Cauca y el Occidente colombiano sean reconocidos nacional e internacionalmente por la cohesión y fortaleza en el desarrollo de las ciencias de la vida; por el uso sostenible de la biodiversidad, la competitividad de la producción y la generación de bionegocios, y por los crecientes índices de calidad ambiental y desarrollo humano.

Las áreas temáticas de la agenda de Biorregión Valle del Cauca, identificadas con el Caso Piloto Bioindustria/Biotecnología, son la formación de recursos humanos, el financiamiento e inversión en infraestructura y bionegocios, la apropiación social y productiva de la biotecnología, la evaluación y monitoreo de tendencias tecnológicas y de mercados, la orientación de política pública, la orientación de estrategia empresarial, la orientación académica y de I&D, la generación de impactos en la sociedad y la conformación del portafolio regional de programas, proyectos e iniciativas.

Las líneas de acción a seguir identificadas son:

– Construcción colectiva. Promoción de la apropiación social y divulgación de la estrategia Biorregión Valle del Cauca.

– Constitución de un fondo patrimonial para adelantar la estrategia.

– Formulación del plan de la estrategia a 2015 y puesta en marcha de su arquitectura organizacional. Aquí se incluyen la selección y promoción de líneas, programas, proyectos e iniciativas prioritarios, identificando inicialmente proyectos en diferentes ejes temáticos:

– Nutrición, exportaciones y calidad ambiental: Valle del Cauca, agricultura saludable - énfasis en frutales.

– Bioprospección y apropiación de genes de especies leñosas económicamente importantes y promisorias de Colombia.

– Producción de biopolímeros en Colombia, a partir de la caña de azúcar, a manera de ejemplo de proyectos que convoquen y sean articuladores, relacionados con temas críticos de la región y el país.

– Constitución del Consejo de Biorregión Valle del Cauca, conformado por universidades, centros de desarrollo tecnológico, la comunidad de la región, el sector empresarial, Colciencias, la secretaría técnica del Consejo y el gobernador.

#### c. Proyecto Agenda Prospectiva de Innovación en Medicina y Biotecnología para Antioquia del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia

El Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), corporación mixta, sin ánimo de lucro, fue creado con el apoyo del gobierno departamental, ProAntioquia, Colciencias, universidades, gremios, fundaciones, instituciones y empresas privadas de Antioquia. Para el cumplimiento de su misión, lo acompañan y apoyan entidades de diferentes sectores, con quienes se planea y desarrollan proyectos de impacto para el uso de la ciencia y la tecnología como factor estratégico para el progreso de la región.

El Centro tiene como socios el sector público (Colciencias, Gobernación de Antioquia, SENA), universidades (Católica de Oriente, de Antioquia,



de Medellín, Escuela de Administración, Finanzas y Tecnología - Eafit, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Nacional de Colombia sede Medellín y Pontificia Bolivariana), organizaciones empresariales (Asociación Nacional de Industriales - Andi regional Antioquia, Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, Federación Nacional de Comerciantes - Fenalco Antioquia, Fundación para el Progreso de Antioquia - Proantioquia) y empresas (Compañía de Cemento Argos, Interconexión Eléctrica S.A. - ISA, ISAGEN, Suramericana de Seguros).

Los temas estratégicos identificados para la región son agua, biotecnología y medicina. Se promueve la cooperación de generadores y usuarios del conocimiento para el desarrollo de Antioquia, buscando evaluar y analizar experiencias, la construcción de lineamientos de política, la articulación de programas y proyectos, y el apoyo a experiencias exitosas en los mismos.

Uno de las iniciativas fue la Consulta Nacional de Medicina, desarrollada con el fin de definir la Agenda de Medicina y Biotecnología de Antioquia (CTA, 2004). Los resultados de la consultan permiten identificar, entre otros, el conjunto de tecnologías y áreas de investigación y su impacto y viabilidad en el futuro.

Las conclusiones generales del estudio indican:

- En el campo de desarrollo de productos y tecnologías, el desarrollo de medicamentos a partir de la biodiversidad es considerada la alternativa más importante y viable. Las otras alternativas de producción de vacunas, diagnóstico, otras formas de obtención de medicamentos y terapias celulares se consideran de menor viabilidad y, en algunos casos, de menor impacto esperado.
- De forma consistente con lo anterior, se privilegia la bioprospección -tanto en impacto espe-

rado como en viabilidad-, que está en la base del potencial de desarrollo de medicamentos a partir de la biodiversidad, con énfasis en las especies vegetales; si bien no se excluyen microorganismos y otras formas: especies marinas, ofidismo, etc.

- Estas dos consideraciones muestran una línea de trabajo en la que parece haber consenso: el desarrollo de medicamentos a partir de la investigación. No obstante, quedan muchas dudas sobre las capacidades de hacer uso de tecnologías y conocimiento avanzados en este campo, por lo menos en las respuestas que dan los consultados sobre este tipo de tecnologías.
- La bioinformática es la disciplina que mayor impacto y viabilidad presenta; no obstante, contrasta con la ausencia de otras áreas que requieren de este tipo de conocimiento, como la genómica y la proteómica, que aparecen con menor viabilidad de desarrollo en el país. Esto parece ser consistente con la idea de que existen mayores capacidades tecnológicas en áreas como el software que en la biología molecular propiamente dicha, si bien hay importantes capacidades en este campo.
- Existe una gran zona de media prioridad, en la cual se reconoce el impacto futuro de las tecnologías –en concordancia con las expectativas internacionales–, pero se presentan dudas sobre la viabilidad de realizarlas en el país, lo cual la convierte en una zona ambigua, sobre la que es necesario precisar las verdaderas condiciones de viabilidad en ejercicios futuros. En este campo está la mayor parte de las tecnologías avanzadas y también el desarrollo de otros productos.
- Las terapias celulares y la organogénesis aparecen con baja importancia y viabilidad, así como otras técnicas relacionadas con la ingeniería de tejidos y cultivos celulares, lo que contrasta con

la importancia que tienen en el mundo y el futuro que se les asegura. La nanotecnología también se ve con ninguna probabilidad en la región, por lo avanzado de los requerimientos tecnológicos. Se debe notar que en la prospectiva internacional, su impacto se espera a más de 20 años.

- La telecirugía, los xenotransplantes, los robots quirúrgicos y los alimentos genéticamente modificados no se consideran ni viables en Colombia ni con impacto en el futuro de la medicina en el mundo. En las previsiones internacionales sobre dicho futuro, los pronósticos difieren, en particular en lo que se refiere a los robots quirúrgicos y al papel de la modificación genética de alimentos, que se consideran de gran proyección. Sobre el papel de la telecirugía, no hay capacidad de determinar el impacto de esta tecnología; si bien probablemente no se convierta en un factor de internacionalización de las operaciones, es una posibilidad. Los xenotransplantes no muestran unas expectativas claras, pues las tecnologías celulares autólogas y alogénicas pueden presentar ventajas importantes sobre estas técnicas, en particular desde el punto de vista de la inmunología.
- En términos generales, en lo consignado en la consulta nacional de innovación en medicina, se observa una tendencia a ver con escepticismo el desarrollo científico en medicina en el país, lo cual amerita una profundización a partir del conjunto de razones que sustentan las diversas opiniones consignadas en la encuesta, parte de la cual ya se realizó con un ejercicio de análisis estructural de sistema de innovación en medicina en Antioquia.

### Mercados de la biotecnología en Colombia

El país no ha realizado realmente estudios de mercados en el sector de la biotecnología. Para efectos de este documento, se consultaron los datos de dos estudios, según los cuales, el merca-

do para la biotecnología en Colombia se presenta principalmente en los sectores agrícola, pecuario, farmacéutico y alimentario.

El documento Bases para una Política Nacional de Biotecnología (Torres, 2002), hizo una primera aproximación al tamaño del mercado para la biotecnología en Colombia, estimando el valor de la demanda por aquellos bienes en cuya producción se utilizan insumos o procesos biotecnológicos. Esta estimación se basó en información secundaria.

El segundo estudio realizado en el marco del Proyecto de Acceso a Recursos Genéticos del Instituto Alexander von Humboldt logró hacer una aproximación más exacta al tamaño de los mercados de biotecnología a través del Estudio del Mercado Nacional de los Recursos de la Biodiversidad. Es importante señalar que este estudio se enfocó principalmente en el aprovechamiento de los recursos de la biodiversidad, donde se muestra que la agregación de valor se da principalmente a través de técnicas de biotecnología.

Dentro de sus principales conclusiones, se señala que en el país no hay demanda de recursos de la biodiversidad nacional con fines de mercado. Gran parte de la demanda de los diferentes sectores evaluados es suplida a través de la importación proveniente de diferentes países del mundo. En términos de cifras, el estudio considera que “el consolidado de la demanda de recursos de la biodiversidad alcanzó en el año 2000 un valor de US\$800 millones, cifra que se ha venido incrementando de manera dinámica con una tasa de crecimiento promedio anual del 10,3% y, a su vez, el tamaño del mercado generado por aquellos productos que se elaboran a partir de estos recursos o que tienen involucrados dichos recursos en algún porcentaje, fue para el mismo año de US\$2.570 millones, es decir, que triplicó el valor que puede generar la biodiversidad en el proceso productivo. Dicha importancia se ve más clara al

analizar el peso que estos recursos generados tienen sobre el Producto Interno Bruto: en 2000, participaron con el 3,1%” (Rodríguez, 2003).

El estudio reconoce las deficiencias en la industria nacional en desarrollo tecnológico y propone unas líneas de acción en el corto, mediano y largo plazo. Si bien se clarifica el tamaño del mercado, es importante señalar que no todo obedece a productos y servicios desarrollados a partir de la biotecnología, como es el caso de la extracción de productos naturales. No obstante lo anterior, el estudio presenta análisis detallado de ciertas áreas de mercado de la biotecnología.

El mercado de biotecnología agropecuaria está conformado principalmente en los subsectores de la venta de semillas mejoradas, tanto por medio de ingeniería genética como a través de métodos convencionales asistidos por marcadores moleculares; material de propagación *in vitro*; protección de cultivos y fertilizantes (herbicidas, fungicidas e insecticidas, incluidos los bioplaguicidas y biofertilizantes producidos con base en el uso de microorganismos); la biotecnología animal, principalmente material reproductivo (semen, embriones); sistemas de diagnóstico; alimentos formulados y medicamentos.

Se considera que el mercado nacional de semillas en términos del número de empresas participantes del mercado nacional no es muy amplio y está dominado básicamente por cuatro empresas multinacionales (Dupont, Syngenta, Monsanto y Bayer Cropscience) que manejan gran parte del mercado, y por tres empresas nacionales (Semillas La Pradera, Semillas Andree y Procampo S. A.), además de los centros de investigación de los diferentes gremios y la presencia de Corpoica como centro de investigación del Estado (Rodríguez, 2003).

El estudio en cuestión considera, además, que “el crecimiento de la demanda de semillas en el mer-

cado nacional fue próspera hasta 1990, pero entró en crisis y llegó a su nivel más bajo en 1998, debido a la drástica disminución de las siembras de cultivos transitorios que son los que demandan las semillas mejoradas. De acuerdo con la información reportada en Acosemillas, en 1990 se producían 98.000 toneladas de semillas de arroz, maíz, sorgo, soya, algodón, trigo, fríjol y forrajeras, cifra que en 1994 cayó a 57.000 toneladas y a 30.000 entre 1998-1999. Situación que ha venido mejorando lentamente en los dos últimos años, llegando a un nivel de la demanda en este período entre 40 y 45 mil toneladas”. En este punto, se concluye que “este comportamiento en la demanda de semillas es consecuencia de los cambios de política adoptados desde 1994 con la apertura económica, momento desde el cual se consideró que era más barato importar las semillas, al punto que hoy en día se importan 157 variedades de semillas solamente entre forrajeras y hortalizas” (Rodríguez, 2003).

Adicionalmente al área de semillas, el mercado de biotecnología agrícola está comprendido por la protección a cultivos y fertilizantes, incluidos los agroinsumos biológicos producidos con base en el uso de microorganismos. El estudio del Instituto Alexander von Humboldt hace un análisis respecto del mercado actual y potencial de los agroinsumos biológicos, donde se observa que el mercado total de pesticidas asciende a US\$601,8 millones, de los cuales el mercado actual es de US\$6,0 millones, con un mercado potencial de US\$300,9 millones. Para el caso de fertilizantes, el mercado total es de US\$220,5 millones, de los cuales el mercado actual es de US\$7,3 millones, con un mercado potencial de US\$110,2 millones (Rodríguez, 2003).

Junto al sector agrícola, el sector farmacéutico es el de mayor potencial para el desarrollo y uso de la biotecnología en Colombia. Está conformado por las industrias productoras de vacunas huma-

nas, vacunas animales, sistemas de diagnóstico y medicamentos. La industria farmacéutica es un sector bastante heterogéneo, que se caracteriza porque produce pero también importa bienes farmacéuticos para uso humano y veterinario semielaborados, así como de consumo final. El estudio del Mercado Nacional de los Recursos de la Biodiversidad 2003, del Instituto Alexander von Humboldt, caracteriza el mercado nacional en los siguientes términos:

“En cuanto al número de empresas, hay un mayor número de industrias nacionales; el 73% pertenece a este grupo, sin embargo, el mercado está dominado por las empresas multinacionales. El primer grupo se caracteriza por la elaboración de productos genéricos en su gran mayoría a partir de la importación del principio activo, mientras que las empresas multinacionales importan productos ya elaborados, solamente para su empaque y comercialización.

“Es importante anotar que, en la actualidad, solamente uno de los laboratorios multinacionales tiene planta de producción en el país; los demás importan todos los productos elaborados en la casa matriz o en las plantas de otros países de la región.

“En el sector hay predominio de pequeña empresa; el 50% cuenta con menos de 50 empleados, la mediana empresa está representada en el 28% de las industrias y como gran empresa se encuentran 30 laboratorios con más de 200 empleados, que corresponden al 22% del total de los laboratorios del país; este último grupo genera el 73% del empleo del sector y aporta el 83% de la producción”<sup>1</sup>.

El documento Bases para una Política Nacional de Biotecnología (junio de 2002) respecto del mercado nacional de biotecnología, concluye: “Es probable que para algunos de los productos de la biotecnología que ofrecen mayor potencial desde el punto de vista tecnológico, los mercados naciona-

les puedan parecer relativamente pequeños. Sin embargo, y en la medida en que esta situación se repite en una buena cantidad de países en desarrollo con mercados de características similares (agricultura, ganadería o enfermedades tropicales), existe un gran potencial en los mercados de carácter regional y subregional” (Torres, 2002).

Por otro lado, en el documento “El agro de cara al TLC” (Cano, 2004), se recuerda la importancia de la biotecnología en la competitividad del país. Se considera esencial incluir en el TLC con Estados Unidos, la constitución de un fondo para la modernización y reconversión tecnológica de su agricultura, el cual deberá financiar, durante el periodo de transición, la adopción de los más avanzados progresos de las ciencias y la transferencia de los más recientes hallazgos de la biotecnología, la capacitación y readopción del capital humano para este propósito a niveles de doctorado y postdoctorado. La justificación del fondo reside en que la agricultura colombiana no solamente se deberá preparar en reconvertir para afrontar en mejores condiciones la mayor competencia externa, sino, además, en la perentoria necesidad de fortalecer la agricultura lícita y contribuir al desmonte de las actividades ilícitas.

### Marco legal e institucional

El documento Bases para una Política Nacional de Biotecnología (junio de 2002) es bastante claro en señalar el marco jurídico internacional y nacional, así como el marco institucional que afecta directamente el desarrollo de la biotecnología.

**Derechos de propiedad intelectual:** de particular relevancia para el fomento de la biotecnología están los sistemas de derechos de propiedad intelectual -DPI-, que en teoría buscan estimular el esfuerzo y la inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías, otorgando monopolio temporal

<sup>1</sup> ANDI. Cámara de la Industria Farmacéutica. La Industria Farmacéutica en Colombia 1991-2000. Bogotá. Sin fecha. P. 18.

Tabla 4. Número de patentes solicitadas y otorgadas en productos de la biotecnología (1995-2000)

Patentes solicitadas						
# Patentes	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Residentes	141	87	159	161	68	75
No residentes	1.093	1.172	1.509	1.670	1.615	1.694
<b>Total</b>	<b>1.234</b>	<b>1.259</b>	<b>1.668</b>	<b>1.831</b>	<b>1.683</b>	<b>1.769</b>
Patentes otorgadas						
# Patentes	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Residentes	81	45	15	59	20	21
No residentes	259	329	362	417	570	574
<b>Total</b>	<b>340</b>	<b>374</b>	<b>377</b>	<b>476</b>	<b>590</b>	<b>595</b>

Fuente: www.ocyt.org.co; Superintendencia de Industria y Comercio, 2001

sobre la comercialización de la invención pero que en la práctica se ha constituido en un sistema para controlar la producción y distribución de aplicaciones comerciales. En los desarrollos recientes de la biotecnología, particularmente en el campo de la genómica y la proteómica, donde se tiene la capacidad para aislar, identificar y caracterizar la actividad de los genes, se ha dado paso a una tendencia en el sistema de patentes, especialmente en Estados Unidos, según la cual es aceptable el patentamiento de los genes. Para compensar esta tendencia en los sistemas de propiedad intelectual están los sistemas de regulación al acceso a los recursos genéticos, cuyo propósito es valorizar y asegurar retornos económicos a las actividades de conservación y suministro de los recursos genéticos.

El país cuenta con el marco legal mínimo para ofrecer un ambiente adecuado al desarrollo de biotecnología que incluye el régimen de los derechos de propiedad intelectual a través de la Decisión Andina 486 sobre propiedad industrial, y la Decisión Andina 345 sobre obtenciones vegetales; y del régimen de acceso a los recursos genéticos a través de la Decisión Andina 391 de 1996.

De acuerdo con el OCyT (2005), con datos de la Superintendencia de Industria y Comercio (2001), el número de patentes solicitadas y de patentes

otorgadas no se ha incrementado, siendo mayor el de las patentes solicitadas por no residentes en Colombia (tabla 4).

**Bioseguridad:** la normativa relacionada, que se ocupa de reducir los riesgos de la liberación de Organismos Vivos Modificados (OVM) al medio ambiente, es igualmente importante para el desarrollo de la biotecnología. Colombia, por medio de la Ley 740 del 24 de mayo de 2002, aprobó el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad emanado del Convenio de Diversidad Biológica y adicionalmente, hasta diciembre de 2005, se contó con una regulación especial para las áreas agrícola y pecuaria como el Acuerdo 13 de 1998, el Acuerdo 02 del 2002 y la Resolución 3492 de 1998 del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, que conformaba el Consejo Técnico Nacional y determinaba el procedimiento para introducción, producción, liberación y comercialización de Organismos Genéticamente Modificados (OGM) de uso agrícola, y el Acuerdo 04/02, la Resolución 2935/01 y la Resolución 1063/05, también del ICA que conformaba el Consejo Técnico Nacional Pecuario, y determinaba el procedimiento para introducción, producción, liberación y comercialización de OGM de uso pecuario y las normas para el registro de personas que realizaran actividades de importación, comercialización, investigación, desarrollo biológico y con-

trol de calidad de OGM de interés en salud y producción pecuaria, sus derivados y productos que los contuvieran. A partir de diciembre de 2005, mediante el decreto 4525 (del 6 de diciembre de 2005), se reglamentó la Ley 740 de 2002. Este decreto establece el marco regulatorio de OVM, su ámbito de aplicación, las autoridades competentes en el tema (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural que delega al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y Ministerio de Protección Social), el proceso de autorización de OVM y la evaluación de riesgo, así como los tres Comités Técnicos Nacionales de Bioseguridad.

Para el sector de alimentos, la institución reguladora es el Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, INVIMA, la cual hasta el momento cuenta con tres decretos el 936 del 96 donde se modifica la comisión revisora del INVIMA y sus salas especializadas, el decreto 3075 del 97 (artículo 54) que indica la necesidad de registro sanitario para alimentos obtenidos por biotecnología de segunda generación, registro que debe otorgarse previo estudio de la sala especializada de alimentos y la Resolución 485 del 2005 por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano donde se incluyen normas para etiquetado de alimentos obtenidos por ciertas técnicas de modificación genética o ingeniería genética. Adicionalmente, este instituto se acoge a la normatividad del CODEX *Alimentarius* que define procedimientos para la evaluación de productos alimenticios que son resultado de OGM.

Como se observa en este tema, Colombia tiene una legislación bastante adecuada para la evaluación de productos de la biotecnología en varios sectores. Falta la articulación de los procedimientos entre algunos sectores, especialmente con el

ambiental. En este sentido, se desarrolla (a partir de 2004 y con tres años de duración) el Proyecto “Desarrollo de Capacidades para Implementar en Colombia el Protocolo de Cartagena en Bioseguridad”, financiado por el Banco Mundial y el Global Environmental Facility –GEF–, con contrapartidas nacionales de tres ministerios, y que tiene como ejecutoras a 10 instituciones nacionales relacionadas con el tema. La puesta en vigor de este marco jurídico articulado se ha convertido en un requisito indispensable para garantizar el desarrollo de mercados de la biotecnología y para crear un entorno adecuado a las inversiones en este campo. El proyecto tiene cuatro objetivos principales:

- Elaborar, desarrollar y consolidar un Marco Normativo Nacional en Bioseguridad y los mecanismos de coordinación interministerial que permitan la seguridad al medio ambiente, a la salud humana y a los sistemas de producción en todas las actividades de introducción, transporte, investigación, producción, uso y comercialización de los OVM por las nuevas biotecnologías, en concordancia con las condiciones estipuladas en el Protocolo de Cartagena en Bioseguridad.
- El desarrollo de un núcleo de capacidad en bioseguridad en cada uno de los ministerios y sus instituciones adscritas y vinculadas, involucradas en la toma de decisiones en bioseguridad en Colombia.
- El establecimiento de un mecanismo de intercambio de información en bioseguridad o BCH (por sus siglas en inglés: Biosafety Clearing House Mechanism), así como también mecanismos de divulgación y sensibilización del público en el tema de bioseguridad.
- El establecimiento de uno o varios Nodos de Excelencia Técnica para la investigación, la va-

loración y el manejo del riesgo involucrado en todas las actividades de introducción, transporte, investigación, producción, uso y comercialización de los OVM.

Vale la pena destacar que el Código Penal, Ley 599 de 2000, tipifica de manera muy estricta una serie de actividades relacionadas con biotecnología, como la manipulación genética, y algunos delitos contra los recursos naturales y medio ambiente que pueden desincentivar la investigación y el desarrollo de productos y servicios biotecnológicos.

**Otras normativas relacionadas:** teniendo en cuenta que el mercado de la biotecnología moderna se comercializa actualmente a través de los mercados tradicionales de las industrias, hay que tomar en consideración trámites y normativas adicionales para cada una de las áreas de mercado, que también afectan el desarrollo de la biotecnología por los costos adicionales que involucran.

Para el sector agropecuario, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), organismo adscrito al Ministerio de Agricultura, es el responsable del control técnico de los insumos agrícolas en el país, incluidas las semillas, según la Ley 101 de 1993 y el Decreto 1840 de 1994, con miras a contribuir al desarrollo sostenible de la producción agrícola y al mejoramiento de la competitividad de la misma.

Dentro de este marco, la Resolución 3079 de 1995 del ICA dicta algunos de los requisitos necesarios que deben cumplir las industrias del sector de agroinsumos biológicos. Esta resolución regula la industria, el comercio y la aplicación de abonos, fertilizantes y plaguicidas químicos y biológicos. Por su parte, la Resolución 329 de 2001 complementa los requisitos, puesto que dicta las disposiciones para el registro de los laboratorios que realizan el análisis de los insumos agrícolas o de los residuos de plaguicidas. La reglamentación en

semillas es considerable, aplica en lo que tiene que ver con los trámites para aprobación del productor de material vegetal para propagación, así como aprobación para comercialización de material vegetal, análisis de calidad (pruebas de evaluación agronómica), registro de importador y/o exportador de semillas. Rigen la materia las siguientes resoluciones: 226 de 1976; 461 de 1981; 2228 de 1983; 987 de 1991; 1840 y 1881 de 1992; 1983 de 1995; 3303 de 1997; 3034 de 1999 y, recientemente, la 2046 de 2003.

Los trámites y la normativa vigentes para el subsector farmacéutico, incluidos los diagnósticos para el cuidado de la salud humana y animal, la medicina herbal y nutracéuticos y los cosméticos y productos para el cuidado personal, es bastante compleja. El Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) es el responsable del control técnico en esta área. El INVIMA otorga un registro sanitario específico según el producto de que se trate, el cual empieza con la letra M para los medicamentos, con la letra N para las preparaciones farmacéuticas a base de recursos naturales (productos naturales o fitoterapéuticos), y con la letra C para los cosméticos. Específicamente los productos derivados de recursos naturales se rigen por el Decreto 677 de 1995, por el cual se reglamenta parcialmente el régimen de registros y licencias, el control de calidad, así como el régimen de vigilancia sanitaria de medicamentos, cosméticos, preparaciones farmacéuticas a base de recursos naturales, productos de aseo, higiene y limpieza y otros productos de uso doméstico, y se dictan otras disposiciones sobre la materia.

**Marco institucional:** más allá del marco normativo es importante identificar otros mecanismos complementarios para el desarrollo de la biotecnología, particularmente en lo que tiene que ver con transferencia de tecnología. Los mecanismos utilizados para su estímulo son variados e incluyen la creación de instituciones dedicadas a la

transferencia, esquemas particulares de financiamiento para I&D&I, exención de impuestos, creación de líneas de capital de riesgo, sistemas de información y monitoreo, y la organización de oficinas especiales para el proceso.

Para el caso colombiano, no basta con tener una institucionalidad encargada de procesar las solicitudes relacionadas con propiedad intelectual. Superintendencia de Industria y Comercio para el caso de las marcas y las patentes, Instituto Colombiano Agropecuario para el caso de las nuevas variedades, y Ministerio del Interior para derechos de autor. Adicionalmente es necesario establecer un marco institucional que facilite a los centros de investigación nacionales, tanto públicos como privados, el acceso a las nuevas tecnologías y, en general, el desarrollo de iniciativas comerciales promisorias, alianzas estratégicas y la cooperación internacional, la vinculación de los diferentes agentes interesados académicos, empresariales y financieros, nacionales y extranjeros y, en general, la integración del mercado. La inexistencia de este marco institucional que puede revestir la forma de oficinas de transferencia de tecnología en el interior de nuestros centros de investigación es preocupante, y se deben tomar medidas para apoyar la creación de unidades de gestión y enlace, con la participación de los sectores público y privado.

El documento del Biotechnology Center of Excellence Corporation respecto de mecanismos institucionales complementarios para el desarrollo de la biotecnología concluye, entre otras cosas, que “los países de la región andina, a los que se refiere el presente informe, deben tratar de garantizar la estabilidad del clima empresarial y un cierto grado de capacidad de predicción para los inversionistas. O sea, la necesidad de que los marcos reglamentarios nacionales sean claros y consistentes, contengan disposiciones uniformes sobre bioseguridad y estén homologados con los

marcos reglamentarios internacionales. Los aspectos de protección a la propiedad intelectual, servicios profesionales y mecanismos apropiados de financiación para cada una de las etapas del crecimiento de la compañía, son igualmente cruciales” (Biotechnology Center of Excellence Corporation, 2003).

### Percepción pública, apropiación social del conocimiento y educación

Debido a que la biotecnología tiene como destino final el sacar productos a la sociedad para su uso, es la aceptación o rechazo del público lo que determinará si los potenciales beneficios de estas tecnologías se llegan a realizar o no.

En Colombia, el debate que se había iniciado con anterioridad se incrementó a partir de la aprobación del ICA (2003) de la siembra de 2.000 hectáreas de algodón transgénico resistente a insectos, hecho que llevó a algunos grupos (Grupo Semillas, el Grupo de Acciones Públicas de la Universidad del Rosario y Consumidores de Colombia) a entablar una acción judicial contra el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el ICA.

En este contexto, es indispensable conocer la percepción que tiene el público acerca de los diferentes productos, identificar las fuentes de información a la que acuden y educar en el tema. En el país, se han realizado algunos sondeos de opinión, a través de entrevistas, en sectores diferentes de la población, pero son esfuerzos aislados que no indican claramente qué percepción tiene la población en general, información que llevaría a tomar medidas en cuanto a educación y comunicación del riesgo. Algunos de estos esfuerzos se presentan a continuación:

- Análisis del cubrimiento en prensa nacional e internacional sobre la cumbre de bioseguridad en Cartagena, Colombia. Investigador principal: Lisbeth Fog Corradine y Mara Brugés Polo. 1999.



- Sondeo de opinión sobre cultivos transgénicos en algunos sectores de la ciudad de Bogotá. John Bejarano y Carolina Romero. U. Nacional. Muestra Medio Ambiente y Desarrollo. Noviembre de 2000. (En el marco de un seminario de cultivos transgénicos de la U. Nacional.)
- Percepciones públicas de la biotecnología: el caso de los alimentos transgénicos. Carlos Perales. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Escuela de Ciencias Humanas. Septiembre de 2001. (Financiado por Colciencias.)
- Percepción pública de la biotecnología en Colombia. Estudio exploratorio en el sector de medios de comunicación. Penélope Rodríguez. Septiembre de 2001. (Financiado por CamBio-Tec, Tecnos y Agro-Bio.)
- Encuesta a consumidores en la ciudad de Cali sobre actitudes hacia los alimentos modificados genéticamente, con una población objeto de 150 consumidores en centros de compra de alimentos. 2002.
- Encuesta a consumidores en Bogotá, realizada por el ICA (pecuario). 2002.

Los tres temas recurrentes en los sondeos de opinión anteriormente citados fueron: en primer lugar, que existe una mayor aceptación de las aplicaciones médicas de la biotecnología que de las aplicaciones en otros sectores. Segundo, un mayor conocimiento acerca de las aplicaciones en mejoramiento de cultivos que en otras aplicaciones; éstas son consideradas importantes pero existen serias dudas sobre su inocuidad, generalmente por desconocimiento de la normatividad y evaluaciones de seguridad de alimentos. Por último, se identifica un gran deseo de tener mayor información en el tema en general. En cuanto al tema de la credibilidad, las encuestas y estudios muestran que es mayor para los grupos analiza-

dos en las agencias técnicas y asociaciones científicas internacionales y nacionales, así como en las universidades, aunque la mayor parte de los encuestados obtiene la mayor información de los medios de comunicación que, en general, no les dan seguridad en cuanto a la veracidad de la información sobre el tema.

Lo anterior indica que en Colombia se han realizado algunos estudios exploratorios en unos pocos sectores de la sociedad sobre su percepción acerca de los productos biotecnológicos, pero que aún queda mucho trabajo por realizar en este aspecto. En este contexto, se hace necesario, para el buen desarrollo de la biotecnología, realizar campañas de capacitación e información a los diferentes sectores de la sociedad, especialmente hacia los comunicadores, que son los que, en últimas, informan al público, así como los tomadores de decisiones en las instituciones relacionadas con el tema.

## Conclusiones

La información recolectada sobre el contexto nacional de la biotecnología permite inferir algunas posibles estrategias que lleven a su desarrollo adecuado en Colombia.

- Colombia posee capacidad científica especialmente en sectores como salud y agricultura. Existen grupos de investigación estructurados que se han ido fortaleciendo en términos de capacidad académica e infraestructura, desde hace más de 10 años, aunque aún falta desarrollar una mayor capacidad. El número de grupos que utiliza la biotecnología para sus estudios se ha incrementado, lo mismo que las propuestas de investigación. A pesar de estos esfuerzos, aún no hay iniciativas claras de vínculos entre la industria y la investigación. Así mismo, es necesario continuar con los esfuerzos realizados en la formación de investigadores, especialmente en ciencias básicas, que son las que soportan la investigación en ese tema y en el área de gestión.

- Los recursos para investigación, aunque se han mantenido a través de los años, aún son escasos para las necesidades de la investigación en biotecnología, si se quiere que ésta sea un factor de desarrollo para el país. Esto hace prioritario la articulación de las diferentes instituciones que destinan recursos para investigación en este campo con miras a hacer más eficiente su utilización, concertando su destinación hacia proyectos estratégicos en cada sector con el fin de racionalizar los pocos recursos para el país.
- La priorización es necesaria para dirigir esfuerzos a necesidades del país, para generar alianzas entre los grupos y, a la vez, para poder racionalizar los pocos recursos para investigación. Ésta debe estar fundamentada en información de mercados potenciales así como de la evolución de los sectores de aplicación de la tecnología en el país, y las necesidades de los mismos. En este punto, sería importante iniciar programas de bioprospección en hábitats nuestros, con fines definidos de acuerdo con los requerimientos regionales o de los mercados, así como desarrollo de empresas de servicios (certificación de productos, asesoría, productos) para sectores esenciales o en crecimiento, en términos económicos, en el país y la región (acuícola, minero, palmicultor, avícola, frutícola y forestal, entre otros).
- La normativa relacionada con biotecnología, aunque es suficiente, requiere ser revisada en algunos aspectos para adecuarse a los desarrollos en este campo y permitir que la investigación, desarrollo e inversión puedan ser realizados de forma ágil y eficiente como lo requiere este tema.
- Se debe desarrollar un programa nacional de evaluación de la percepción de la opinión pública hacia estos productos, así como de la comprensión y apropiación de los temas relacionados con la biotecnología por la sociedad (normativa, derechos de propiedad intelectual, técnicas, productos, riesgos y beneficios de las nuevas tecnologías, ética, entre otros). Este programa debe incluir todos los sectores de la sociedad, especialmente los medios, los sectores decisorios y los maestros e investigadores. En este sentido, se debe incluir el tema en los programas de formación de los nuevos profesionales en las universidades.

## REFERENCIAS

- Agenda de Prospectiva de C&T+I, Valle del Cauca (2004, mayo). Plan de acción inmediato – Bioregión Valle del Cauca. Santiago de Cali.
- Agenda Prospectiva de C&T+I, Valle del Cauca – Caso Piloto Biotecnología /Bioindustria; Pineda, L.- Quibit Cluster. (2004, enero). Documento base para el Foro de Actores del Caso Piloto “Análisis de las principales tendencias en investigación y desarrollo tecnológico en los campos de la biotecnología más relevantes para el Valle del Cauca”. Santiago de Cali.
- Bejarano, J. & Romero C. (2000). Sondeo de opinión sobre cultivos transgénicos en algunos sectores de la ciudad de Bogotá. U. Nacional. Muestra Medio Ambiente y Desarrollo. (En el marco de un seminario de cultivos transgénicos de la U. Nacional.)
- Bio Progreso (2004, junio). Informe de la Misión Exploratoria a BIO 2004. San Francisco – Colciencias – Cámara de Comercio de Bogotá.
- Biotechnology Center of Excellence Corporation (2003, diciembre). Análisis de Mercados para la Utilización de Plataformas de Biodiversidad en la Región Andina Mediante Aplicaciones de Tecnología. Informe final presentado a la Corporación Andina de Fomento (CAF).
- Biotechnology Center of Excellence Corporation (2003, April). “Technology Applications in the Andean Region, Final Report.” Submitted to: CAF - Corporación Andina de Fomento Caracas, Venezuela. Waltham, Massachusetts.
- Cano, C. G. (2004). Introducción. En: El Agro Colombiano frente al TLC con los Estados Unidos. Editor: A. Espinosa Fenwarth. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Primera Edición. Editorial C&B Asociados Ltda. Colombia.
- Colciencias - Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (1999). Programa Nacional de Biotecnología. Plan Estratégico 1999-2004. Bogotá.
- CTA - Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (2004, mayo). Agenda Prospectiva de Innovación en Medicina y Biotecnología para Antioquia.
- De Peña, M. (2005). Informe de Gestión febrero 2000 - enero 2005. [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co)
- Fog C. L., M. Brugés P. (1999). Análisis del cubrimiento en prensa nacional e internacional sobre la cumbre de bioseguridad en Cartagena, Colombia. Informe final presentado a Colciencias.
- Hodson de Jaramillo, E., Aramendis, R. (1995). Directorio de Biotecnología – Colombia. Programa Nacional de Biotecnología, Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” – Colciencias & Programa Regional de Biotecnología para América Latina y el Caribe PNUD-UNESCO-ONU.
- Melgarejo, L. M., Sánchez, J., Reyes, C., Newmark, F., Santos-Acevedo, M. (2002). Plan Nacional de Bioprospección Continental y Marina (propuesta técnica). Bogotá: Cargraphics. 122 pp. (Serie de documentos Generales INVE-MAR, No. 11.)
- OCyT – Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (2005). [www.ocy.org.co](http://www.ocy.org.co).
- Olaya, D. L., Orozco, L. (2004, septiembre). Indicadores del Programa Nacional de Biotecnología. Observatorio de Ciencia y Tecnología, Bogotá.

- Orozco, L. A., Carrizosa, M. S. (2004). Indicadores en Biotecnología de Colombia. Pp 49-84. En: Orozco, L. A. & J. F. Chávez Editores. Construcción de Indicadores en Biotecnología. Región comprendida por cuatro países de América Latina y el Caribe: Colombia, Costa Rica, México y Venezuela. OEA – Colciencias – OCyT. 192 p.
- Roca, W. (2004). “Estudio de las Capacidades Biotecnológicas e institucionales para el Aprovechamiento de la Biodiversidad en los Países de la Comunidad Andina.” Informe presentado a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Corporación Andina de Fomento (CAF). Centro Internacional de la Papa (CIP) Lima, Perú. Octubre, 2003.
- Rodríguez R., M. (2003, abril). Estudios de mercados de la Biodiversidad. Informe Final presentado al Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Rodríguez, P. (2001, septiembre). Percepción Pública de la Biotecnología en Colombia. Estudio Exploratorio en el Sector de Medios de Comunicación. Informe final presentado Programa CamBioTec-Colombia, Fundación Tecnos y Colciencias.
- Torres, R., Laignelet, A. (2002). Prioridades para el desarrollo de la biotecnología Agropecuaria en Colombia. Tecnos – Cambiotec – Colciencias.
- Torres, R. (2002). Bases para una política nacional de biotecnología. Informe Final presentado al Departamento Nacional de Planeación – DNP, Dirección de Desarrollo Agrario, Bogotá.

PARTE II

Aplicación  
de herramientas  
de gestión para  
el direccionamiento  
estratégico de  
la biotecnología



## CAPÍTULO IV

# *Benchmark* de políticas en biotecnología

### Introducción

El *benchmark* puede entenderse como un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de organizaciones reconocidas por sus mejores prácticas. El propósito es aprender de éstas y generar estrategias de mejoramiento (Spendolini, 1994). Con base en esta definición, el presente estudio tuvo como objetivos principales:

- Establecer puntos de comparación entre los documentos de política en biotecnología en países líderes y referentes para Colombia.
- Determinar los aspectos principales en los que se centran las políticas analizadas.
- Conocer los procesos para la formulación y consolidación de políticas en otros países.
- Identificar elementos que se hayan constituido en factores de éxito en cada país y que puedan ser aplicables al caso colombiano.

Para la realización del estudio, inicialmente, se llevó a cabo una búsqueda en los sitios oficiales de cada gobierno y en páginas similares en Internet con el fin de contar con los documentos de política pública en biotecnología que otros países han formulado. Los países que se analizaron fueron: Australia, Canadá y Corea como líderes, y Chile y Argentina como países referentes para Colombia. El análisis se orientó a identificar los elementos más relevantes dentro de los aspectos señalados para cada una de las políticas, con el fin de determinar cuáles son los factores que han conducido al éxito de cada país y la viabilidad de su aplicación en Colombia. Como complemento del estudio de *benchmark*, se realizó el análisis de varios documentos que se han formulado en Colombia desde 1999, con el fin de promover y direccionar el desarrollo de la biotecnología en el país.

El último componente del análisis está constituido por la revisión de las fuentes de información empleadas, determinando si se trataba de primarias o secundarias y de información endógena o exógena, los actores participantes y las fortalezas y debilidades de los documentos analizados.

### Benchmark internacional

Los resultados del estudio se presentan por país, describiendo cada uno de los aspectos considerados para la comparación.

#### Australia

En el caso de Australia, se analizó el documento *National Biotechnology Strategy* – NBS (Biotechnology Australia, 2000), que comprende un primer período de tres años a partir del 2001 y una segunda fase hasta el 2008. El estudio contempla seis temas estratégicos: 1. Biotecnología en la comunidad. 2. Aseguramiento de una regulación efectiva. 3. Biotecnología en la economía. 4. Biotecnología australiana en el mercado mundial. 5. Recursos para la biotecnología. 6. Coordinación y conservación del ímpetu.

Los objetivos de cada estrategia de la política australiana son:

#### Biotecnología en la comunidad

- Incrementar la conciencia general sobre la biotecnología y sus aplicaciones, y sobre las regulaciones que protegen a la comunidad, a fin de generar debates y toma de decisiones con información.
- Orientar las preocupaciones éticas sobre la biotecnología y sus potenciales aplicaciones.
- Dar atención a las inquietudes acerca de la biotecnología agrícola y de alimentos, y los potenciales efectos socioeconómicos de la biotecnología.
- Alcanzar beneficios económicos y para la comunidad mediante el empleo de la biotecnología para mejorar la salud y la calidad de vida.
- Lograr el reconocimiento de la capacidad investigativa en biotecnología, que genera sostenibilidad y preserva los recursos naturales.

#### Aseguramiento de una regulación efectiva

- Establecer una oficina permanente para la regulación de tecnologías genéticas y desarrollar la legislación asociada.

- Instituir un sistema que asegure que los riesgos potenciales de la introducción de organismos genéticamente modificados (OGM) son definidos con exactitud y manejados efectivamente.

#### Biotecnología en la economía

- Superar las falencias críticas de financiación en las etapas tempranas del desarrollo de productos.
- Establecer una masa crítica de investigación en biotecnología, comercialización y aplicación mediante la formación de clusters, incubadoras y redes.
- Fortalecer capacidades de gestión comercial y estratégica de la propiedad intelectual en biotecnología.
- Promover el desarrollo de procesos y productos industriales mediante la aplicación de la biotecnología.

#### Biotecnología australiana en el mercado mundial

- Atraer la inversión extranjera y conseguir socios para agregar valor a la I&D australiana y conquistar los mercados mundiales.
- Ampliar el entendimiento de los cambios en los mercados locales e internacionales por la agricultura y los alimentos genéticamente modificados y mejorar la gestión para la identificación de estos productos.
- Asegurar que las decisiones a nivel internacional no afecten el ambiente comercial para los productos genéticamente modificados australianos.
- Fortalecer la colaboración australiana con programas y centros internacionales de investigación en biotecnología y construir relaciones para sociedades de desarrollo de la tecnología.

#### Recursos para la biotecnología

- Realzar las habilidades de gestión en el sector de biotecnología, atraer investigadores de alta calidad y líderes experimentados, animar el espíritu emprendedor y supervisar la demanda y oferta de especialistas.
- Promover el desarrollo de la biotecnología para el logro de la agricultura ambientalmente sostenible y competitiva a nivel internacional.



- Desarrollar medidas para facilitar el acceso a los recursos biológicos australianos.

#### Coordinación y conservación del ímpetu

- Apoyar la coordinación y revisión de la política de biotecnología y dar soporte al trabajo del Consejo Consultivo de Biotecnología.

#### A. Elementos e indicadores para la evaluación

La evaluación de la estrategia australiana en biotecnología tomó como base los siguientes puntos (Biotechnology Australia, 2004):

- Crecimiento económico del sector biotecnológico, con base en referentes internacionales y su éxito en la generación de beneficios sociales.
- Comparación con métodos de gobierno internacionales.
- Logros en los seis temas estratégicos, las necesidades y las falencias detectadas por los grupos de presión, el público y las agencias que apoyan la ejecución de la estrategia nacional en biotecnología.

#### B. Estructura para la ejecución de la política

En 1999, el gobierno estableció la agencia Biotechnology Australia y el Consejo Ministerial de Biotecnología para coordinar la actividad gubernamental en este campo y desarrollar la Estrategia Nacional de Biotecnología. Adicionalmente, organizó el Grupo Consultivo en Biotecnología (BIOCOG), conformado por expertos científicos, investigadores y de la industria, como asesor en esta temática.

#### C. Recursos y financiación

El gobierno australiano destinó más de US\$105 millones desde 1999 hasta 2004, para reforzar el espíritu competitivo del país en la biotecnología. Posteriormente, se invirtieron US\$20 millones para dar continuidad a la Estrategia Nacional de Biotecnología y a Biotecnología Australia para los próximos cuatro años (2005-2008) (Dpto. Industria, Turismo y Recursos, 2004a).

#### D. Proceso para la formulación de la política

El gobierno australiano decidió abordar la biotecnología desde un punto de vista diferente al de las agendas tradicionales, y en septiembre de 1998 promulgó la Agenda de Acciones en Biotecnología, estableciendo un equipo de trabajo para su ejecución. De igual forma, para definir la estrategia del país, en 1999 se organizó la Oficina de Regulación de la Tecnología Genética, así como Biotecnología Australia (BA), agencia gubernamental conformada por varios departamentos y encargada de liderar la formulación de una política nacional (Departamento de Industria, Turismo y Recursos, 2004b).

En el mismo año, se formó el Grupo Consultivo en Biotecnología (BIOCOG) para asesorar a BA y al Consejo Ministerial en esta área en cuanto al desarrollo de la Estrategia Nacional de Biotecnología (NBS). Dicha estrategia incluye elementos como conciencia pública de la biotecnología, transferencia de tecnología, desarrollo de nuevas empresas y coordinación de la investigación. Por el amplio alcance de la NBS, el gobierno decidió que la Agenda de Acciones en Biotecnología se desarrollase como parte de ella.

La Estrategia Nacional en Biotecnología se complementa con otras actividades entre las que cabe mencionar: el establecimiento de agencias como la Oficina de Regulación de la Tecnología Genética (OGTR), externa a la NBS pero directamente relacionada con uno de sus temas estratégicos “asegurar una efectiva regulación”; e *Invest Australia*, que se enfoca en biotecnología. El gobierno australiano destina al sector biotecnológico anualmente cerca de US\$300 millones, mediante programas de asistencia a la industria como COMET, o programas de apoyo a la innovación (CSIRO, Centros Cooperativos de Investigación - CRC), y la promoción gubernamental a la educación en biotecnología. Además, cabe mencionar las estrategias y recursos de los gobiernos locales

para el desarrollo de la biotecnología en sus regiones (Biotechnology Australia, 2004).

### Canadá

En el caso de Canadá, se analizó el documento *Canadian Biotechnology Strategy - CBS* (Gobierno de Canadá, 1998) que comprende un período de seis años a partir de 1998.

La política cuenta con tres pilares estratégicos: beneficios, administración y compromiso ciudadano, y se complementa con los siguientes componentes:

- Confianza pública, comunicación y conocimiento.
- Mayor expansión de la I&D y la base científica para promover la competitividad canadiense en biotecnología así como el sistema regulatorio.
- Regulación para proteger la salud humana y el ambiente.
- Promoción del uso de la biotecnología para la salud pública y la seguridad.
- Modernización de las leyes de propiedad intelectual.
- Medidas para acelerar la aplicación y comercialización de nuevas tecnologías.
- Liderazgo para mejorar el acceso a los mercados y la aceptación, así como el manejo en países desarrollados y en vías de desarrollo.
- Formación de recursos humanos.
- Mejoramiento de la colección de datos relevantes de política y su análisis.
- Formulación de estrategias sectoriales y planes de acción.

La visión de la política canadiense consiste en mejorar el nivel de vida de sus ciudadanos en términos de salud, seguridad, ambiente y desarrollo social y económico, posicionando a Canadá como un líder responsable a nivel mundial en biotecnología. Para lograrlo, se han planteado los siguientes objetivos:

- Asegurar que los canadienses tengan acceso, confianza y beneficios derivados de los productos y servicios basados en biotecnología.
- Garantizar una base científica, la inversión estratégica en I&D para promover la innovación en biotecnología, un adecuado marco regulatorio y el desarrollo económico.
- Posicionar al país como un líder mundial ética y socialmente responsable en desarrollo, comercialización, venta y uso de productos y servicios biotecnológicos.
- Ser sensibles a la necesidad de los países en desarrollo de construir capacidades propias en la evaluación y manejo del riesgo de los productos biotecnológicos.
- Aumentar la comprensión y la conciencia acerca de la biotecnología, mediante la comunicación abierta y transparente.
- Solicitar al gobierno amplio consejo sobre biotecnología.
- Promover la conciencia del sistema regulatorio y mantener su nivel de excelencia con base en el *Federal Regulatory Framework for Biotechnology* (1993), con el fin de asegurar la continuidad de los altos estándares en protección de la salud, la seguridad y el ambiente.
- Apoyar el desarrollo de la estrategia de recursos humanos en biotecnología para asegurar un adecuado suministro de personal altamente calificado.
- Trabajar con sectores de provincia, negocios, academia, consumidores y otros grupos interesados para desarrollar e implementar planes de acción sobre asuntos comunes, oportunidades sectoriales y retos transversales (I&D, regulación, recursos humanos, inversión, innovación, transferencia de tecnología y mercados).

#### A. Elementos e indicadores para la evaluación

Existe un Marco de Responsabilidad y Dirección con base en Resultados - RMAF (Gobierno de Canadá, 2002). El RMAF perfila los resultados que deben obtenerse a largo plazo, incluyendo indica-

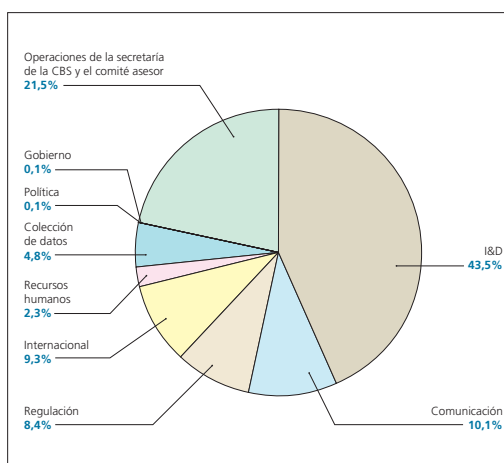
dores de responsabilidad que son asignados a la estructura y socios de la CBS. El marco implica un proceso de cuatro pasos: identificación de resultados claves, establecimiento de indicadores, desarrollo de reportes e informes y preparación de un plan de evaluación. El objetivo del RMAF es permitir al gobierno medir el éxito de su gestión horizontal de la biotecnología, y demostrar de forma convincente la intención y capacidad de departamentos y agencias para responder a los compromisos con resultados concretos, mediante una evaluación periódica (Gobierno de Canadá, 2004a).

También se cuenta con un sistema de monitoreo e informe para los proyectos de la CBS, en cuanto a su progreso y uso de recursos. Los líderes de los proyectos deben informar sobre las fechas en las cuales se espera obtener cada resultado y justificar cualquier incumplimiento en los cronogramas. También deben reportarse las cantidades de dinero recibidas y usadas durante la ejecución del proyecto. El sistema de seguimiento actúa, además, como una herramienta de comunicación y trabajo en red que permite contar con información de los proyectos en curso, sus ejecutores y su progreso.

### B. Estructura para la ejecución de la política

El Comité Ministerial Coordinador en Biotecnología supervisa la implementación de la CBS, asesorado por el Comité Canadiense Asesor en Biotecnología - CBAC. El comité ministerial reúne siete ministerios (los de mayor relación con la biotecnología): Industria, Agricultura, Salud, Ambiente, Industrias Pesqueras y Océanos, Recursos Naturales y Negocios Internacionales. El CBAC realiza actividades generales, como supervisar los desarrollos en biotecnología, facilitando su conocimiento público y el compromiso ciudadano, y ejecuta proyectos especiales que involucran el estudio en profundidad y la consulta pública de asuntos específicos como base para la asesoría al gobierno.

Figura 1. Asignación de recursos por temas para la CBS



Fuente: Gobierno de Canadá. 2002. CBS Overall Performance Report 1999-2002

### C. Recursos y financiación

Para el periodo 1999-2002, se destinaron US\$28,56 millones al fondo de la CBS, distribuidos de la siguiente forma (Gobierno de Canadá, 2002):

- US\$18,5 millones para la implementación de los tres pilares de la CBS por parte de las agencias y departamentos gubernamentales relacionados.
- US\$6,5 millones al Comité Asesor en Biotecnología, para el soporte de sus actividades y las consultas a los canadienses.
- La secretaria de la CBS recibió US\$2,5 millones para monitorear los fondos de la estrategia y apoyar a los comités interdepartamentales creados para la ejecución de la CBS.
- US\$650.000 para establecer un grupo interdepartamental de comunicaciones.
- US\$650.000 como fondo de contingencia para facilitar el acceso a recursos por parte de los comités de coordinación interdepartamental.

La CBS (figura 1), tiene un presupuesto anual de US\$9,52 millones para funcionamiento, US\$35 millones para la consolidación y funcionamiento del sistema regulatorio en biotecnología, y US\$20 millones para I&D en genómica, junto a los aportes de las entidades involucradas (Gobierno de Canadá, 2004a).

#### D. Proceso para la formulación de la política

En 1970, el gobierno de Canadá identificó la biotecnología como un sector clave para la economía y una tecnología fundamental para el crecimiento económico y la competitividad. En 1983, se formuló la primera Estrategia Nacional en Biotecnología, que fue revisada en 1993 en cuanto a la orientación de las políticas, y finalmente, en 1998, se estableció la Estrategia Canadiense en Biotecnología - CBS.

Para la definición de la CBS, el gobierno federal consultó a un amplio grupo de personas en las provincias y regiones, en diversos sectores y al público en general. Más de cinco mil personas y organizaciones expresaron sus puntos de vista a través de la página Web de la CBS, por medio de consultas de opinión pública y en la correspondencia recibida en la secretaría.

Las consultas se orientaron a los siguientes puntos:

- **Investigación y desarrollo:** se alcanzó un consenso sobre las prioridades estratégicas de Canadá para la I&D de biotecnología que incluyó la genómica y postgenómica. Además, se generaron iniciativas de apoyo a objetivos de la política como el crecimiento económico, salud y ambiente sano, mayor conocimiento y capacidad en biotecnología, y fortalecimiento del sistema de innovación e investigación de largo plazo.
- **Grupos sectoriales:** se formaron grupos sectoriales, como en el caso de la agricultura, en donde participaron representantes de *Agriculture and Agri-Food Canada*, la agencia nacional de inspección de alimentos, *Industry Canada*, *Health Canada*, *Natural Resources Canada*, *Environment Canada*, el Consejo de Asuntos Exteriores y Comercio Internacional, y el Consejo Nacional de Investigación. Las entidades líderes de los grupos de trabajo prepararon un documento para la discusión de la estrategia en biotecnología. Las

consultas sectoriales generaron consensos en torno a temas como la imprescindible necesidad de transparencia y previsibilidad del proceso de formulación de la política, así como de su marco regulatorio. Así mismo, se concluyó que para lograr una conciencia pública sobre la biotecnología, es fundamental superar los vacíos de información, haciendo referencia al *Saskatchewan Agricultural Biotechnology Information Centre* (SABIC) como un ejemplo exitoso en donde el gobierno, la industria y los grupos de consumidores trabajan conjuntamente para ofrecer información confiable al público.

- **Grupos de presión (stakeholders):** el principal punto de acuerdo que se generó a través de las consultas a estos grupos se centró en el papel del gobierno como agente catalizador en la formulación e implementación de una política en biotecnología, buscando la cooperación de otros actores como la industria, los investigadores y el público en general. Adicionalmente, se concluyó que la política en biotecnología debería orientarse hacia las inversiones estratégicas, los más altos estándares y la mejor calidad, que conllevarán a que Canadá cuente con una posición privilegiada para competir desde ahora y en el largo plazo.

Las anteriores consultas llevaron a proponer la creación de un cuerpo que asesorará al gobierno y a los canadienses en lo relativo a la biotecnología, conformado por expertos con la finalidad de brindar una guía en aspectos emergentes, facilitar la comunicación con el público, asegurar que la información fluya entre los principales grupos de presión y la comunidad, y generar mecanismos de retroalimentación a partir de las consultas y estudios con los diferentes grupos.

Se destaca también que dentro de este proceso de consulta se identificaron algunas áreas prioritarias para el país: genómica y bioinformática, ingeniería

ría genética, ingeniería de péptidos y proteínas, antígenos, vacunas, inmunobiología, biodiagnósticos y biorremediación.

### Corea

En el caso de Corea, se analizó el documento *Biotech 2000* (Yong Choi *et al.* 1999; Han *et al.* 2003). El Plan de Acción en Biotecnología de la República de Corea consta de tres etapas principales: adquisición y adaptación de técnicas de bioelaboración y mejora del rendimiento de las inversiones en I&D (1994-1997); consolidación de las bases científicas para la elaboración de nuevos productos (1998-2002), y expansión local e internacional del mercado de productos biotecnológicos (2003-2007).

La política está compuesta por diez estrategias:

- Promover la cooperación interministerial para establecer una base interdisciplinaria de I&D en biotecnología.
- Dar apoyo a los principales proyectos de I&D.
- Acelerar el desarrollo de la tecnología y su transferencia a aplicaciones comerciales.
- Aumentar y continuar el apoyo a los proyectos de biotecnología en curso.
- Promover la investigación básica y fundamental en ciencias de la vida.
- Ampliar los programas de formación y adiestramiento para asegurar los recursos humanos necesarios para el desarrollo de la biotecnología.
- Establecer un “cinturón nacional de biotecnología” para proveer una base regional de I&D.
- Fortalecer la infraestructura y las funciones de apoyo para la I&D en biotecnología.
- Promover la cooperación internacional para el desarrollo de la biotecnología.
- Mejorar los sistemas legislativos e institucionales para promover la I&D y el mercado.

El objetivo principal de la política coreana es acelerar la comercialización de los productos de la I&D logrando que los productos biotecnológicos coreanos sean competitivos internacionalmente.

Tabla 1. Áreas de formación de recursos humanos en Corea

Áreas de excelencia	Requerimientos
Clonación de animales	Genómica
Mutagénesis en plantas	Microarreglos de DNA
Desarrollo de vacunas	Sensores
Terapia génica	Screening de alto rendimiento
	Química combinatoria

Fuente: IMBN, 2000

Adicionalmente, el objetivo estratégico de Biotech 2000 consiste en incrementar las capacidades científicas y tecnológicas coreanas, así como la infraestructura acorde con los estándares de los países líderes. Sus metas puntuales son:

- Liderar nuevos grupos bioindustriales mediante el desarrollo de nueva biotecnología con una base fuerte en la convencional.
- Acelerar el logro de un consenso público sobre el reconocimiento de un pronto establecimiento de tecnologías sostenibles y propicias para el ambiente.
- Reconocer la importancia de los biorrecursos y buscar apoyo estratégico para la conservación de la biodiversidad junto a la I&D en biotecnología.

### A. Elementos e indicadores para la evaluación

La República de Corea, como parte de la ejecución de Biotech 2000, anunció una iniciativa destinada a generar por lo menos 600 empresas de biotecnología antes de finalizar 2003 y capacitar a 13.000 especialistas en nanotecnología para 2010 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, 2004). La tabla 1 presenta otras áreas en que Corea focaliza su formación de recursos humanos y tecnologías requeridas para lograr esta excelencia.

### B. Estructura para la ejecución de la política

El gobierno creó el Comité de Biotecnología e Industria dentro del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, para la coordinación del programa

Tabla 2. Inversión esperada en Biotech 2000\*

Áreas de desarrollo	Fuente	Etapa I	Etapa II	Etapa III
		1994 - 1997	1998 - 2002	2003 - 2007
Biomateriales	Gobierno	138	324	973
	Industria	456	1240	2410
Salud	Gobierno	101	250	825
	Industria	344	430	1900
Agricultura y alimentos	Gobierno	107	374	825
	Industria	241	870	1800
Ambiente, bioseguridad y biodiversidad	Gobierno	66	212	687
	Industria	162	590	240
Energías alternativas	Gobierno	40	110	325
	Industria	84	490	650
Ciencias básicas	Gobierno	124	350	970
	Industria	9	170	400
Soporte e infraestructura	Gobierno	49	110	325
	Industria	4	60	300
<b>Total</b>	<b>Gobierno</b>	<b>560</b>	<b>1630</b>	<b>4930</b>
	<b>Industria</b>	<b>1300</b>	<b>3850</b>	<b>7700</b>
	<b>Total</b>	<b>1925</b>	<b>5480</b>	<b>12630</b>

\*En millones de dólares Fuente: Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, 1997

Biotech 2000. Además, están involucrados siete ministerios: Ciencia y Tecnología; Finanzas y Economía; Comercio, Industria y Energía; Salud y Bienestar; Agricultura, Silvicultura e Industrias Pesqueras; Ambiente; Educación.

Para el logro de los objetivos de la política, las autoridades coreanas organizaron programas de capacitación en universidades, crearon centros especializados de I&D y fomentaron la participación del sector privado (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, 2004).

### C. Recursos y financiación

La suma total de la inversión para un periodo de 14 años es de US\$20 mil millones, como se muestra en la tabla 2.

### D. Proceso para la formulación de la política

En 1992, el Ministerio de Comercio, Industria y Energía (MOTIE) clasificó la biotecnología co-

mo un área tecnológica de interés e inició un proceso de apoyo a la investigación y el desarrollo de actividades por parte de la industria. En 1993, se formuló el plan básico para la promoción de la biotecnología Biotech 2000. La primera fase se completó en 1997, y de ahí en adelante un grupo de académicos, investigadores y especialistas de la industria y el gobierno trabajaron para definir las acciones por seguir en las fases posteriores, desde 1994 hasta 2007 (IMBN, 2000; Han *et al.* 2003).

Biotech 2000 constituye la más ambiciosa iniciativa para la promoción de la biotecnología en Corea. 1994, año en que se lanzó, fue declarado el año de la biotecnología por el gobierno coreano. Así mismo, el gobierno promovió el Programa de Investigación de Frontera del Siglo XXI en el año 2000, el cual incluyó dos áreas: biotecnología y robótica. Este programa tiene asignados US\$100 millones para los 10 años de su ejecución.

Para la formulación de Biotech 2000, se creó una comisión interministerial con la participación de los siete ministerios mencionados anteriormente, con el fin de supervisar los proyectos y evitar las duplicidades de inversión sobre aquellos que son similares. La coordinación de la comisión estuvo a cargo del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Algunos de los principales actores del proceso fueron la Asociación de Investigación de Biotecnología de Corea, la Asociación de Bioindustria de Corea, el Instituto de Investigación en Biotecnología y Biotecnología de Corea y las universidades del país. Para lograr la participación activa de sector privado en el programa Biotech 2000, el gobierno otorgó a las compañías que tomaron parte en éste, incentivos como financiación para la investigación, deducción de impuestos para los gastos en I&D y préstamos para instalaciones de I&D (Rhee, 2004).

Así mismo, dentro del proceso de formulación de Biotech 2000, se definieron seis grandes áreas, dentro de las cuales se apoya el desarrollo de proyectos (Asia Pacific Biotech, 1997):

- Biomateriales: desarrollo y aplicación industrial.
- Salud: ingeniería biomédica, estudio molecular y biológico de las funciones humanas, análisis de genomas.
- Agricultura y alimentación: cultivo de tejidos, biotecnología alimentaria.
- Ambiente, bioseguridad y biodiversidad: biotecnología ambiental, bioseguridad.
- Energías alternativas: producción de bioenergía.
- Ciencias básicas.

### Chile

En el caso de Chile, se analizó el documento “Política Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología” (Gobierno de Chile, 2003), que comprende el período 2003-2010.

La política chilena en biotecnología tiene seis lineamientos generales:

- Promover la creación y el desarrollo de consorcios empresariales y de empresas biotecnológicas en áreas estratégicas.
- Incentivar la protección de la propiedad intelectual.
- Establecer nuevas modalidades de financiamiento para la I&D en biotecnología.
- Incrementar los recursos humanos dedicados a la I&D y gestión biotecnológica en áreas estratégicas.
- Desarrollar iniciativas regulatorias urgentes y necesarias para lograr el despegue del esfuerzo nacional en biotecnología y bioseguridad.
- Impulsar las iniciativas legales tendientes a conformar un marco regulatorio coherente y transparente que favorezca el desarrollo de la biotecnología.

Los objetivos de la política chilena son:

- *Impulsar el desarrollo y la aplicación de la biotecnología en Chile*, especialmente en los sectores productivos basados en recursos naturales, con el fin de incrementar el bienestar y la calidad de vida de todos los chilenos y de contribuir a la generación de riqueza en el país, velando por la protección de la salud y la sostenibilidad ambiental.
- *Desarrollo empresarial*: fortalecer el desarrollo de la industria biotecnológica nacional y promover la incorporación de procesos biotecnológicos en los diferentes sectores productivos, especialmente los productores de recursos naturales, generando para ello los mecanismos de apoyo público necesarios.
- *Desarrollo de capacidades científico-tecnológicas y formación de recursos humanos*: generar y fortalecer las capacidades científicas, tecnológicas, de gestión y de infraestructura, así como la formación de recursos humanos, en las áreas estratégicas

que el país requiere, para abordar eficazmente los problemas y oportunidades que presenta el desarrollo biotecnológico del país.

- *Gestión de un marco regulatorio*: establecer un marco regulatorio que garantice un desarrollo seguro, sustentable y responsable de la biotecnología en Chile, acorde con el necesario resguardo de los derechos a la salud, a la seguridad y a la dignidad de las personas y a la protección del medio ambiente, como también de la libertad de emprender y de desarrollar actividades productivas y comerciales, con el debido respeto a los compromisos internacionales adquiridos por el país.
- *Desarrollo de la institucionalidad pública y de la participación ciudadana*: diseñar y poner en funcionamiento un marco institucional que asegure la coordinación entre instituciones reguladoras de la biotecnología, y abrir espacios de participación e información pública que permitan la expresión ciudadana informada, lo que se traduce en una mayor transparencia en la toma de decisiones y en una orientación más eficaz de las políticas y acciones que el gobierno emprenda para el desarrollo de la biotecnología.

#### **A. Elementos e indicadores para la evaluación**

La política incluye un plan de acciones a corto plazo, llevado a cabo durante 2004 y 2005, del cual depende la ejecución de la política global hasta 2010. Este plan contempla la conformación de la Comisión de Regulaciones en Biotecnología, el Foro biotecnológico y una comisión para el estudio de incentivos tributarios; la formulación del proyecto de ley marco de biotecnología, la nueva ley de propiedad industrial y la regulación para permitir el cultivo de organismos transgénicos en el país.

#### **B. Estructura para la ejecución de la política**

La Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología formuló los lineamientos de política. Para su funcionamiento en 2004, se creó la Comisión de Regulaciones en Biotecnología en el

Ministerio de Economía, con el fin de asegurar un marco regulatorio claro, servir como coordinador de las agencias gubernamentales en materia de regulación y garantizar la participación ciudadana en estos procesos.

Así mismo, se plantea la creación del Foro de Biotecnología, asesor de la Comisión de Regulaciones en Biotecnología, en el cual tendrán representación los actores de la sociedad civil relacionados con el desarrollo biotecnológico.

#### **C. Recursos y financiación**

La Política Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología no especifica los recursos destinados por el gobierno y otras fuentes para su ejecución.

#### **D. Proceso para la formulación de la política**

En el año 2001, la Subsecretaría de Economía de Chile comenzó a abordar el tema de la biotecnología y los organismos transgénicos, específicamente en lo relacionado con la propiedad intelectual y los recursos naturales. De igual forma, reconociendo que la economía de Chile depende mayormente de la exportación de recursos naturales, el Ministerio de Economía buscó fortalecer el gasto en investigación y desarrollo en el área de la biotecnología e incentivar la producción de organismos transgénicos. Para ello, el Ministerio formuló el Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica 2001-2004 y constituyó una comisión presidencial para elaborar las bases de una estrategia país en materia de biotecnología y derechos de propiedad intelectual. Dicha comisión entregó su informe al Presidente de la República en julio de 2003, a partir de lo cual, la Subsecretaría lanzó la política nacional de biotecnología en noviembre de 2003 (Manzur, 2004).

#### **E. Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología**

La Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología es un órgano asesor del Presidente de la República de Chile. Su misión fue generar



una propuesta sobre los lineamientos para potenciar la biotecnología como factor de desarrollo. En ella participaron cerca de 200 personas, entre científicos, empresarios, representantes del gobierno, de agencias de fomento y de regulación, profesionales de organismos públicos tales como CONICYT, CORFO, CONAMA, y los ministerios de Salud, Agricultura y Relaciones Exteriores, quienes contaron durante 10 meses con el apoyo de expertos.

En el plan de trabajo de esta comisión para el año 2002 (Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología, 2002), se formuló un modelo estratégico para la biotecnología, en el cual las políticas articulan las empresas, las instituciones de ciencia y tecnología y el gobierno, promoviendo las innovaciones, los núcleos empresariales, preservando la biodiversidad, minimizando riesgos y maximizando productividad, con base en la información ciudadana.

Se buscó generar un marco regulatorio basado en elementos como: información al consumidor, propiedad intelectual, protocolos de biodiversidad, bioseguridad agropecuaria, bioseguridad en investigación y desarrollo, y regulación sanitaria. Los lineamientos giraron en torno a los temas de: formación de capacidades científico-tecnológicas, formación de recursos humanos, desarrollo empresarial, marco regulatorio, participación pública y transparencia.

Las conclusiones del trabajo de esta Comisión fueron: 1) la biotecnología es una herramienta crucial para aumentar la competitividad y sostenibilidad de la economía, así como para mejorar la calidad de vida de la población chilena; 2) en el transcurso de los próximos diez años, Chile puede constituirse en un referente mundial en áreas específicas de la biotecnología, particularmente aquellas relacionadas con recursos naturales; 3) para maximizar los beneficios de la biotecnología y gestionar adecuadamente sus riesgos, se requie-

re de un marco regulatorio eficaz y transparente, construido sobre la base de instituciones públicas fuertes y confiables, así como de una ciudadanía bien informada y con oportunidades de participación (Cox, 2003).

En 2003, cuando finalizó su trabajo, la Comisión indicó que Chile no tenía una política clara respecto de la biotecnología, por lo cual propuso 30 iniciativas de acción en los siguientes ámbitos (tabla 3): fomento de la innovación empresarial; desarrollo de capacidades científico-tecnológicas; formación de recursos humanos; desarrollo de un marco regulatorio eficaz, y participación pública y transparencia.

#### **F. Política nacional de biotecnología**

Como se mencionó, la política en biotecnología de Chile se formuló con base en las consideraciones de la Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología y en consultas a diversos sectores. Dicha política, propuesta hasta el año 2010, identifica las iniciativas esenciales para la iniciación del proceso y fija un programa de acción para el bienio 2004-2005 (Gobierno de Chile, 2003).

#### **Argentina**

En el caso de Argentina, se analizó el documento “Plan Estratégico Nacional en Biotecnología”, PENBio, el cual comprende un periodo de dos años (2005-2007) (Foro Nacional de Competitividad de la cadena productiva de biotecnología, 2004a).

El proceso de formulación de este plan se inició en 2004, y al momento de redactar este documento no se conocen los componentes principales, los indicadores, la estructura que se consolidará para su ejecución ni los recursos destinados para tal fin.

La misión del PENBio es “proponer las estrategias esenciales a ser utilizadas por el poder ejecutivo nacional para el diseño e implementación de las políticas y los programas para el desarrollo y la

Tabla 3. Propuestas de la Comisión Nacional de Chile para el Desarrollo de la Biotecnología

Ámbitos	Iniciativas de acción
Fomento del esfuerzo empresarial en biotecnología	Las principales oportunidades de negocios en biotecnología están en la agregación de valor, la diversificación exportadora, la reducción de costos y la producción limpia en las empresas vinculadas a recursos naturales, lo que incluye la biorremediación, la industria de alimentos y la biomedicina para animales.
	Propiciar la vinculación de empresas con universidades y centros científico-tecnológicos, promoviendo la demanda privada de servicios en I&D vía formación de consorcios biotecnológicos de empresas exportadoras con participación de capitales extranjeros.
Desarrollo de capacidades científico-tecnológicas	Continuar adaptando el financiamiento público a las necesidades de infraestructura y características de proyectos biotecnológicos que exigen plazos y recursos superiores a la media, al mismo tiempo que se desarrollan capacidades de patentamiento, gestión de negocios y vinculación con empresas.
	Incentivos a las actividades de I&D realizadas conjuntamente entre universidades y empresas, modificando –por ejemplo– la Ley de Donaciones a las Universidades.
Formación de recursos humanos	Incentivar la participación de expertos extranjeros o chilenos residentes en el exterior en proyectos biotecnológicos locales.
	Incorporar la gestión de negocios biotecnológicos a la formación profesional en las carreras del área.
	Fortalecer las capacidades técnicas en bioseguridad de las instituciones públicas responsables de la regulación de organismos genéticamente modificados.
Marco regulatorio e institucional	Respecto al uso de la biotecnología en seres humanos, la Comisión expresó su apoyo a la iniciativa parlamentaria que establece la necesidad de proteger la dignidad e identidad genética de las personas, prohibiendo la clonación humana y regulando la investigación científica en el ser humano.
	Aun cuando es necesaria una evaluación previa de riesgos, la Comisión recomendó establecer un procedimiento de autorización de alimentos genéticamente modificados (GM). Al mismo tiempo, propuso el etiquetado de alimentos GM que no sean sustancialmente equivalentes a los alimentos convencionales, destacando las cualidades o características nutricionales diferenciadoras.
	Más que prohibición, se debe buscar el perfeccionamiento de los procedimientos de aprobación de OGM, abordando los vacíos regulatorios para establecer los requisitos para su cultivo y utilización en el territorio nacional, con base en una evaluación de riesgo caso a caso.
	Para evitar riesgos de bloqueo institucional y considerando que la experiencia regulatoria nacional en estos ámbitos es todavía limitada, se propuso crear una Comisión Regulatoria de Biotecnología, entidad gubernamental responsable de fijar políticas públicas, coordinar las agencias de gobierno y velar por la transparencia de los procedimientos regulatorios.
Participación pública y transparencia	La Comisión recomendó crear el Foro Biotecnológico, con carácter de instancia asesora permanente, de alto nivel, que vele por la calidad del debate público sobre el desarrollo de la biotecnología en Chile. La Comisión propuso que en el Foro participen organizaciones de la sociedad civil, organizaciones no gubernamentales, asociaciones empresariales, expertos y científicos, así como parlamentarios y gobierno.

Fuente: Cox, 2003

promoción de la Biotecnología Industrial en las áreas que son estratégicas para el crecimiento del país con base en sus recursos naturales y su estructura económica y social” (Foro Nacional de Competitividad de la cadena productiva de biotecnología, 2004a).

El logro más importante del PENBio hasta el momento ha sido la formulación del anteproyecto de ley de promoción de la industria biotecnológica. Los objetivos de este anteproyecto son (Foro Nacional de Competitividad de la cadena productiva de biotecnología, 2004b):

- Fomentar la producción y comercialización de productos y servicios biotecnológicos de alto valor agregado a los mercados locales, regionales y globales.
- Crear condiciones de estabilidad fiscal a largo plazo para establecer un clima de certidumbre para la inversión de riesgo.
- Fomentar la expansión y creación de nuevas Pymes de base biotecnológica mediante el acceso al financiamiento de proyectos biotecnológicos con aplicación comercial.
- Promover el crecimiento y desarrollo de los grupos de I&D de las empresas y del sistema científico público, mediante su asociación en proyectos conjuntos, para configurar estas instituciones de tal forma que se pueda lograr la efectiva transferencia del conocimiento al sector productivo, fortaleciéndose al sistema de innovación nacional y consecuentemente mejorando el desempeño competitivo del país.
- Fomentar el crecimiento del sector industrial biotecnológico incrementando el número de las empresas participantes, su participación e impacto tecnológico en las economías regionales, y su capacidad de demanda de recursos humanos capacitados.

- Articular el régimen de promoción con otros sistemas de promoción vigentes.

#### **A. Proceso para la formulación de la política**

A partir de marzo de 2004, se trabaja en la definición de políticas para estimular las ventajas competitivas del sector biotecnológico de Argentina. El Foro Argentino de Biotecnología, en el marco del programa de la Secretaría de Industria para la competitividad de la industria de base biotecnológica, coordina este proceso.

El trabajo se ha desarrollado a través de foros de discusión en torno a cuatro áreas temáticas: agropecuario y salud animal, alimentos, salud humana y diagnóstico, medio ambiente e industrial. En estas discusiones han participado instituciones públicas y privadas, como el Ministerio de Salud y Ambiente, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica, el Instituto Nacional de la Propiedad Intelectual, la Secretaría de la Pequeña y Mediana Empresa, entre otros. Como representantes del sector privado han estado la Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios, la Cámara Argentina de Biotecnología de la Reproducción e Inseminación Artificial, la Cámara de la Industria Aceitera de la República Argentina, y otros. Hasta el momento, el resultado es el anteproyecto de *Ley de promoción de la industria biotecnológica*. (Foro Nacional de Competitividad de la cadena productiva de biotecnología, 2004b).

El anteproyecto de ley contempla beneficios fiscales para las empresas que empleen biotecnología moderna en sus procesos productivos, como la exención de impuestos para la importación de equipos empleados en investigación y desarrollo de productos biotecnológicos. Además, incluye la conformación de la Comisión Nacional Asesora para la Promoción de la Investigación y Desarrollo en Empresas Biotecnológicas, la cual estará conformada por seis miembros de instituciones

representativas del sector empresarial o de las diversas actividades involucradas en el desarrollo biotecnológico y seis representantes del sector público.

Igualmente, se plantea la creación del Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria Biotecnológica (FONBIO) con recursos asignados anualmente a través de la ley de presupuesto: ingresos por las penalidades previstas ante el incumplimiento de la ley en mención: ingresos por legados o donaciones y fondos provistos por organismos internacionales u organizaciones no gubernamentales. El gobierno deberá destinar por lo menos seis millones de pesos argentinos anuales para los próximos tres años a partir de la vigencia de la Ley.

### Análisis del *benchmark* a nivel internacional

Se identificaron los elementos que sobresalen en las políticas en biotecnología de los cinco países analizados, teniendo en cuenta cada uno de los aspectos tomados como puntos de comparación. En la tabla 4, se resumen estos elementos.

#### A. Componentes

Los componentes de cada una de las políticas analizadas presentan elementos similares y, en general, su formulación se orienta básicamente hacia los mismos criterios:

##### – *Competitividad*

Involucra aspectos como la aceleración del paso de la investigación a la comercialización y la transferencia rápida de tecnologías, el desarrollo de la industria biotecnológica, la ampliación de mercados internacionales, la atracción de la inversión extranjera, los procesos industriales limpios, la formación de *clusters* biotecnológicos, consorcios empresariales e incubadoras de empresas biotecnológicas, la identificación de plataformas científicas pertinentes e inversión en éstas, el in-

cremento de las capacidades científicas y tecnológicas, así como la infraestructura.

##### – *Regulación efectiva*

Hace referencia al desarrollo de sistemas regulatorios (legislativos, normativos) rigurosos, eficientes, coherentes y transparentes en cuanto a OGM, las aplicaciones de la biotecnología en diversos ámbitos y la protección de la propiedad intelectual.

##### – *Percepción y conciencia pública*

Incluye la información acertada para la comunidad sobre los riesgos y beneficios, la promoción de debates y la creación de confianza pública en la biotecnología.

##### – *Protección de la salud, los recursos y el ambiente*

Hace referencia a la obtención de beneficios para la salud y la preservación del ambiente y los recursos naturales a través de la aplicación de la biotecnología, así como al manejo, control y normatividad sobre los riesgos potenciales de esta aplicación.

##### – *Formación de recursos humanos*

Involucra la capacitación y entrenamiento en áreas especializadas de las ciencias de la vida consideradas como estratégicas, contemplándose también la formación en gestión tecnológica para la biotecnología.

Dentro de la estrategia de **Australia** cabe resaltar el tema estratégico *biotecnología en la comunidad*, que señala la importancia de que la información veraz y oportuna sea la base de la noción que tenga el ciudadano común sobre la biotecnología, sus riesgos y beneficios. Igualmente, resulta relevante el tema estratégico *asegurar una regulación efectiva*, que busca crear una oficina que regule la tecnología genética y que garantice el manejo efectivo de los riesgos de los OGM, para contribuir a generar confianza en la comunidad.

Tabla 4. Aspectos más relevantes de las políticas analizadas

Criterios de comparación	Australia	Canadá	Corea	Chile	Argentina
<b>Componentes</b>	Su formulación se orienta hacia los mismos criterios básicos: competitividad; regulación efectiva; percepción y conciencia pública; protección de la salud, los recursos y el ambiente; formación de recursos humanos				
<b>Objetivos</b>	Al igual que los componentes, los objetivos son formulados de forma muy amplia				
	Incrementar la conciencia general sobre la biotecnología e instituir un sistema que prevea y gestione los riesgos potenciales de la introducción de OGM.	Asegurar una base científica y la inversión estratégica en I&D para promover la innovación, un adecuado marco regulatorio y el desarrollo económico. Asegurar un adecuado suministro de personal altamente calificado.	Liderar nuevos grupos bioindustriales mediante el desarrollo de nueva biotecnología con una base fuerte en la biotecnología convencional.	Desarrollo empresarial, de capacidades científico-tecnológicas y de recursos humanos.	
<b>Elementos e indicadores para la evaluación</b>	Crecimiento económico del sector biotecnológico.	Marco de Responsabilidad y Dirección con base en Resultados de la Estrategia canadiense en biotecnología, como sistema para evaluar el cumplimiento de los objetivos al definir indicadores para cada una de las entidades involucradas.	Se destaca por sus metas puntuales.	Formula un plan de acción a corto plazo con metas concretas.	
<b>Estructura para la ejecución</b>	Biotechnology Australia, agencia gubernamental; Consejo Ministerial de Biotecnología; Grupo Consultivo en Biotecnología.	Comité Ministerial Coordinador en Biotecnología - reúne siete ministerios.	Comité de Biotecnología e Industria dentro del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - reúne siete ministerios.	Comisión nacional para el desarrollo de la biotecnología; Comisión de regulaciones en Biotecnología; Foro biotecnológico.	Foro argentino de biotecnología.
<b>Recursos</b>	US\$125 millones en 8 años.	US\$101,6 millones en 5 años.	US\$20.000 millones en 14 años (60% proviene de la industria).		
<b>Procesos para la formulación</b>	Se iniciaron con la conformación de estructuras para la ejecución de las políticas Se contó con la participación de diversos sectores a través de encuestas, Internet, grupos foco. El proceso de formulación de las políticas se hizo público a través de páginas de Internet y los propios documentos de política (caso Canadá y Chile).				

En **Canadá**, se resalta el primer componente de su estrategia, que también hace referencia a la *confianza pública en la biotecnología*, teniendo en cuenta que los canadienses tienen un conocimiento general sobre este tema, pero desearían conocer detalles sobre la inocuidad de alimentos y medicamentos por parte de los propios científicos y educadores. Se destaca, además, el componente *facilitar medidas para acelerar la aplicación y comercialización de nuevas tecnologías*, con el cual se busca identificar opciones para eliminar posibles obstáculos en la financiación para el sector biotecnológico y mejorar la transferencia de tecnología de los laboratorios, universidades y centros de investigación al sector privado.

La política Biotech 2000 de **Corea** tiene 10 estrategias, de las cuales se destaca la primera, *promover la cooperación interministerial para establecer una base interdisciplinaria de I&D de biotecnología*, puesto que busca la integración de las entidades del más alto nivel para orientar los desarrollos biotecnológicos del país. También sobresale la estrategia *acelerar el desarrollo de la tecnología y su transferencia a aplicaciones comerciales*, que concuerda con uno de los componentes de la política de Canadá mencionadas en el párrafo anterior, así como la estrategia de *ampliación de los programas de formación y adiestramiento de recursos humanos* orientada a áreas especializadas (tabla 1).

De los seis lineamientos generales de la política nacional de Chile, cabe destacar dos de ellos: *incentivar la protección de la propiedad intelectual e incrementar los recursos humanos dedicados a la I&D y gestión biotecnológica en áreas estratégicas*, ya que pueden ser elementos clave para el desarrollo biotecnológico en los países de América Latina.

Finalmente, con relación a la política de **Argentina**, se resalta su orientación hacia la promoción de la biotecnología industrial y las empresas de base biotecnológica.

## B. Objetivos

Al igual que los componentes, los objetivos presentados en cada documento de política tienen elementos comunes entre sí y su formulación es muy general, por lo cual no apuntan a metas concretas.

Los objetivos de la Estrategia Nacional en Biotecnología de **Australia** fueron formulados dentro de cada uno de los seis temas estratégicos. Por ello, los objetivos que se toman como relevantes en este estudio corresponden a los componentes señalados en el acápite anterior: *incrementar la conciencia general sobre la biotecnología e instituir un sistema que asegure que los riesgos potenciales de la introducción de OGM son definidos con exactitud y manejados efectivamente*.

En **Canadá** los objetivos de su política que se retoman en este análisis son *asegurar una base científica y la inversión estratégica en I&D para promover la innovación en biotecnología, un adecuado marco regulatorio y el desarrollo económico, y apoyar el desarrollo de la estrategia canadiense de recursos humanos en biotecnología para asegurar un adecuado suministro de personal altamente calificado*, teniendo en cuenta que este país ha logrado posicionarse como líder en biotecnología por su alta capacidad científica, debido a la existencia de una estrategia nacional de recursos humanos en biotecnología.

Dentro de la política de **Corea**, sobresale el objetivo *liderar nuevos grupos bioindustriales mediante el desarrollo de nueva biotecnología con una base fuerte en la biotecnología convencional*, puesto que la política Biotech 2000 se enfoca al desarrollo industrial con base en la biotecnología.

Por último, en **Chile**, los principales objetivos de la política se orientan al *desarrollo empresarial, de capacidades científico-tecnológicas y de recursos humanos*, como vía para dar respuesta a las necesidades identificadas como prioritarias en el país, específicamente en cuanto a incubadoras de empresas biotecnológicas, inversión extranjera, protección

de la propiedad intelectual, entidades de gestión y transferencia de tecnología, recursos humanos altamente especializados en las áreas de la biotecnología y en gestión de negocios biotecnológicos.

### C. Elementos e indicadores para la evaluación

Algunos de los documentos analizados sólo indican que la evaluación de la política se realiza con base en los logros en cada uno de los componentes principales, como en el caso de Australia, que además toma en cuenta el crecimiento económico del sector.

Sólo la política de **Corea** presenta indicadores concretos con cifras que permiten evaluar con exactitud la ejecución de Biotech 2000. En este sentido, es destacable la política de **Chile**, ya que presenta un plan de corto plazo (2004–2005) en el cual se definen actividades concretas y responsables, entre los que está la formulación de la ley marco de biotecnología, la nueva ley de propiedad industrial (por el Ministerio de Economía) y la regulación para el cultivo de OGM (por el Ministerio de Agricultura y el Servicio agrícola y ganadero).

De igual forma, es relevante el Marco de Responsabilidad y Dirección con base en Resultados de la Estrategia Canadiense en Biotecnología (CBS) como sistema para evaluar el cumplimiento de los objetivos al definir indicadores para cada una de las entidades involucradas.

### D. Estructura para la ejecución de la política

La política pública en biotecnología que han desarrollado los países líderes es un factor clave de éxito. El aspecto más relevante que resulta del estudio de *benchmark* en políticas públicas, es la existencia de una estructura definida y una institucionalidad que brinda respaldo y soporte para la ejecución de las políticas en biotecnología, así como para su regulación y normatividad.

Se observa cómo, dentro de estas estructuras, es activa la participación de aquellos ministerios rela-

cionados con la biotecnología, conformándose consejos o equipos interministeriales que promueven las iniciativas y aportes de diferentes sectores para su desarrollo, como en el caso de Australia, Canadá y Corea. Así mismo, se resalta la existencia de una oficina o dependencia gubernamental de alto nivel que asume la responsabilidad de orientar las acciones en biotecnología (como Biotechnology Australia), tomando en cuenta las opiniones de diversos sectores, incluido el público en general, y de comités asesores del gobierno en esta materia. Por último, cabe destacar la conformación o existencia de foros biotecnológicos en Chile y Argentina, en los cuales es importante la participación de las empresas y organizaciones de la sociedad civil, como promotores de discusiones y procesos en torno al desarrollo de la biotecnología en cada país.

### E. Recursos y financiación

Se observa en la tabla 4 que los gobiernos de los países líderes destinan importantes sumas de dinero para la ejecución de sus políticas en biotecnología, y es sobresaliente el caso de Corea, en donde tanto el gobierno como la industria apoyan decididamente la realización de Biotech 2000, y esta última aporta más del 60% de los recursos.

### F. Procesos para la formulación y consolidación de políticas

Teniendo en cuenta que, como se mencionó, la característica general en los países analizados es la existencia de una estructura responsable de la política en biotecnología, los procesos para la formulación de dichos documentos se iniciaron en la mayoría de los casos con la creación de tales estructuras, como la agencia Biotechnology Australia, la Comisión nacional para el desarrollo de la biotecnología en Chile o los comités ministeriales en Canadá y Corea.

Es importante la participación de diferentes sectores en la formulación de las políticas a través de diversos medios (Internet, consultas directas, fo-

ros), como ocurrió en Canadá, Corea y, actualmente, en Argentina. Entre los participantes, se encuentran tanto representantes del gobierno como de la industria, la academia y la comunidad en general, destacándose la participación de asociaciones de empresarios e industriales.

Los procesos para la formulación de las políticas se dieron a conocer a través del mismo documento de política u otros medios como páginas web, como en el caso de Canadá y Chile.

Otros hechos que se resaltan son:

- La priorización de áreas estratégicas que se incluye en las políticas de Canadá, Corea y Chile.
- La creación de la Oficina Reguladora de la Tecnología Genética en Australia como parte de la estructura encargada de llevar a cabo la estrategia nacional en biotecnología.
- Los incentivos brindados por el gobierno coreano a las empresas participantes en la ejecución de Biotech 2000.
- La formulación del anteproyecto de ley de promoción de la industria biotecnológica como primer logro del proceso de definición del plan estratégico en biotecnología de Argentina, el cual contempla la creación del Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria Biotecnológica (FONBIO).

### **Análisis de *benchmark* de documentos nacionales en direccionamiento de la biotecnología**

A continuación, se presentan los resultados del análisis de los siguientes documentos:

#### **Plan estratégico del Programa Nacional de Biotecnología (Colciencias, 1999)**

Este documento propone un análisis de *benchmark* entre Estados Unidos, Canadá y Singapur, que logra una descripción del sector muy perti-

nente, pero no concreta la comparación propia del *benchmarking*, puesto que sólo se presentan las características de cada país, sin profundizar en los elementos importantes para Colombia o en el potencial de desarrollo del área. Tampoco se definen mejores prácticas, lo cual es muy importante para la toma de decisiones.

En la tabla 5, se presenta un resumen de las principales fortalezas y debilidades que tuvo el Plan.

#### **Propuesta de una política industrial en biotecnología (Mindesarrollo et al., 2001)**

El documento se divide en tres capítulos: el primero presenta la justificación de la propuesta que las tres entidades formularon y los objetivos generales que la política en biotecnología industrial debería perseguir. Se toman como base los planteamientos de la política para el sector industrial en general y se enfatiza en la necesidad de generar lineamientos propios para el sector biotecnológico, atendiendo las opiniones y necesidades de actores como los empresarios, las asociaciones, los gremios, los investigadores, entre otros.

El segundo capítulo consiste en un análisis del estado de la biotecnología en Colombia, formulado a partir de un estudio de *benchmark* que retoma elementos del estudio incluido en el Plan estratégico del Programa Nacional de Biotecnología 1999-2004, y los complementa con análisis de la situación en países como Colombia, Chile y México, además de Estados Unidos, Canadá y Singapur. Con base en dicho estudio, se resaltan las políticas exitosas y sus características, así como las causas de los fracasos de otras políticas, destacándose los siguientes aspectos:

- En general, los países desarrollados cuentan con modelos eficientes para propiciar la interacción academia-industria, siendo Estados Unidos el país que tiene el modelo más eficiente de I&D.



Tabla 5. Fortalezas y debilidades del Plan Estratégico del PNB

Fortalezas	Debilidades
Documento bien estructurado.	Poca participación de actores decisivos del sistema.
Estado del arte completo y actualizado para el momento en que fue elaborado.	Marcada visión académica en la formulación del plan estratégico.
Enfoque crítico.	Herramientas de gestión débilmente implementadas. Los componentes de plan estratégico están formulados superficialmente.
Intento por incluir herramientas modernas de gestión en el direccionamiento de la biotecnología, tales como el <i>benchmark</i> y la planeación estratégica, mencionándose de forma superficial la prospectiva.	El seguimiento al plan no ha sido lo suficientemente estricto y no se han realizado ajustes al plan existente.

- Debido al impacto de la biotecnología en los mercados mundiales, los científicos que trabajan en este campo, además de especializarse en ciencia y tecnología, buscan capacitarse y comprender la gestión de los negocios.
- Los países líderes en biotecnología cuentan con mecanismos de apoyo para la creación de empresas. Por ejemplo, en Estados Unidos existe el fondo SBIR (Small Business Innovate Research), que se orienta a la estructuración del plan de negocios, formación de la empresa, desarrollo inicial de la tecnología y consolidación del proyecto para que resulte atractivo en cuanto a la adquisición de capital semilla.
- En Singapur tienen gran importancia los fondos de capital de riesgo, como el Fondo de la Agencia de Desarrollo Económico y fondos privados como Transtech Capital Investments e Intervest Ventures, los cuales pueden operar en cofinanciación con inversiones potenciales en biotecnología.
- La mayoría de países tienen incentivos tributarios atractivos y asistencia financiera para estimular la creación de empresas de base biotecnológica.
- Los países que son fuertes en biotecnología definen áreas de investigación prioritarias y buscan que los resultados de la investigación se concreten en bienes y servicios.

El último capítulo presenta estrategias para la biotecnología industrial en seis áreas: mercados y gestión, investigación y desarrollo, normatividad y legislación, recurso humano, recursos económicos y capacidad de integración. Para cada una de estas áreas, se plantean una justificación y varias líneas de acción, junto a los responsables de llevarlas a cabo, lo cual constituye el mayor aporte del documento. En la tabla 6 se presentan sus fortalezas y debilidades.

#### Bases para una política nacional de biotecnología (Torres, 2002)

La justificación del documento se presenta a manera de un conjunto de ideas relacionadas con la inversión de los países industrializados en innovación y avance tecnológico en comparación con los países menos desarrollados, los impactos y beneficios de la biotecnología moderna, el aumento de la inversión privada en biotecnología, la biotecnología como factor de desarrollo y la capacidad del país al respecto.

El segundo capítulo, titulado Tendencias internacionales de desarrollo científico y tecnológico, introduce el concepto de biotecnología moderna y se habla de sus fundamentos científicos. Además, se presentan nueve tecnologías (cultivo de células y tejidos, tecnología de DNA recombinante o ingeniería

Tabla 6. Fortalezas y debilidades de la propuesta de política industrial en biotecnología

Fortalezas	Debilidades
Documento conciso y bien formulado.	No se tomaron en cuenta cifras sobre mercados ni capacidad del país en biotecnología.
Bien sustentado en elementos como la descripción del estado de la biotecnología y el estudio de <i>benchmark</i> .	No hay claridad acerca de cómo surgió la propuesta.
Definición de seis áreas estratégicas (mercados y gestión, investigación y desarrollo, normatividad y legislación, recurso humano, recursos económicos y capacidad de integración), cada una con sus lineamientos de acción y responsables.	Falta de precisión de los objetivos planteados.

ría genética, marcadores moleculares, genómica, proteómica, bioinformática, DNA *chips* y microarreglos, cultivo de células germinales animales o *stem cells*, nanotecnología) describiendo en qué consisten. Finalmente, se presentan algunas conclusiones sobre las oportunidades que brinda la biotecnología moderna al país y las nuevas tendencias en el manejo y comercialización de la biodiversidad.

La información que presenta este capítulo es muy pertinente; sin embargo, no se explica la razón por la cual se seleccionaron las tecnologías descritas. Además, tanto el concepto de biotecnología moderna como sus fundamentos científicos y las definiciones de cada tecnología no se encuentran sustentados con referencias bibliográficas que permitan conocer su procedencia.

El documento aborda, además, los mercados internacionales, incluyendo cifras y otra información sobre los mercados convencionales de la biotecnología, los mercados emergentes, además de la descripción de la evolución de este campo en Latinoamérica. Los mercados convencionales se analizan tomando en cuenta los campos de la agricultura, la salud, el medio ambiente y la industria. Se finaliza concluyendo que están emergiendo nuevos mercados en donde se comercia directamente el material genético, y que tanto éstos como los mercados tradicionales presentan ventajas y riesgos para los países en vía de desarrollo. Esta

información es detallada y está muy bien sustentada, constituyendo un valioso diagnóstico de los mercados en biotecnología.

En cuanto al marco jurídico internacional, se hace una breve revisión de los temas de derechos de propiedad intelectual, acceso a los recursos genéticos y bioseguridad. Igualmente, se analizan algunos factores de carácter institucional que en otros países han contribuido al éxito de las estrategias en biotecnología, como la financiación, la transferencia y comercialización de tecnología.

El documento destina un capítulo a la descripción detallada del estado de la biotecnología en el país en cuanto a capacidad científica y tecnológica en los sectores agropecuario, de salud humana, industria y ambiente. También se analiza la situación de los mercados colombianos en estos mismos sectores. Finalmente, se presenta el marco jurídico institucional con referencia a los derechos de propiedad intelectual, los recursos genéticos, la bioseguridad y el desarrollo institucional. Esta caracterización es valiosa y bien fundamentada. Igualmente, las conclusiones son pertinentes pero requieren de mayor sustento.

El capítulo final de este documento, titulado “Marco estratégico para el desarrollo de la biotecnología”, concreta las orientaciones de la política, así como sus objetivos, haciendo referencia a la biotecnología

Tabla 7. Fortalezas y debilidades del documento “Bases para una política nacional de biotecnología”

Fortalezas	Debilidades
Presenta información relevante sobre la biotecnología en Colombia y el mundo, especialmente en cuanto a mercados y capacidades científico tecnológicas.	Inicialmente, se priorizan nueve tecnologías pero no se establece con qué fin.
Define lineamientos estratégicos y líneas de acción concretas.	Falta una mayor rigurosidad en la presentación de la información, como en el caso del concepto de biotecnología moderna, que no es adecuadamente sustentado.
	No se definen actores responsables de la ejecución de las estrategias planteadas ni recursos requeridos.

logía como sector intensivo en ciencia y conocimiento, por lo cual, para su desarrollo, se requieren tanto capacidades científico-tecnológicas como recursos e inversiones. En este sentido, se señala que una política en biotecnología debe considerar aspectos como desarrollo empresarial y de mercados, en lo cual el Estado puede desempeñar un rol de liderazgo, como lo han mostrado experiencias internacionales. Además se enfatiza en la necesidad de generar procesos de innovación a partir de las capacidades propias. Incluye cinco lineamientos estratégicos relacionados con los procesos de innovación tecnológica, la capacidad empresarial y comercial, la capacidad científica y tecnológica, el marco legal y la capacidad institucional, proponiendo para cada uno de ellos líneas de acción.

Este capítulo es muy concreto y señala aspectos muy pertinentes para el desarrollo de la biotecnología. Cabe resaltar que los lineamientos definidos coinciden en muchos aspectos con los temas estratégicos que presenta el documento de Propuesta para una política industrial en biotecnología, analizada previamente. En la tabla 7 se resumen sus fortalezas y debilidades.

#### Análisis de las principales tendencias en investigación y desarrollo tecnológico en los campos de la biotecnología (Pineda, 2004)

Dentro de este documento, el capítulo *Referenciación para varios países en la definición de políticas nacionales de biotecnología* se orienta a la identificación de

elementos que cada país emplea para la generación de bionegocios, entre los cuales están las políticas en biotecnología. Las conclusiones de este estudio, que incluyó 24 países, en general, concuerdan con los resultados del *benchmark* de políticas realizados en el marco del presente estudio, particularmente en aspectos como:

- Para los países desarrollados, la biotecnología es importante estratégicamente para mantener altas tasas de crecimiento económico y elevada competitividad. Por el contrario, los países en vías de desarrollo no contemplan un amplio uso de la biotecnología, salvo para resolver problemas puntuales.
- En países desarrollados existen marcos regulatorios claros y estructuras para su funcionamiento. En el desarrollo de la biotecnología trabajan tanto el gobierno como el sector privado.

#### A. Análisis global de los documentos estratégicos en biotecnología en Colombia

Luego de la revisión crítica de los documentos sobre direccionamiento de la biotecnología en el país, se observan algunos aspectos que deben resaltarse, como la continuidad del proceso de discusión y reflexión en torno al papel que deben desempeñar diversos actores en biotecnología, como el gobierno, la academia o la industria, y a la orientación que debe dársele a la investigación y desarrollo en este campo. En tal sentido, se observa una creciente comunidad científica que se

ha interesado por estos temas y ha trascendido el nivel puramente investigativo para pensar estratégicamente.

De igual forma, resulta interesante el aporte que cada documento hace en cuanto a la definición del estado del arte de la biotecnología en Colombia y en el contexto internacional, que en general está muy bien sustentado. Así, en el caso del plan estratégico del Programa Nacional de Biotecnología 1999–2004, se destaca la caracterización de la comunidad científica y de los impactos del PNB; en la propuesta de política industrial en biotecnología sobresale el estudio de *benchmark* y el estado de la biotecnología en el país; en el documento del Departamento Nacional de Planeación, la descripción de los mercados y la evaluación de las capacidades científicas son aspectos que aportan para la caracterización de la biotecnología en Colombia y el mundo.

La priorización resulta esencial en los procesos de direccionamiento para definir la orientación de las acciones a seguir. No obstante, en los documentos analizados se presentan priorizaciones sólo en algunos aspectos. Por ejemplo, en el plan estratégico del PNB, se mencionan las áreas en las cuales se requiere formar recursos humanos pero no se toman como referencia para la generación de estrategias. En el documento formulado por el Ministerio de Desarrollo, Colciencias y la Universidad Nacional, se definen seis áreas estratégicas; sin embargo, no se establecen las áreas hacia las cuales debe orientarse la I&D en el país. Por su parte, el documento de Bases para una política nacional de biotecnología presenta una priorización en cuanto a las tecnologías más importantes de acuerdo con las tendencias internacionales.

Por último, se destaca que los documentos analizados presentan los ejes esenciales del direccionamiento estratégico, los cuales se hacen explícitos en las áreas estratégicas de la propuesta para una

política industrial en biotecnología, así como en los lineamientos estratégicos del documento de Torres (2002). Por ello, un ejercicio de direccionamiento para la biotecnología no tendrá que centrarse en la definición de nuevos ejes, sino fortalecer los existentes, definiendo cómo llevarlos a la práctica, para lo cual es fundamental establecer prioridades y estrategias, junto a los responsables y los recursos necesarios para su implementación.

### B. Aprendizaje del contexto nacional

El análisis de los tres documentos estratégicos en biotecnología formulados en el país (Plan Estratégico del Programa Nacional de Biotecnología 1999-2004, Propuesta de política industrial en biotecnología y Bases para una política nacional en biotecnología), realizado en concordancia con el *benchmark* de políticas en biotecnología de otros países, permite obtener algunos aspectos relevantes que se muestran en la tabla 8.

En el caso colombiano, los documentos formulados se caracterizan por estar muy bien fundamentados, lo cual se observa en los componentes de cada uno de ellos, que involucran estudios de *benchmark*, estado del arte nacional e internacional, caracterización de la comunidad científica en Colombia, entre otros. No obstante, los objetivos planteados en los documentos están formulados de forma muy general y realmente no definen la orientación o las metas concretas de cada documento en procura del desarrollo biotecnológico. El documento de Torres (2002) aporta en este sentido, ya que sus objetivos son concisos y están claramente definidos, abordando temas similares a los que se identificaron en los objetivos y componentes de las políticas de otros países, como la competitividad, búsqueda de nuevos mercados, aprovechamiento de la biodiversidad y generación de beneficios como empleo y calidad de vida.

Otro hecho que resulta de gran trascendencia es la definición de lineamientos estratégicos en dos

Tabla 8. Comparación de documentos estratégicos en biotecnología

Criterios de comparación	Plan PNB 99 -04	Propuesta política industrial (Mindesarrollo, Colciencias, UN, 2001)	Bases política nacional (Torres, 2002)
Componentes	<i>Benchmark</i> , análisis de contexto, análisis estratégico, plan estratégico: misión, visión, objetivos estratégicos.	Justificación, estado de la biotecnología en Colombia (incluido el estudio de <i>benchmark</i> ), estrategias de la política industrial en biotecnología.	Introducción, tendencias internacionales de desarrollo científico y tecnológico, mercados internacionales, marco jurídico internacional, desarrollo institucional, situación en Colombia, marco estratégico para el desarrollo de la biotecnología.
Objetivos	Son demasiado generales.	Más que objetivos, son planteamientos que debería considerar una política en biotecnología.	Formulados de forma concreta y muy acertada.
Elementos para la evaluación (indicadores)	NO	NO	NO
Estructura para la ejecución	Consejo Nacional de Biotecnología	Colciencias a través del Consejo del PNB	NO
Recursos	NO	NO	NO
Proceso para la formulación	NO	NO	NO

de los documentos analizados (Mindesarrollo, Colciencias, Universidad Nacional, 2001; Torres, 2002) que resultan ser muy similares y se enfocan al impulso de la I&D y la innovación, un marco legal pertinente, el aumento de la capacidad científica y tecnológica y la formación de recursos humanos, la integración de mercados, el desarrollo empresarial y comercial.

Los documentos no son específicos en cuanto a definición de indicadores, de estructuras para la ejecución de las propuestas formuladas diferentes o complementarias al Programa Nacional de Biotecnología para el caso del Plan estratégico 1999-2004 y la Propuesta de política industrial en biotecnología 2001, ni a los requerimientos de recursos. De igual forma, no se hace explícito el proceso seguido para la formulación de estas pro-

puestas, aunque se llega a mencionar que se contó con una amplia participación de representantes de diversos sectores, como en el caso de la Propuesta de política industrial en biotecnología.

### C. Aprendizaje del contexto internacional

En el análisis de los documentos de política de diversos países, se pueden resaltar varios puntos, por constituir aportes valiosos en la definición de estrategias para la biotecnología en Colombia:

- El principal aporte del estudio de *benchmark* de políticas en biotecnología es la identificación de un ente responsable de la ejecución de las políticas con el objetivo de articular los diferentes actores en pro del desarrollo de la biotecnología en cada país. Se destaca la presencia de órganos de representación al más alto nivel, en

los cuales participan los ministerios relacionados con la biotecnología y otras entidades de carácter público y privado. Igualmente, se resalta la asesoría de grupos o foros integrados por expertos, asociaciones gremiales e industriales y representantes de otros sectores y de la comunidad en general.

- La orientación de las políticas es, en general, muy similar, y busca abordar elementos clave como: regulación de la biotecnología, especialmente en temas como la bioseguridad y derechos de propiedad intelectual; desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas junto a procesos de innovación como base para generar productos y servicios competitivos; formación de recursos humanos especializados de acuerdo con los requerimientos de las áreas que en cada país se consideran prioritarias; conservación y aprovechamiento de la biodiversidad y los recursos naturales, así como generación de beneficios en áreas como la salud y la alimentación; percepción de la biotecnología y su apropiación, pretendiendo generar confianza a través de información acertada y oportuna a la comunidad. Estos elementos clave son concretados a través de los lineamientos estratégicos de cada política y los objetivos macro que se persiguen con su ejecución. Otros elementos sobresalientes son el desarrollo y la integración empresarial (como grupos bioindustriales) a partir de biotecnología tradicional pero generando innovaciones.
- Resulta fundamental, aunque complicado, establecer los elementos que permitirán la evaluación de los procesos de ejecución de las políticas y el grado de cumplimiento de los objetivos planteados. En este sentido, sólo algunos países dejan explícito este aspecto en forma de metas muy concretas (Corea y Chile) o a través de la definición de un sistema que permita realizar este seguimiento.

– Los recursos destinados por los países para la ejecución de las políticas en biotecnología son considerables. Este aspecto permite observar el grado de compromiso de los gobiernos con relación al desarrollo biotecnológico, así como el de otros actores (la industria coreana, por ejemplo) y la claridad respecto al hecho de que los procesos de definición de políticas y direccionamiento involucran gastos importantes tanto en funcionamiento y soporte, como en el desarrollo de las áreas prioritarias en investigación y desarrollo para la obtención de nuevos productos y servicios, generación y adaptación de tecnologías, así como la ampliación de mercados mediante el aumento de la competitividad.

– Los procesos seguidos para formular las políticas y dar paso a su ejecución, muestran una importante participación, tanto de la comunidad investigativa como de representantes del gobierno, las asociaciones y gremios, las regiones y el público en general. De nuevo, se resalta el impulso dado por el gobierno central en cada caso, a través de la conformación de consejos interministeriales y equipos de trabajo y discusiones, junto a la destinación de recursos para realizar desde las actividades de consulta a los diversos actores, hasta la implementación de las estrategias definidas en cada política.

### Bases de estrategia a partir del estudio de *benchmark* de políticas en biotecnología

Con base en los resultados obtenidos en el estudio de *benchmark* de políticas en biotecnología de varios países, así como la revisión de los dos documentos que presentan estudios de *benchmark* (Mindesarrollo, *et al.*, 2001; Pineda, 2004), junto a la comparación establecida entre tres documentos estratégicos en biotecnología formulados en el país durante los cinco años anteriores, se plantean las siguientes bases de estrategia para el direccionamiento de la biotecnología en Colombia:

- Resulta fundamental definir responsabilidades, para lo cual es necesario contar con una estructura que las asuma, actuando como ente líder, para que coordine el desarrollo de las estrategias para la biotecnología en los próximos años, sea interlocutor entre los actores a nivel industrial, académico e investigativo y los tomadores de decisión, y además gestione apoyos de carácter económico en diversas fuentes para garantizar la adecuada implementación de tales estrategias. Lo anterior involucra aspectos como:
    - A. La conformación de un órgano interministerial con participación de otras entidades, para lo cual podría emplearse la figura de convenio interinstitucional.
    - B. Fortalecer el Consejo del Programa Nacional de Biotecnología para que se constituya en órgano asesor del gobierno nacional e interlocutor con la comunidad en lo referente a la percepción pública de la biotecnología.
    - C. Impulsar las empresas de biotecnología en el país y su organización en asociaciones, que posteriormente permitan la conformación del foro colombiano de biotecnología.
- Además, en Colombia existe una institucionalidad que puede otorgar el suficiente respaldo a los lineamientos estratégicos en biotecnología y su implementación, como Colciencias y los ministerios sectoriales.
- La política en biotecnología debe establecer mecanismos para que la comunidad conozca de manera explícita los recursos asignados para el desarrollo de las diferentes áreas consideradas como estratégicas, y para que dichos recursos tengan carácter de largo plazo. Es decir, se debe garantizar estabilidad en los montos y su asignación con el fin de permitir la continuidad en la ejecución de proyectos.
  - La formulación de políticas en biotecnología para Colombia debe partir de la priorización de áreas de desarrollo, lo cual permitirá concretar los planes y proyectos en cada una de ellas. Como se vio, las políticas en biotecnología de Canadá y Corea han definido las áreas hacia las cuales enfocarán sus esfuerzos, lo cual seguramente ha contribuido a una mejor definición de los recursos, tanto económicos como humanos y técnicos, requeridos para el avance y la generación de impactos en tales áreas.
  - La política en biotecnología deberá contar con un sistema de gestión y evaluación adecuado que permita realizar seguimiento a su ejecución, así como la socialización de los resultados obtenidos en cada etapa, con el fin de informar y hacer partícipe a la comunidad en general. De igual forma, los indicadores que conforman este sistema serán la base para que los entes responsables de la política en biotecnología puedan tomar decisiones respecto a ajustes o formulación de nuevos lineamientos, en el marco de un proceso dinámico.
  - Un factor muy importante en las políticas analizadas y que debe retomarse en el caso colombiano es la generación de confianza en la biotecnología, siendo fundamental la calidad de la información que se brinda al público en general. En este sentido, será prioritario involucrar a los académicos e investigadores en el proceso de comunicación, ya que, en general, tienen mayor credibilidad que otros actores como los políticos. La regulación efectiva y su adecuada difusión pueden influir notoriamente para afianzar la confianza de la gente en los desarrollos biotecnológicos.
  - En países líderes como Canadá y Corea, se ha hecho énfasis en la orientación de la biotecnología hacia la industria y en la comercialización de los desarrollos biotecnológicos. Este énfasis

puede significar, para nuestro país, mayor desarrollo industrial y competitividad, por lo cual la política en biotecnología debe plantear mecanismos para el fortalecimiento de las empresas existentes y la generación de nuevas, así como la inversión estratégica en investigación y desarrollo, procesos de innovación y transferencia de tecnología entre los centros de investigación y la industria. La relación academia-industria debe ser reforzada, como base de una estrategia exitosa en escalamiento y comercialización de desarrollos biotecnológicos, tal como ocurre en los países líderes como Estados Unidos. Finalmente, debe considerarse la generación de alianzas estratégicas entre las empresas colombianas y las multinacionales.

- La política en biotecnología deberá garantizar incentivos tributarios gubernamentales para este campo, como lo han hecho otros países como Canadá. En este sentido, podría contemplarse la creación de un programa similar al Plan Vallejo, específico para productos y servicios biotecnológicos.
- Los documentos colombianos aportan a la definición de objetivos y lineamientos estratégicos, que pueden ser retomados en el direccionamiento de la biotecnología al año 2015 por su vigencia y pertinencia y, además, si se relacionan con los componentes y objetivos de las políticas en biotecnología extranjeras, se observa que su orientación es similar a la de países líderes como Canadá y Australia.
- Con relación a los documentos estratégicos colombianos, es importante mencionar algunos elementos que pueden mejorarse al momento de formular el direccionamiento futuro de la biotecnología: debe buscarse la consolidación de compromisos explícitos por parte de los actores decisivos al más alto nivel, con el fin de que las propuestas no se queden en el papel. De

igual forma, es fundamental buscar la óptima implementación de las herramientas de gestión, lo cual implica, entre otras cosas, la descripción de los procesos seguidos para la formulación del direccionamiento, que permitan al lector conocer los esfuerzos invertidos, el origen de la información presentada y los actores involucrados. En esta misma vía puede considerarse la aplicación de diversas herramientas que amplíen y permitan la interrelación de resultados para dar una visión integral del problema y de las soluciones pertinentes.

- Finalmente, los procesos de formulación de políticas en otros países han involucrado infinidad de actores y han implementado diversas técnicas y herramientas de gestión, consiguiendo importantes aportes para la definición de lineamientos estratégicos. En Colombia, como se observa en la comparación de documentos estratégicos en biotecnología del país, también se han hecho intentos por implementar herramientas de gestión como la planeación estratégica, la prospectiva y el *benchmark*, pero no se ha llegado a los resultados que dichas herramientas permiten. Se observa que deben generarse mecanismos de trabajo en dos frentes:
  - A. La formación en gestión dirigida a los profesionales competentes en áreas de la ciencia básica.
  - B. La capacitación en temas de biotecnología para quienes toman decisiones (políticos, legisladores).



## REFERENCIAS

- Asia Pacific Biotech. (1997, septiembre 15). Major events. Issue 1. Online: <http://www.asiabiotech.com/>.
- Biotechnology Australia (2000). Australian biotechnology: a national strategy. Online: [http://www.biotechnology.gov.au/librasry/content\\_library/BA\\_Biotech\\_strategy.pdf](http://www.biotechnology.gov.au/librasry/content_library/BA_Biotech_strategy.pdf).
- Biotechnology Australia. (2004). Summary of the outcomes from the 2003 evaluation of the National Biotechnology Strategy and Biotechnology Australia. Online: [http://www.biotechnology.gov.au/library/content\\_library/BA\\_NBS\\_Evaluation\\_outcomes\\_Mar04.pdf](http://www.biotechnology.gov.au/library/content_library/BA_NBS_Evaluation_outcomes_Mar04.pdf).
- Colciencias (1999). Programa Nacional de Biotecnología. Plan estratégico – Biotecnología. Bogotá, Colombia.
- Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología (2002). Plan de trabajo para el año 2002. Ministerio de Energía y Economía de Chile. Online: <http://www.economia.cl/economiafinal.nsf/0/5C07351F7CAD109584256C74007E0380?OpenDocument&5.2>.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (2004). Contribución de la ciencia y la tecnología al logro de los objetivos de la Declaración del Milenio. Online: [http://www.unctad.org/sp/docs//tdxiibpd4\\_sppdf](http://www.unctad.org/sp/docs//tdxiibpd4_sppdf).
- Cox, C. (2003). Comisión de Biotecnología detalló su propuesta para una política nacional del sector. Artículo en la página web del Ministerio de Economía y Energía de Chile. Online: <http://www.minecon.cl/economiafinal.nsf/0/5367EE362852B2A504256D4900581E0A?OpenDocument&1.1&sem>.
- Departamento de Industria, Turismo y Recursos de Australia (2004a). National Biotechnology Strategy and Biotechnology Australia. Online: <http://www.industry.gov.au/content/itrinternet/cmscontent.cfm?objectID=5432B958-9E67-5DB9-E19606ECB36E813D>.
- Departamento de Industria, Turismo y Recursos de Australia (2004b). Biotechnology Action Agenda. Online: <http://www.industry.gov.au/content/itrinternet/cmscontent.cfm?ObjectID=66E67924-D8D6-43D0-A2030CDA554EF09B>.
- Foro Nacional de Competitividad de la Cadena Productiva de Biotecnología (2004a). Minutas de las reuniones del grupo de trabajo que discute el Plan Estratégico Nacional en Biotecnología. Subsecretaría de Industria de Argentina. Online: <http://www.industria.gov.ar/foros/index.htm>.
- Foro Nacional de Competitividad de la Cadena Productiva de Biotecnología. (2004b). Anteproyecto de ley de promoción de la industria biotecnológica. Subsecretaría de Industria de Argentina. Online: <http://www.industria.gov.ar/foros/index.htm>.
- Gobierno de Canadá (1998). Canadian Biotechnology Strategy. Online: <http://biostrategy.gc.ca/english/View.asp?pmiid=520&cx=535>.
- Gobierno de Canadá (2002). Canadian Biotechnology Strategy, overall performance report 1999–2002. Online: <http://biostrategy.gc.ca/english/View.asp?pmiid=520&cx=537>.

- Gobierno de Canadá (2004a). Biotechnology transforming society: Creating an innovative economy and a higher quality of life. Report on biotechnology 1998–2003. Online: [http://biostrategy.gc.ca/CMFiles/11865\\_CAN\\_BIO\\_REP\\_Ev949SFJ-922004-3421.pdf](http://biostrategy.gc.ca/CMFiles/11865_CAN_BIO_REP_Ev949SFJ-922004-3421.pdf).
- Gobierno de Chile (2003). La biotecnología como herramienta para el desarrollo y el bienestar. Política Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología. Online: <http://www.economia.cl/economiafinal.nsf/0/A73E7BFF3198CB3C04256DE20074BC69?OpenDocument&5.2>.
- Han, S; Yoo, Y; Rho, W. (2003). New Cloning Technologies and Bioethics Issues: The Legislative Process in Korea. *Eubios Journal of Asian and International Bioethics*. Vol. 13. Pp. 216–219.
- IMBN. Asia Pacific International Molecular Biology Network (2000). Report of the priority needs commission for Korea 2000. Online: <http://wwwa-imbm.org/Korea%202000.pdf>.
- Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (1997). Biotechnology R&D policy, Republic of Korea. Online: <http://asean.kribb.re.kr/s&trelated/korea/13others.html>.
- Manzur, M. (2004). Investigación biotecnológica en Chile orientada a la producción de organismos transgénicos. *Revista Ambiente y Desarrollo*. Vol. XX No. 1. Online: <http://www.cipma.cl/RAD/PDFs/Manzur.pdf>.
- Ministerio de Desarrollo Económico, Colciencias, Universidad Nacional de Colombia (2001). Estado de la biotecnología en Colombia y otros países. En: *Propuesta de una Política Industrial en Biotecnología*.
- Pineda, L. (2004). Referenciación para varios países en la definición de políticas nacionales de biotecnología. En: *Análisis de las principales tendencias en investigación y desarrollo tecnológico en los campos de la biotecnología más relevantes para el Valle del Cauca*. Documento para la Agenda de Ciencia, Tecnología e Innovación del Valle del Cauca.
- Rhee, S. (2004). Challenges and Opportunities for Biotechnology Development: the Korean Experiences. Online: [http://www.ris.org.in/abdr\\_july4.pdf](http://www.ris.org.in/abdr_july4.pdf).
- Spendolini, M. (1994). *Benchmarking*. Grupo Editorial Norma. Bogotá.
- Torres, R. (2002). Bases para una política nacional de biotecnología. Informe final presentado al Departamento Nacional de Planeación – DNP, Dirección de Desarrollo Agrario, Bogotá.
- Yong, C, Kyung-Soo; Rhee, S; Hi Han, M. (1999). An Overview of Biotechnology in Korea. *Tibtech*. Vol.17. pág. 96 – 101.





## CAPÍTULO V

# Ejercicio prospectivo de la biotecnología en Colombia 2005-2015

### Introducción

La técnica Delphi permite consultar a múltiples expertos que no se conocen entre sí, para explorar su opinión de forma independiente sobre un asunto determinado. Es un instrumento de la prospectiva, la cual parte de una visualización del futuro para encontrar un escenario deseable y encaminar las acciones presentes hacia él, teniendo en cuenta las oportunidades y limitaciones que ofrece la evolución pasada y la situación actual para alcanzar dicho futuro.

En el caso de la biotecnología en Colombia, el objetivo del Delphi fue consultar la opinión de conocedores y expertos en las temáticas relacionadas, sobre diversos aspectos que pueden influir en el desarrollo futuro de la biotecnología en el país, así como las prioridades de investigación, bases de estrategias y elementos que pueden conformar una política para el avance de la biotecnología en Colombia.

El ejercicio Delphi para la biotecnología en Colombia al año 2015 es el resultado de varias fases de trabajo para la recolección de información y el diseño de la encuesta antes de su lanzamiento *online*, en las cuales se contó con la asesoría del Instituto Prest (Universidad de Manchester, Inglaterra) y del Programa Nacional de Previsión Tecnológica. Se inició con un taller de expertos efectuado en marzo de 2004, en donde se consultó sobre fuerzas restrictivas, aceleradoras y oportunidades de la biotecnología, así como políticas y estrategias. En dicho taller, participaron cerca de 80 expertos de los diferentes sectores: gobierno, academia y sector productivo. Luego del análisis de la información obtenida, se identificaron los temas y tópicos sobre los que se debería construir una encuesta Delphi, y se inició la redacción y preparación de este ejercicio.

### Diseño de la encuesta

A partir del análisis de la información obtenida previamente, se plantearon las secciones de la encuesta Delphi y las preguntas que hacen parte de cada una de ellas. Las consultas se orientaron a conocer la opinión de los expertos en diversos campos con proyección al año 2015.

### Montaje del Delphi *online*

Con el fin de que los invitados a participar en el Delphi pudiesen tener acceso a éste a través de Internet, se usó el software Surveylet de Calibrium, cuya licencia es propiedad de Colciencias y la Universidad del Valle, teniendo en cuenta que este programa permite una interfaz amigable con el usuario y un adecuado análisis de la información obtenida a partir de las respuestas de los participantes.

### Convocatoria para el diligenciamiento de la encuesta

Se preparó un listado de 405 personas consideradas como expertas en diversos campos de la biotecnología y con una visión amplia sobre el progreso de la ciencia y la tecnología en el país. Se las invitó a participar a través de un mensaje por correo electrónico, en el cual se enviaron las claves de acceso personalizadas.

Pasados 15 días del lanzamiento de la encuesta Delphi *online*, se amplió la convocatoria publicando avisos en las páginas Web de Colciencias, el grupo de investigación Biogestión de la Universidad Nacional y la Revista Colombiana de Biotecnología. El objetivo fue lograr una mayor participación y vincular a personas que no estaban incluidas en el listado inicial.

### Validación de encuestas

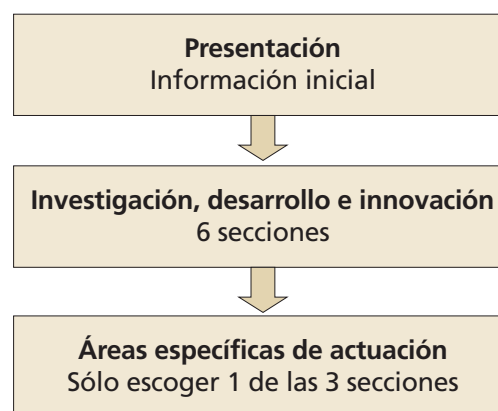
Para validar cada cuestionario diligenciado, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Duplicidad de cuestionarios (una persona diligencia más de una encuesta).

- Personas que no están en la lista de expertos (algunos casos de varias personas con el mismo e-mail).
- Abandono (la persona no avanza a la sección de Investigación, desarrollo e innovación).

### Estructura de la encuesta

La encuesta *online* se dividió en tres secciones principales: la primera de ellas con información general, y las dos siguientes que consultan sobre aspectos relevantes para definir la orientación de la biotecnología en el país en los próximos años.



**1. Presentación:** en la parte inicial de la encuesta, se presentó una información general, se dieron indicaciones para responderla y se solicitaron datos a los encuestados, como dirección de contacto, género, formación académica, ubicación geográfica.

**2. Investigación, desarrollo e innovación:** en esta sección, se realizaron preguntas relacionadas con la formulación de políticas en biotecnología, capacidad científica y tecnológica, mercados, desarrollo empresarial, percepción pública y actores que en concepto del encuestado deberían liderar estos temas.

**3. Áreas específicas de actuación:** la sección final de la encuesta Delphi se orientó a consultar a los participantes sobre tecnologías, focos de desa-

Figura 1. Nivel de conocimiento

Nivel de conocimiento sobre la temática tratada	
<b>Interesado</b>	Le gusta el tema pero está poco familiarizado con él.
<b>Casualmente informado</b>	Ha leído o escuchado sobre el tema a través de medios de comunicación y otras fuentes de acceso público.
<b>Familiarizado con el tema</b>	Conoce muchos de los argumentos en pro y en contra del tema y las cuestiones que lo rodean, ha leído sobre éste y se ha formado una opinión sobre él.
<b>Conocedor</b>	Puede cumplir alguna de estas condiciones: <b>a)</b> Fue experto en el tema hace algún tiempo pero ahora se dedica a otras áreas. <b>b)</b> Está formándose como experto, pero considera que aún no tiene dominio total del tema. <b>c)</b> Trabaja en un campo muy relacionado y ocasionalmente aporta a este tema.
<b>Experto</b>	Usted considera que pertenece al grupo de personas que actualmente dedica la mayor parte de su tiempo a este tema y probablemente ha presentado, escrito y/o publicado los resultados de sus trabajos en el área, o los ha patentado.

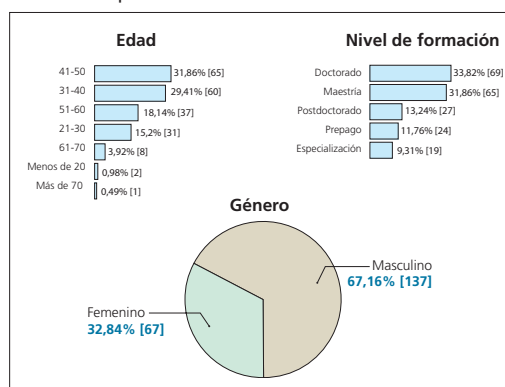
rollo biotecnológico, bienes y servicios en tres sectores de la biotecnología: agrícola, pecuario e industria de alimentos; salud, farmacéutico y cosmético; medio ambiente y energía. Cada encuestado eligió el campo sobre el cual respondería la encuesta, de acuerdo con su experiencia y conocimiento. Además, se dio la posibilidad de que una persona respondiera las preguntas de más de un campo.

Tanto en la sección de presentación como en la de áreas específicas de actuación se consultó sobre el nivel de conocimiento de los encuestados respecto a tres aspectos: su campo de experticia, las tecnologías y las políticas de Estado (figura 1).

### Características generales de la población

De un total de 574 personas invitadas a participar, 204 respondieron la encuesta Delphi (35,5%) entre el 20 de noviembre y el 31 de diciembre de 2004, periodo durante el cual la encuesta permaneció abierta. En este grupo, se incluyen 32 extranjeros y colombianos residentes en el exterior (figura 2).

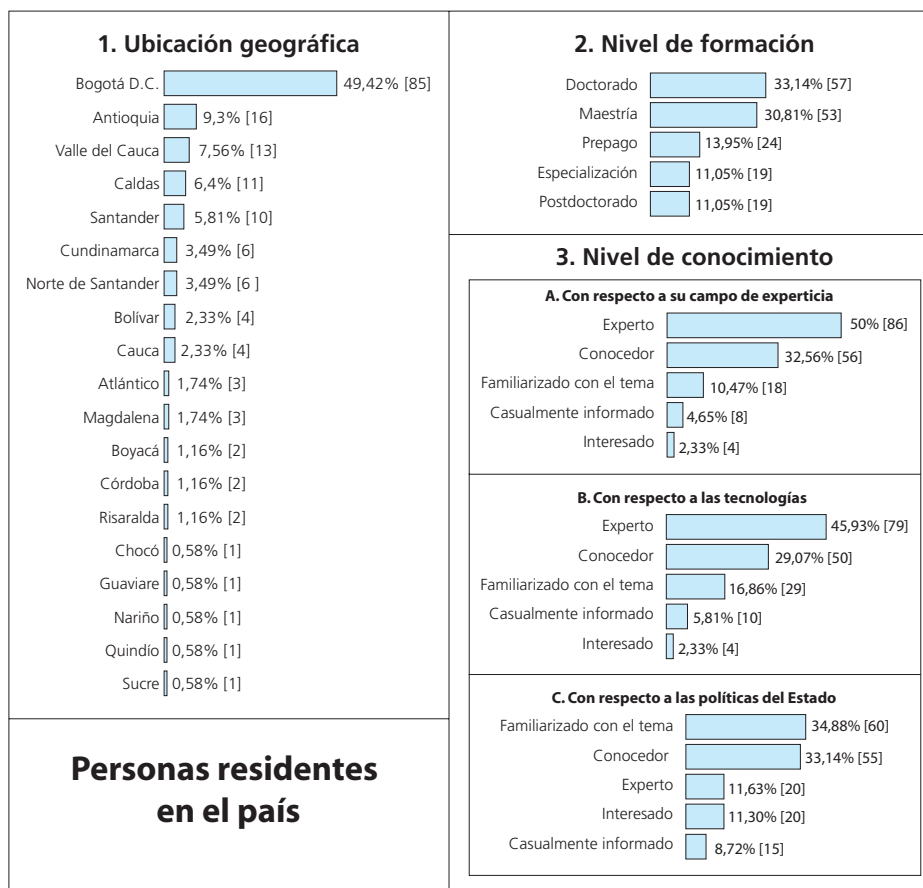
Figura 2. Caracterización de la población que respondió la encuesta Delphi



La encuesta fue respondida en su mayoría por hombres entre los 31 y 50 años de edad, con formación en maestría o doctorado. Estos niveles de formación contribuyen a generar mayor confiabilidad en los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que implican una mayor capacidad analítica y conocimiento más profundo de las temáticas relativas a la biotecnología.

El grupo de personas participantes que residen en Colombia se ubican principalmente en Bogotá y tienen formación de maestría o doctorado en su mayoría (figura 3). Se observa una gran heterogeneidad en el grupo de encuestados, con personas ubicadas en 19 de los 32 departamentos del país. La mitad de los en-

Figura 3. Características de los encuestados residentes en Colombia



**Personas residentes en el país**

Encuestados se considera experto en su campo y el 20% se ubica en el grupo de conocedores, lo cual está muy relacionado con los niveles de formación reportados.

En cuanto a las tecnologías, cerca del 46% de las personas se consideran conocedoras, seguidas por un 29% de expertos, explicable por el hecho de que, en general, la experticia puede relacionarse con el manejo permanente de una tecnología específica.

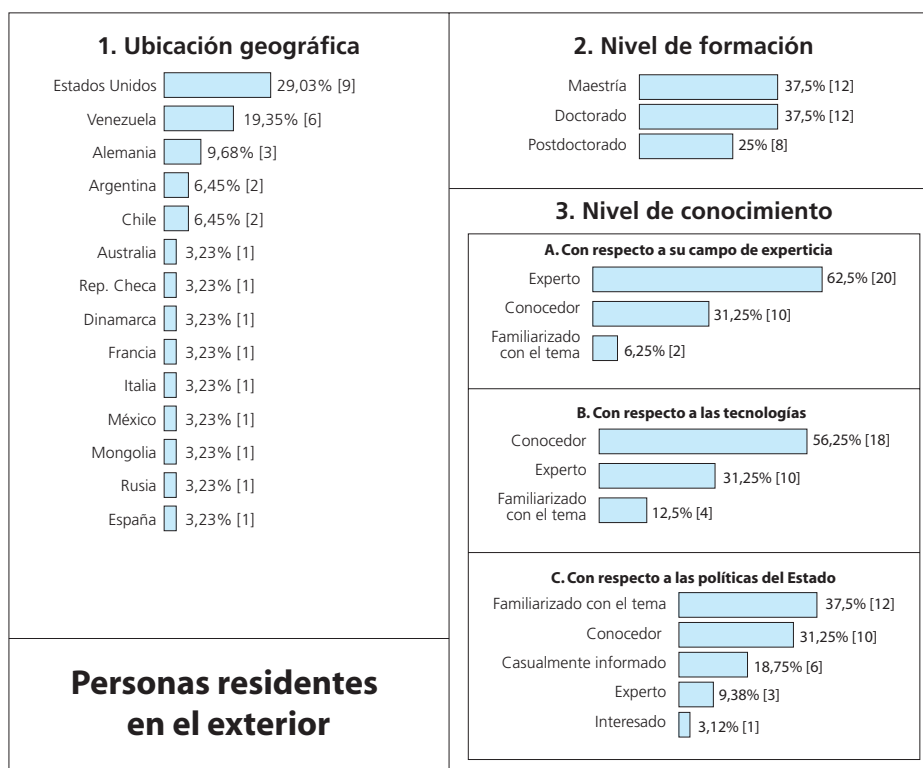
Por último, un 35% de los encuestados en Colombia contestó que sólo se encuentran familiarizados con las políticas de Estado, posiblemente porque en su mayoría son académicos o investigadores que en sus actividades tienen un acercamiento poco profundo con estos temas. No obs-

tantemente, el 33% de las personas se considera conocedor de las políticas públicas.

En el caso de los encuestados que residen fuera del país (figura 4), en su totalidad son posgraduados y residen principalmente en Estados Unidos, Venezuela y Alemania, aunque participaron personas de otros 12 países. Al igual que el grupo de encuestados que vive en Colombia, la mayoría se considera experto respecto a su campo de actuación y conocedor con relación a las tecnologías. Así mismo, los dos grupos coinciden en considerarse familiarizados con las políticas de Estado, pero en el caso de los residentes en el exterior, puede ser consecuencia del lógico distanciamiento de estos temas al encontrarse en otro entorno.



Figura 4. Características de los encuestados residentes en el exterior



### Análisis de los resultados en investigación, desarrollo e innovación

En esta sección se solicitaron recomendaciones referentes a la capacidad científica del país, elementos y factores de política pública, mercados, grandes objetivos del desempeño de la biotecnología y su difusión en Colombia. Los encuestados señalaron los ítems que consideraron de mayor relevancia para el desarrollo de la biotecnología colombiana en los próximos diez años.

#### Desarrollo de la capacidad científica y tecnológica del país

La pregunta realizada en este punto fue: *las siguientes son recomendaciones para que Colombia sea un país líder en biotecnología en América Latina. Seleccione las cinco que usted considere más importantes.*

En la tabla 1, se aprecia una baja dispersión entre los ítems seleccionados como los más relevantes (sombreados), que hacen referencia principalmente a tres áreas en el siguiente orden de prioridad: formación de recursos humanos, articulación y fortalecimiento de grupos y conformación de redes nacionales e internacionales.

En el ítem “otras”, en donde los encuestados sugerían nuevas opciones de desarrollo científico y tecnológico, se incluyen propuestas que refuerzan el aspecto de articulación de grupos, como la vinculación de colombianos que actualmente están fuera del país a actividades de investigación en Colombia. Así mismo, en este ítem se incluyen planteamientos en torno a la formación de recursos humanos, como el fortalecimiento de la investigación en ciencias básicas, y de la formación en bioquímica, biología celular y molecular e ingeniería genética.

Tabla 1. Opciones de desarrollo de la capacidad científica y tecnológica del país

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 204 personas)
Fortalecimiento de grupos de investigación del país.	132	13,4	64,7
Orientación de los programas de formación en biotecnología hacia las áreas de mayor desarrollo en la actualidad (agricultura y salud humana).	113	11,5	55,4
Aumento de las becas y estímulos para realizar estudios de posgrado en biotecnología en el exterior o con sistemas compartidos (nacionales e internacionales).	109	11,1	53,4
Creación y fortalecimiento de programas de doctorado en el país.	105	10,7	51,5
Apoyo y estímulo para la participación de los grupos nacionales en redes internacionales de ciencia y tecnología.	101	10,3	49,5
Conformación de redes de centros y grupos de investigación para compartir información, infraestructura y conocimiento.	100	10,2	49,0
Creación y fortalecimiento de unidades de gestión y enlace con participación de los sectores público y privado.	88	9,0	43,1
Orientación de los programas de formación en biotecnología hacia las áreas de menor desarrollo en la actualidad (industrial y ambiental).	62	6,3	30,4
Aumento de los centros de investigación del país.	56	5,7	27,5
Aumento de los centros de desarrollo tecnológico del país.	51	5,2	25,0
Creación y fortalecimiento de programas de posgrado orientados al sector industrial.	47	4,8	23,0
Otras.	19	1,9	9,3
<b>Total</b>	<b>983</b>	<b>100</b>	

### Desarrollo de política pública

La pregunta que se formuló fue: *las siguientes son recomendaciones de política pública para facilitar el óptimo desarrollo de la biotecnología en el país. Señale las tres opciones que usted considere más importantes.*

Los resultados de la tabla 2 muestran que, para las personas consultadas, resulta fundamental, en el marco de formulación de políticas públicas, dar prioridad a la asignación de recursos económicos a la biotecnología, más aún si se tiene en cuenta

Tabla 2. Recomendaciones sobre política pública en biotecnología

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 204 personas)
Asignación de recursos a la biotecnología como factor productivo estratégico para el país.	159	20,4	77,9
Fomento a procesos de innovación biotecnológica en sectores clave de la producción.	121	15,6	59,3
Legislación clara y pertinente en protección de la biodiversidad y acceso a recursos genéticos como patrimonio de interés nacional.	117	15,0	57,4
Exigir a las empresas transnacionales en biotecnología el desarrollo de investigaciones conjuntas con universidades, centros de investigación y centros de desarrollo tecnológico locales.	102	13,1	50,0
Normatividad en propiedad intelectual acorde a las necesidades y especificidades del país.	76	9,8	37,3
Participación de biotecnólogos académicos e industriales en los equipos de negociación de los tratados de libre comercio.	76	9,8	37,3
Definición de un documento CONPES conducente a la generación de una política pública en biotecnología.	75	9,6	36,8
Asumir la biotecnología como aspecto prioritario para la seguridad nacional.	52	6,7	25,5
<b>Total</b>	<b>778</b>	<b>100</b>	

que el planteamiento de una base de política debe conducir a la generación de un documento CONPES a través del cual se destinan los recursos.

De acuerdo con los consultados, la política debe promover la innovación y fortalecer el marco regulatorio en cuanto a recursos genéticos y biodiversidad; además, dentro de las opciones de baja frecuencia se incluye la propiedad intelectual. Por último, se considera de gran relevancia que se generen beneficios para los grupos y centros de investigación locales a través del trabajo conjunto con

transnacionales, lo cual contribuye a formar redes y es un mecanismo para apoyar esfuerzos conjuntos de desarrollo de productos e investigación.

Entre las opciones que fueron sugeridas por los encuestados se encuentran las propuestas de inserción de desarrollos biotecnológicos en cadenas productivas y en los planes de desarrollo regionales y locales, así como la asignación de presupuesto exclusivo para la ciencia y la tecnología, lo cual es función del CONPES.

Tabla 3. Opciones para priorización de focos de desarrollo tecnológico

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 204 personas)
Fomento a mecanismos de integración de grupos de investigación y empresas para el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos.	142	24,8	69,6
Definición de áreas prioritarias para la ejecución de proyectos académicos e industriales en biotecnología.	107	18,7	52,5
Fomento a desarrollos biotecnológicos que permitan resolver problemas de países tropicales y economías emergentes, no prioritarios para los países industrializados.	92	16,1	45,1
Generación de centros específicos de excelencia para el desarrollo de tecnologías prioritarias para el país.	82	14,3	40,2
Estímulo a centros y grupos nacionales para establecer alianzas estratégicas con transnacionales para el desarrollo de investigaciones locales y poco intensivas en inversión.	77	13,4	37,7
Generación de capacidad de respuesta (recursos humanos y desarrollo institucional) a problemas de países de la región andina en salud pública, seguridad alimentaria, biorremediación, etc.	70	12,2	34,3
Otras.	3	0,5	1,5
<b>Total</b>	<b>573</b>	<b>100</b>	

### Priorización de focos de desarrollo biotecnológico

Sobre este aspecto se realizó la siguiente pregunta: *Los siguientes son lineamientos que facilitarían encauzar el desarrollo de la biotecnología en el país. Señale las tres opciones que usted considere más importantes.*

Dos de las opciones que la mayoría de los encuestados seleccionó, están relacionadas con la identificación de áreas prioritarias para desarrollo de proyectos académicos e industriales, centrándose en aquéllas que el país pueda asumir de acuerdo con las condiciones existentes, y que seguramente no coinciden con las tendencias marcadas por

los países desarrollados. Igualmente, se consideró importante la integración de grupos de investigación y empresas como mecanismo para priorizar focos de desarrollo biotecnológico (tabla 3).

### Desarrollo empresarial

Con relación al desarrollo empresarial, la pregunta formulada fue: *las siguientes son recomendaciones que permitirían promover el desarrollo empresarial de la biotecnología en el país. Señale las cuatro opciones que usted considere más importantes.*

Con relación al desarrollo empresarial en biotecnología, la tabla 4 permite ver que el 59,3% de los

**Tabla 4.** Opciones para el desarrollo empresarial

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 204 personas)
Incentivos tributarios para la investigación y desarrollo de procesos biotecnológicos.	121	16,1	59,3
Definir áreas prioritarias para la ejecución de proyectos académicos e industriales en biotecnología.	108	14,3	52,9
Fortalecer mecanismos para incentivar la creación de empresas de base biotecnológica, como capital semilla, capital de riesgo e incubadoras de empresas.	102	13,5	50,0
Integrar los procesos biotecnológicos en las cadenas productivas.	101	13,4	49,5
Promover la investigación en biotecnología hacia el desarrollo industrial.	90	12,0	44,1
Fortalecer las alianzas productivas interempresariales en biotecnología, por procesos y por productos.	82	10,9	40,2
Fomentar y financiar proyectos en temas relativos a la gestión tecnológica y empresarial (estudios de transferencia de tecnología, inteligencia de mercados, evaluación de prácticas administrativas, entre otros).	77	10,2	37,7
Formación de profesionales expertos en gestión tecnológica.	70	9,3	34,3
Otras.	2	0,3	1,0
<b>Total</b>	<b>753</b>	<b>100</b>	

encuestados coincidió en que uno de los factores más determinantes para lograr este objetivo son los incentivos de carácter tributario para investigación y desarrollo de procesos biotecnológicos. Esta opción se encuentra muy relacionada con el fortalecimiento de mecanismos para incentivar la creación de empresas, que fue considerada como la segunda forma para promover el desarrollo empresarial, al igual que la priorización de áreas para proyectos académicos e industriales.

Las personas consultadas propusieron, además, que las multinacionales inviertan un porcentaje de sus ingresos en I&D, así como el fomento a la cultura empresarial como parte de la formación universitaria.

#### Identificación y desarrollo de mercados

La pregunta realizada en este punto fue: *las siguientes son recomendaciones que permitirían desarrollar el mercado de la biotecnología en el país. Señale las tres opciones que usted considere más relevantes.*

Tabla 5. Opciones para la identificación y desarrollo del mercado

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 204 personas)
Priorización de las investigaciones para el desarrollo de procesos y productos biotecnológicos orientados a satisfacer las demandas del mercado nacional e internacional.	122	21,9	59,8
Incentivos para el desarrollo de tecnologías y productos biotecnológicos patentables.	105	18,8	51,5
Estimular la realización de estudios de inteligencia de mercados especializados para el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos.	98	17,6	48,0
Incremento de la investigación básica financiada por la empresa privada.	84	15,1	41,2
Investigación en ciencia básica y desarrollo de tecnología a partir de estudios de vigilancia tecnológica.	74	13,3	36,3
Desarrollo de mecanismos financieros para apoyar las diferentes alternativas de protección a la propiedad intelectual.	68	12,2	33,3
Otras.	7	1,3	3,4
<b>Total</b>	<b>558</b>	<b>100</b>	

Un porcentaje importante de los encuestados (59,8) reiteró la necesidad de priorizar las áreas en las cuales debe centrarse la I&D para generar productos y servicios orientados a los mercados locales y extranjeros. Así mismo, se enfatizó la importancia de los incentivos orientados al desarrollo de productos patentables (tabla 5).

De igual forma, los participantes en la encuesta consideraron relevante la aplicación de la inteligencia de mercados en biotecnología. Sin embargo, entre las opciones que fueron seleccionadas por un menor porcentaje de personas, se encuentra la investigación con base en estudios de vigilancia tecnológica, lo cual puede deberse a que los encuestados no encuentran una relación directa entre la vigilancia tecnológica y los mercados, a pesar de haber enfatizado en la priorización de áreas.

Otras opciones propuestas hacen referencia a la financiación de proyectos que demuestren sostenibilidad económica, la implementación de sistemas de inteligencia competitiva y vigilancia tecnológica, y la participación de sectores industriales competitivos en la priorización de áreas de desarrollo biotecnológico.

### Percepción y apropiación social de la biotecnología

Sobre este tema, la consulta fue: *las siguientes son recomendaciones que permitirán lograr una mejor percepción social de la biotecnología en el país. Señale las tres opciones que usted considere más relevantes.*

Sobre la percepción social de la biotecnología, los encuestados consideraron que el mecanismo más efectivo para lograr mayor conocimiento y apropiación

Tabla 6. Recomendaciones sobre percepción y apropiación social de la biotecnología

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 204 personas)
Divulgación de los avances nacionales e internacionales de los nuevos desarrollos biotecnológicos.	139	25	25,0
Formulación y ejecución de proyectos para educar e informar a la comunidad sobre los beneficios y riesgos de la biotecnología.	123	22	22,2
Capacitación de periodistas y dirigentes de medios de comunicación a nivel nacional en temas relacionados con la biotecnología.	105	19	18,9
Realización de estudios y generación de indicadores de impacto de los desarrollos biotecnológicos del país.	84	15,14	15,1
Información a la sociedad civil sobre la normativa en bioseguridad y los sistemas de evaluación de riesgo de los productos de la biotecnología.	54	9,73	9,7
Realización de sondeos que permitan conocer en detalle la opinión de la comunidad nacional sobre los más recientes desarrollos biotecnológicos.	43	7,75	7,7
Otras.	7	1,26	1,3
<b>Total</b>	<b>555</b>	<b>100</b>	

ción al respecto es la difusión de los nuevos desarrollos científicos. En segundo lugar, están los proyectos para educar e informar a la comunidad sobre beneficios y riesgos de la biotecnología. Además, resultó ser de gran importancia, de acuerdo con la opinión consultada, que los periodistas se formen en temas relacionados con la biotecnología, debido a que son los responsables de transmitir al público en general las noticias y novedades en torno a esta materia. Las personas consultadas también sugirieron la creación de programas educativos desde la primaria hasta el nivel universitario (tabla 6).

#### Actores responsables de liderar cada ítem en investigación, desarrollo e innovación

Se aprecia en la tabla 7 que quienes deben liderar el desarrollo de la capacidad científica y tecnológica

del país son, principalmente, el sector académico y Colciencias. En tercer lugar, pero muy alejado de los dos primeros, está el sector privado. En este aspecto no se tuvieron en cuenta actores como los Ministerios sectoriales ni los fondos privados de inversión, que podrían tener un papel relevante en cuanto al desarrollo científico y tecnológico.

Los encuestados sugirieron otros actores para liderar este tema, como la Presidencia de la República y los centros de investigación y desarrollo.

En el segundo tema, desarrollo de política pública, se piensa que la mayor responsabilidad recae sobre Colciencias, seguido del sector académico y, por último, del Departamento Nacional de Planeación. Los Ministerios sectoriales sólo apare-

Tabla 7. Actores responsables de liderar los ítems en investigación, desarrollo e innovación

	Desarrollo de la capacidad científica y tecnológica del país	Desarrollo de la política pública	Priorización de focos de desarrollo tecnológico	Desarrollo empresarial	Identificación y desarrollo de mercados	Percepción y apropiación social de la biotecnología
	Cuenta	Cuenta	Cuenta	Cuenta	Cuenta	Cuenta
DNP (Departamento Nacional de Planeación).	9,78%	17,01%	9,65%	10,46%	9,51%	6,10%
Sector privado (asociaciones, gremios, cooperativas, empresas).	14,87%	10,87%	17,16%	21,18%	22,66%	14,18%
Otras entidades del Estado de nivel central (Sena, Fornipyme, Fonade).	5,34%	6,14%	5,90%	11,53%	8,81%	9,50%
Sector académico y universidades.	23,25%	19,18%	22,39%	16,89%	15,80%	22,98%
Entidades estatales regionales.	5,21%	6,14%	6,43%	5,36%	6,99%	10,50%
Fondos privados de inversión.	4,70%	2,69%	3,89%	10,72%	9,65%	0,57%
Colciencias.	23,51%	21,23%	21,05%	12,73%	11,89%	20,71%
Ministerios sectoriales.	6,99%	13,43%	9,25%	8,58%	10,63%	11,77%
Organismos internacionales.	5,59%	2,56%	3,75%	2,28%	3,64%	2,55%
<b>Otros</b>	0,76%	0,77%	0,54%	0,27%	0,42%	1,13%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Propietarios
  Importantes

cen en un cuarto lugar, lo que indica que no se consideran tan relevantes en esta materia, al igual que el sector privado. En este punto, se sugirieron actores como la Presidencia de la República y un grupo especial conformado por representantes del gobierno, la academia y el sector privado.

Los encuestados señalaron como actores responsables de liderar la priorización de focos de desarrollo tecnológico al sector académico, Colciencias y el sector privado, en su orden. Además, se propusieron otros actores como los centros de investigación y desarrollo y el Instituto Nacional de Salud.

Tanto en desarrollo empresarial como en identificación y desarrollo de mercados, los actores más relevantes son el sector privado y el académico, seguidos por Colciencias, pero con un porcentaje mucho menor. Se indicó que las cámaras de comercio también pueden liderar este aspecto.

Finalmente, en cuanto a percepción y apropiación social de la biotecnología, los actores señalados como responsables de liderar este aspecto, según los encuestados, son el sector académico y Colciencias. No se consideró como sobresaliente el papel que en este tema pueda cumplir el gobierno a través de los Ministerios sectoriales u otras entidades estatales.



Otros actores relevantes en este ítem, de acuerdo con las sugerencias de los participantes, son el Observatorio de Ciencia y Tecnología, los medios de comunicación, el ICA y las organizaciones no gubernamentales.

Como conclusión, se nota un marcado predominio del sector académico. Los diferentes actores que respondieron la encuesta Delphi consideran que la academia y el sector universitario deben liderar tanto el desarrollo científico y tecnológico, como el desarrollo empresarial del país.

### Análisis de áreas específicas de actuación

En esta sección de la encuesta Delphi, se abordó la biotecnología desde tres sectores principales: tecnologías, focos de desarrollo tecnológico, y bienes y servicios que tendrán importancia estratégica dentro de 10 años.

Estos son los sectores de la biotecnología tomados para el análisis:

- Sector agrícola, pecuario e industria de alimentos
- Sector salud, farmacéutica y cosmética
- Sector medio ambiente y energía

Se formularon las siguientes preguntas:

- De las siguientes tecnologías (focos o bienes y servicios), seleccione las que considere que son ahora las más importantes para el desarrollo del país.
- Elija las tecnologías (focos o bienes y servicios) que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015, y por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.
- Análisis comparativo: Posición de su región con respecto al país en cuanto a la tecnología (foco, bien o servicio) seleccionada; posición de Colombia con respecto a los países líderes en América Latina en cuanto a la tecnología (foco, bien o servicio) seleccionada.

- Limitaciones o barreras que puedan frenar el desarrollo de la tecnología (foco, bien o servicio) seleccionada en Colombia.

Para el desarrollo de este ejercicio de consulta, se definieron las limitaciones en los siguientes términos:

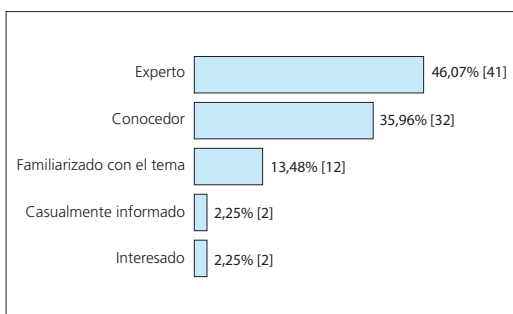
- **Sociales:** posibles frenos procedentes del rechazo de determinados colectivos o de la sociedad en su conjunto.
- **Tecnológicas:** si no existe suficiente capacidad tecnológica.
- **Legislativas:** si las normas existentes en el país pueden poner un freno al desarrollo de cada ítem.
- **Institucionales:** dificultades encontradas en el desarrollo y ejecución de proyectos por falta de apoyo y gestión institucional.
- **Ambientales:** si el desarrollo de cada ítem tiene un efecto adverso sobre el ambiente que haga imposible o muy difícil su implantación.
- **Económicas:** si el desarrollo de la tecnología, foco, bien o servicio requiere de recursos que no estén disponibles o existen medidas económicas en el país que impiden ese desarrollo.
- **De conocimiento:** amplía brecha frente a los países en la frontera del conocimiento y baja formación del talento humano nacional para la ejecución de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y empresarial, pertinentes para el país.

Igualmente, se indagó sobre si esta tecnología (foco, bien o servicio) se desarrolla en Colombia para el año 2015, y sobre cuál de estos indicadores tendría mayor impacto positivo: desarrollo tecnológico; calidad de vida y ambiente; empleo.

### Sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

Un total de 89 personas respondieron las preguntas referentes al sector agrícola, pecuario e industria de alimentos, que corresponden al 44% de los

**Figura 5.** Nivel de conocimiento de los encuestados en el sector



participantes en la encuesta Delphi, siendo reflejo del mayor desarrollo de este sector con respecto a salud y ambiente. La mayoría se considera experto o conocedor en este campo (82%). El porcentaje de las personas que tienen un conocimiento menor en el tema es muy bajo (figura 5).

### Principales tecnologías en la actualidad

Pregunta: *de las siguientes tecnologías, seleccione las cinco que usted considere que son ahora las más importantes para el desarrollo del país.*

De acuerdo con la tabla 8, las personas encuestadas señalaron que, en la actualidad, la principal tecnología para el desarrollo del sector agrícola y pecuario es la bioinformática. Sin embargo, se aprecia que porcentajes similares de encuestados consideraron otras tecnologías como importantes (ciencias ómicas, marcadores moleculares, ingeniería de procesos, transformación genética, cultivo de células y tejidos). Igualmente cabe notar que la criopreservación y la clonación de animales fueron consideradas como las tecnologías de menor relevancia en la actualidad.

**Tabla 8.** Tecnologías más importantes actualmente para el desarrollo del país

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 89 personas)
Bioinformática.	73	16,6	35,8
Ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica, transcriptómica).	53	12,0	26,0
Marcadores moleculares.	51	11,6	25,0
Ingeniería de procesos.	47	10,7	23,0
Transformación genética.	47	10,7	23,0
Cultivo de células y tejidos.	44	10,0	21,6
Clonación y caracterización de genes.	37	8,4	18,1
Técnicas biotecnológicas para la reproducción animal.	36	8,2	17,6
Genómica estructural (mapeo y secuenciación de genes).	29	6,6	14,2
Criopreservación.	15	3,4	7,4
Clonación de animales.	8	1,8	3,9
<b>Total</b>	<b>440</b>	<b>100,0</b>	

Tabla 9. Tecnologías de mayor relevancia para el sector en el año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 89 personas)
Bioinformática.	76	17,3	85,4
Ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica, transcriptómica).	52	11,8	58,4
Transformación genética.	48	10,9	53,9
Ingeniería de procesos.	47	10,7	52,8
Marcadores moleculares.	45	10,2	50,6
Cultivo de células y tejidos.	40	9,1	44,9
Genómica estructural (mapeo y secuenciación de genes).	36	8,2	40,4
Técnicas biotecnológicas para la reproducción animal.	36	8,2	40,4
Clonación y caracterización de genes.	34	7,7	38,2
Criopreservación.	17	3,9	19,1
Clonación de animales.	9	2,0	10,1
<b>Total</b>	<b>440</b>	<b>100,0</b>	

### Tecnologías en el 2015

Pregunta: *elija las cinco tecnologías que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.*

Para el año 2015 las tecnologías que más influirán en el desarrollo del sector agrícola y pecuario serán en su orden, la bioinformática, las ciencias ómicas, la transformación genética, la ingeniería de procesos y los marcadores moleculares. Por otra parte, tecnologías como la criopreservación y la clonación de animales tampoco son consideradas como relevantes dentro de diez años para este sector (entre el 10 y el 19%).

Al comparar las cinco tecnologías que se seleccionaron como principales en la actualidad (tabla 8) con las escogidas como más relevantes dentro de

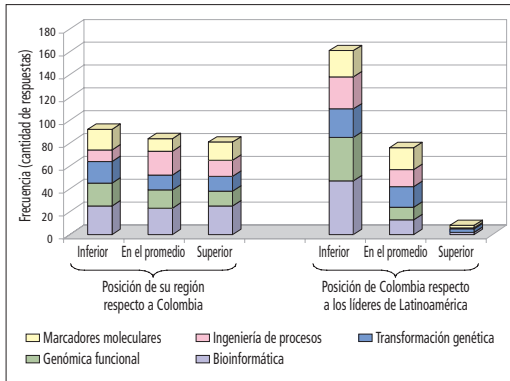
diez años, se observa que coinciden por completo. Estos resultados muestran que, realmente, la comunidad consultada no visualiza cambios tecnológicos en los próximos diez años.

### Preguntas para el análisis comparativo:

- *Posición de su región con respecto al país en cuanto a la tecnología.*
- *Posición de Colombia con respecto a los países líderes en América Latina en cuanto a la tecnología.*

Aunque la opinión está muy dividida en cuanto a la posición de la región en donde se ubican los expertos en comparación con el país (figura 6), se observa que es levemente mayor la cantidad de respuestas que señalan la inferioridad de las regiones respecto al país en las tecnologías seleccionadas.

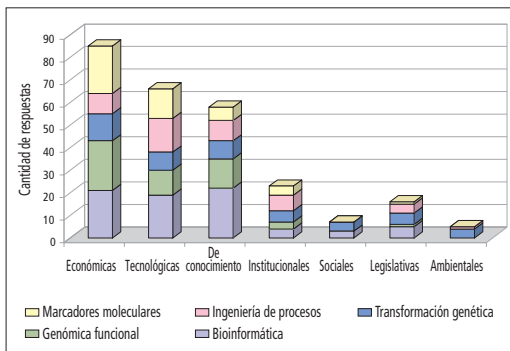
**Figura 6.** Análisis comparativo con relación a las tecnologías en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos



Con relación a la posición de Colombia respecto a los países líderes en América Latina en las cinco tecnologías seleccionadas, la mayoría de las respuestas indican que es inferior, especialmente en bioinformática y genómica funcional. Muy pocas respuestas (menos de 20) indican que, en transformación genética, marcadores moleculares y en bioinformática, Colombia es superior a tales países.

**Pregunta sobre las limitaciones:** *limitaciones o barreras que puedan frenar el desarrollo de la tecnología en Colombia.*

**Figura 7.** Limitaciones a las tecnologías en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos



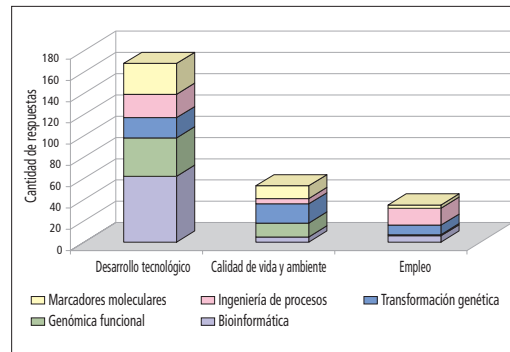
En cuanto a las limitaciones que pueden afectar el desarrollo de las tecnologías seleccionadas, se cree que en mayor grado son de carácter económico, seguidas por las limitaciones tecnológicas y de conocimiento (figura 7).

Las tecnologías que más podrían verse afectadas por limitaciones económicas son las ciencias ómicas y los marcadores moleculares. A su vez, la bioinformática y la ingeniería de procesos pueden tener obstáculos de tipo tecnológico en mayor medida. Las limitaciones de conocimiento podrían afectar principalmente a la bioinformática y a las ciencias ómicas, de acuerdo con los expertos.

Cabe resaltar que la tecnología de transformación genética, según los consultados, puede verse obstaculizada por limitaciones, tanto económicas, tecnológicas y de conocimiento, como sociales, institucionales, legislativas y ambientales.

**Pregunta sobre los impactos:** *si esta tecnología se desarrolla en Colombia para el año 2015, sobre cuál de estos indicadores tendría mayor impacto positivo.*

**Figura 8.** Posible impacto de las tecnologías en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos al año 2015



En general, se observa que los consultados tienden a pensar que el impacto de las tecnologías se da principal y directamente sobre el desarrollo tecnológico. El mayor impacto de las tecnologías seleccionadas como relevantes al 2015, posiblemente se encontrará sobre dicho factor si se logra un mayor desarrollo especialmente en cuanto a bioinformática y las ciencias ómicas, de acuerdo con la mayoría de las respuestas de los participantes en esta sección del Delphi.

Una cantidad menor de respuestas (cerca de 50) indica que la transformación genética, ciencias

**Tabla 10.** Principales focos de desarrollo tecnológico en la actualidad - sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 89 personas)
Biofertilizantes/bioplaguicidas/bioinsumos agrícolas.	62	14,76	69,66
Conservación y caracterización de recursos genéticos con valor actual y potencial.	62	14,76	69,66
Bioprospección con fines agroindustriales.	46	10,95	51,69
Caracterización molecular para selección de parámetros de calidad y mejoramiento.	46	10,95	51,69
Sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternas de energía.	43	10,24	48,31
Desarrollo y optimización en procesos de producción a escala nacional.	40	9,52	44,94
Transgénesis.	31	7,38	34,83
Desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico (agropecuario).	30	7,14	33,71
Conservación y mejoramiento de suelos.	23	5,48	25,84
Desarrollo de vacunas veterinarias.	23	5,48	25,84
Identificación de secuencias reguladoras.	14	3,33	15,73
<b>Total</b>	<b>420</b>	<b>100</b>	

ómicas y los marcadores moleculares, en su orden, tienen un efecto mayor sobre la calidad de vida. Con relación a la generación de empleo, la tecnología seleccionada con mayor frecuencia fue la ingeniería de procesos, como la que mayor impacto puede tener sobre dicho factor. Existe una baja contribución a la generación de empleo por parte de las tecnologías consideradas más relevantes en el futuro, lo cual es una tendencia predominante en este tipo de tecnologías de punta y refleja en parte la visión académica de los expertos que diligenciaron la encuesta.

#### Principales focos de desarrollo biotecnológico en la actualidad

**Pregunta:** de los siguientes focos, seleccione cinco que Ud. considere que son ahora los más importantes para el desarrollo del país.

Los encuestados identificaron como los principales focos de desarrollo en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos a los biofertilizantes, bioplaguicidas y bioinsumos, junto con la conservación y caracterización de recursos genéticos. En un tercer lugar, con porcentajes muy cercanos, se encuentran focos como la bioprospección, la caracterización molecular, los sistemas para transformación de biomasa en energía, y el desarrollo y optimización de procesos (tabla 10).

Tabla 11. Focos de desarrollo biotecnológico de mayor relevancia para el sector en el año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 89 personas)
Conservación y caracterización de recursos genéticos con valor actual y potencial.	67	16,5	75,3
Biofertilizantes/bioplaguicidas/bioinsumos agrícolas.	59	14,5	66,3
Sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternas de energía.	44	10,8	49,4
Bioprospección con fines agroindustriales.	42	10,3	47,2
Caracterización molecular para selección de parámetros de calidad y mejoramiento.	42	10,3	47,2
Desarrollo y optimización en procesos de producción a escala nacional.	42	10,3	47,2
Transgénesis (resistencia a enfermedades, calidad nutricional, biofábricas).	32	7,9	36,0
Desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico (agropecuario).	25	6,1	28,1
Conservación y mejoramiento de suelos.	22	5,4	24,7
Desarrollo de vacunas veterinarias.	20	4,9	22,5
Identificación de secuencias reguladoras.	12	2,9	13,5
<b>Total</b>	<b>407</b>	<b>100</b>	

#### Focos de desarrollo biotecnológico en el 2015

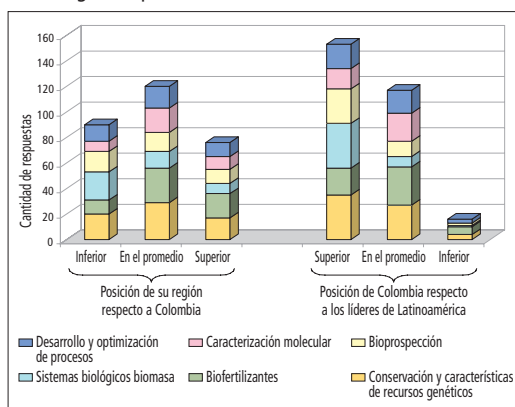
**Pregunta:** *elija los cinco focos que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.*

Los encuestados seleccionaron seis focos de desarrollo que influirán de forma importante para el avance de la biotecnología en 2015, los cuales coinciden con las opciones identificadas como principales en la actualidad (tabla 11): *conservación y caracterización de recursos genéticos con valor actual y potencial; biofertilizantes/ bioplaguicidas/ bioinsumos agrícolas; sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternas de energía; bioprospección con fines agroin-*

*dustriales; caracterización molecular para selección de parámetros de calidad y mejoramiento; desarrollo y optimización en procesos de producción a escala nacional.* De nuevo, se observa que, al igual que ocurre en las tecnologías, los encuestados no consideran que a futuro haya cambios en los focos de investigación.

A la pregunta relacionada con la posición de la región, las respuestas obtenidas muestran que gran parte de los consultados considera a su región en el promedio respecto a Colombia. Tomando como referencia el foco *conservación y caracterización de recursos genéticos*, se observa que la mayoría de los encuestados considera que su región está en el promedio respecto al país (figura 9).

**Figura 9.** Análisis comparativo con relación a los focos en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

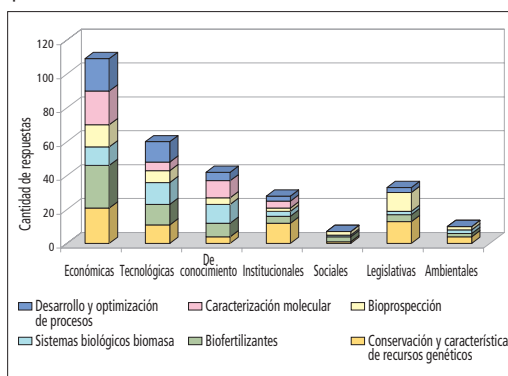


El foco *biofertilizantes, bioplaguicidas, bioinsumos agrícolas* es el segundo más importante, de acuerdo con las respuestas que señalan que la región de los encuestados está en el promedio respecto a Colombia. No obstante, una cantidad similar de respuestas hace referencia a que las regiones son superiores al país en cuanto a este foco. Finalmente, el foco *sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternativas de energía* es el más señalado dentro del grupo de respuestas que hacen referencia a la inferioridad de las regiones respecto al país.

Al ser consultados sobre las limitaciones o barreras que existen en Colombia que puedan frenar el desarrollo de los focos seleccionados, los encuestados consideraron que las limitaciones económicas son el principal obstáculo, seguido por las limitaciones tecnológicas y de conocimiento (figura 10).

El foco *conservación y caracterización de recursos genéticos con valor actual y potencial* puede tener en mayor medida limitaciones de carácter económico e institucional. Esta última limitación es la de más alto impacto respecto a los demás focos, que indica la existencia de barreras a la realización de investigaciones relacionadas con el manejo de los recursos genéticos en el país, lo cual se refleja en que el desarrollo de éstas sea inferior al que ocurre en los países líderes en Latinoamérica. Además, es el foco que podría tener que enfrentar mayores barre-

**Figura 10.** Limitaciones a los focos en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos



ras legislativas, posiblemente porque se considera que la normatividad en este aspecto requiere ser fortalecida.

Por su parte, el desarrollo del foco *biofertilizantes, bioplaguicidas, bioinsumos agrícolas* puede enfrentar obstáculos económicos y tecnológicos principalmente, de acuerdo con los resultados de la encuesta en este punto. Aunque se cree que también puede verse afectado por las demás limitantes, se ha considerado que Colombia está en el promedio respecto a los países líderes latinoamericanos, reforzando la idea de que éste es actualmente el foco más importante para el país y continuará siéndolo en el futuro, si se superan prioritariamente los obstáculos de tipo económico y tecnológico.

Con relación al desarrollo del foco *sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternativas de energía*, las respuestas indican que sus principales limitantes pueden ser tecnológicas, económicas y de conocimiento; no obstante, puede verse limitado también por factores institucionales, legislativos, sociales y ambientales, lo cual explicaría que muchos de los encuestados hayan opinado que el país se encuentra en un nivel inferior respecto a los países líderes en Latinoamérica. El foco *bioprospección con fines agroindustriales* puede tener limitaciones económicas y legislativas en mayor grado, mientras que el foco de *caracterización molecular para selección de parámetros de calidad y mejoramiento* puede verse frenado

por factores económicos y, en menor medida, de conocimiento. Por último, el foco *desarrollo y optimización en procesos de producción a escala nacional* tendrá barreras económicas y tecnológicas, de acuerdo con la mayoría de las respuestas de los encuestados.

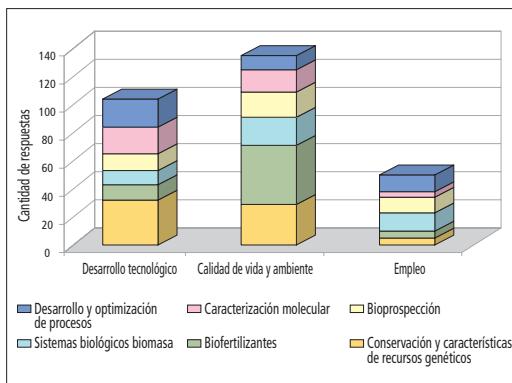
Las personas encuestadas señalan que el mayor impacto positivo de los focos seleccionados, si llegarán a desarrollarse en un futuro, estaría sobre la calidad de vida y el ambiente (figura 11). Los *biofertilizantes* y *bioinsumos* constituyen el foco más importante en este sentido, seguido por la *conservación y caracterización de recursos genéticos*.

En desarrollo tecnológico, el mayor impacto puede provenir de la *conservación y caracterización de recursos genéticos*, junto al *desarrollo y optimización de procesos*. En cuanto a generación de empleo, los focos de mayor impacto pueden ser los *sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa* y la *bioprospección con fines agroindustriales*.

#### Principales bienes y servicios biotecnológicos en la actualidad

Al solicitar a quienes participaron en esta sección del Delphi que seleccionaran tres bienes o servicios que consideraran de mayor relevancia para la competi-

**Figura 11.** Posible impacto de los focos en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos al año 2015



vidad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015, se obtuvo lo siguiente: en concordancia con el principal foco de desarrollo seleccionado por los encuestados en la actualidad y para el año 2015 (*biofertilizantes*, *biopesticidas* y *bioinsumos*, tablas 10 y 11), la mayoría de los participantes (68,5%) considera que los bioinsumos son los productos más relevantes hoy en día, como se observa en la tabla 12.

La dispersión en cuanto a los porcentajes de los demás productos y servicios en el sector agrícola y pecuario es baja, lo que muestra que, posiblemente, los consultados consideran que todos son importantes, por lo cual no se priorizan. Incluso,

**Tabla 12.** Principales bienes y servicios biotecnológicos en la actualidad - sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 89 personas)
Bioinsumos (priorizando los que reemplazan importaciones).	61	24,60	68,54
Enzimas para uso industrial.	41	16,53	46,07
Kits de diagnóstico para el sector (pecuario, agrícola).	41	16,53	46,07
Semillas certificadas.	41	16,53	46,07
Colecciones de organismos caracterizadas.	36	14,52	40,45
Centro de servicios moleculares.	28	11,29	31,46
<b>Total</b>	<b>248</b>	<b>100</b>	



el centro de servicios moleculares puede tomarse como un servicio relevante actualmente, a pesar de tener el porcentaje más bajo del grupo de bienes y servicios de este sector.

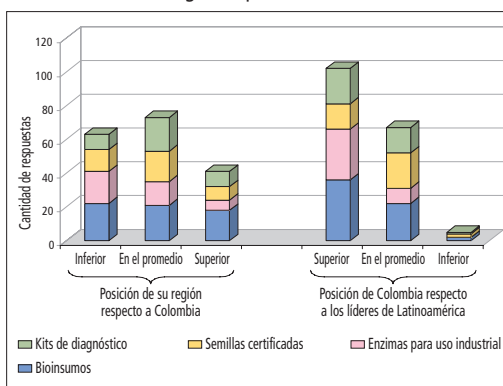
#### Bienes y servicios biotecnológicos al año 2015

La consulta en este punto fue: *elija los tres bienes y/o servicios que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.* Como en el caso de los focos de desarrollo biotecnológico, los bienes y servicios con mayor influencia en el progreso de la biotecnología en Colombia para el año 2015, coinciden con los cuatro que fueron seleccionados por la mayoría de las personas consultadas como los bienes y servicios más relevantes actualmente (tabla 12). De nuevo, podría pensarse que, posiblemente, el país debe continuar produciendo y ofreciendo estos productos biotecnológicos.

La tabla 13 muestra de nuevo que la visión a 10 años es prácticamente igual a la actual.

La figura 12 muestra los resultados de la consulta sobre la posición de la región con respecto al país en cuanto a los bienes y servicios más relevantes en el futuro. En general, la mayoría de los encues-

**Figura 12.** Análisis comparativo con relación a los bienes y servicios en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos



tados coincide en que sus regiones están en el promedio con respecto al país, aunque la diferencia con la cantidad de respuestas que señalan una inferioridad de las regiones es pequeña (aproximadamente 10 preguntas).

Los *bioinsumos* son los productos que presentan la dispersión más baja con relación a la cantidad de respuestas, lo cual indica que no existe un consenso respecto a la posición de las regiones frente a Colombia. Lo contrario ocurre con las *semillas certificadas* y los *kits de diagnóstico*, puesto que la mayor cantidad de respuestas se orientan a considerarlos como productos en los cuales las regiones están en el promedio respecto al país.

**Tabla 13.** Bienes y servicios biotecnológicos de mayor relevancia para el sector en el año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 89 personas)
Bioinsumos (priorizando los que reemplazan importaciones).	63	25,3	70,8
Enzimas para uso industrial.	41	16,5	46,1
Semillas certificadas.	40	16,1	44,9
Kits de diagnóstico para el sector (pecuario, agrícola).	39	15,7	43,8
Colecciones de organismos caracterizadas.	34	13,7	38,2
Centro de servicios moleculares.	32	12,9	36,0
<b>Total</b>	<b>249</b>	<b>100</b>	

En cuanto a la consulta sobre la posición de Colombia respecto a los líderes de Latinoamérica, es superior la cantidad de respuestas, indicando que se cree que Colombia está por debajo de los países que lideran los bienes seleccionados (102 respuestas), principalmente en cuanto a *bioinsumos* (36 respuestas) y *enzimas para uso industrial* (30 respuestas). No obstante, los *bioinsumos* fueron señalados también como productos con los cuales Colombia se encuentra en el promedio respecto a los líderes (con 22 respuestas), junto con las *semillas certificadas* (21 respuestas).

Con relación a los bienes y servicios, se reitera la situación presentada en los demás ítems analizados en este sector (tecnologías y focos), al considerar que la principal limitante es de carácter económico, especialmente en *bioinsumos* y *kits de diagnóstico* (figura 13). Le siguen las limitaciones tecnológicas, que pueden presentarse para los *bioinsumos* y las *enzimas para uso industrial*. La tercera limitante en grado de importancia es de conocimiento, cuyo posible impacto está sobre *bioinsumos*, *enzimas para uso industrial* y *kits de diagnóstico*, prácticamente en igual medida.

Cabe resaltar que los *bioinsumos* (producto biotecnológico) presentan un comportamiento similar al del foco *biofertilizantes*, *bioplaguicidas* y *bioinsumos*, en lo que respecta a limitantes para su desarrollo (figura 10).

También se considera que en materia de legislación existe una importante limitante, y los productos que se pueden ver afectados son las *semillas certificadas* y los *bioinsumos*. Adicionalmente, existen limitantes de carácter institucional y, en menor grado, social, que afectarán dichos productos, según el criterio de los encuestados.

El posible impacto de los productos seleccionados es mayor sobre el desarrollo tecnológico, excepto *semillas certificadas*, que fue seleccionada por un número menor de encuestados (figura 14). Sobre la calidad de vida y el ambiente, los mayo-

Figura 13. Limitaciones a los bienes y servicios en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

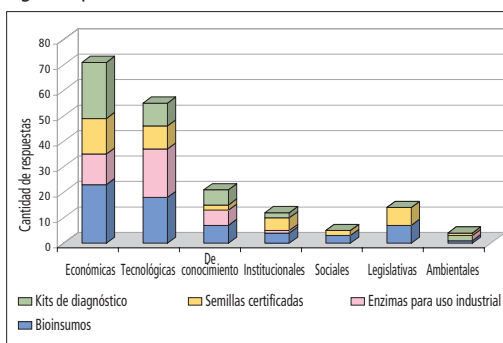
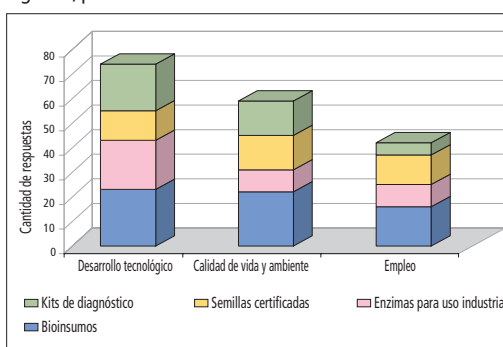


Figura 14. Posible impacto de los bienes y servicios en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos al año 2015



res impactos pueden provenir de los *bioinsumos*, las *semillas certificadas* y los *kits de diagnóstico*. Al año 2015, las *semillas certificadas* y los *bioinsumos*, principalmente, pueden contribuir a la generación de empleo. De igual forma, cabe resaltar que respecto a los *bioinsumos*, se considera casi por igual que su posible impacto dentro de 10 años estará principalmente sobre el desarrollo tecnológico, la calidad de vida o el empleo.

#### Actores que deben liderar cada tema en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

Ante la solicitud: de los siguientes actores institucionales, seleccione cuatro que deban ser responsables de liderar el desarrollo de tecnologías, focos, bienes y servicios en biotecnología, los encuestados respondieron de la forma presentada en la tabla 14.

El grupo de encuestados que respondió las preguntas relativas al sector agrícola, pecuario e in-

**Tabla 14.** Actores responsables de liderar el desarrollo de tecnologías, focos, bienes y servicios en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

	Tecnologías	Focos	Bienes y servicios
	<b>Cuenta</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Cuenta</b>
DNP (Departamento Nacional de Planeación).	5,83%	8,52%	6,81%
Sector privado (asociaciones, gremios, cooperativas, empresas).	18,95%	19,87%	19,81%
Otras entidades del Estado de nivel central (Sena, Fornipyme, Fonade).	7,00%	5,36%	8,67%
Sector académico y universidades.	23,32%	22,08%	20,74%
Entidades estatales regionales.	8,45%	8,20%	10,53%
Fondos privados de inversión.	4,08%	4,10%	4,95%
Colciencias.	18,37%	17,35%	13,62%
Ministerios sectoriales.	10,50%	13,56%	12,07%
Organismos internacionales.	3,50%	0,95%	2,79%
<b>Otros</b>	0,00%	0,00%	0,00%
	100%	100%	100%

Propietarios
  Importantes

industria de alimentos, señala que el responsable de liderar el desarrollo de tecnologías en el sector es la academia, seguida por el sector privado y Colciencias. Estos actores también deben liderar el desarrollo y priorización de focos biotecnológicos, según las personas consultadas. Además, en focos, tiene relevancia la participación de los Ministerios sectoriales.

En este sector, se hace evidente la relevancia que se le confiere a los sectores académico y privado con alguna participación gubernamental a través de Colciencias y, en menor grado, los Ministerios. De nuevo, es de resaltar que el sector académico considera que debe liderar todos los procesos, inclusive el de los focos de investigación, desconociéndose el papel que deben jugar los Ministerios en determinar las prioridades del país.

### Sector salud, industria farmacéutica y cosmética

En esta sección, participaron en total 66 personas (32% del total de encuestados). El 50% se considera como conocedor y un 30% señala que es experto en este campo. Al igual que en el sector agropecuario, pocas personas consideraron que su conocimiento en este sector es bajo (figura 15).

**Figura 15.** Nivel de conocimiento de los encuestados en el sector

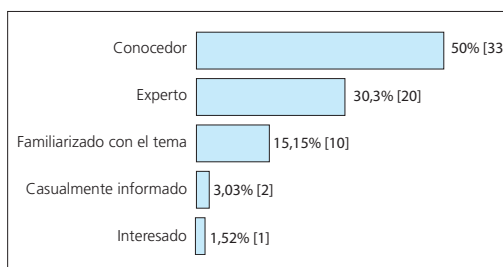


Tabla 15. Principales tecnologías en la actualidad para el sector salud, industria farmacéutica y cosmética

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 66 personas)
Bioinformática.	52	16,00	78,79
Ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica, transcriptómica).	40	12,31	60,61
Cultivo de células y tejidos.	33	10,15	50,00
Transformación genética con fines farmacéuticos.	29	8,92	43,94
Ingeniería de procesos.	28	8,62	42,42
Técnicas inmunológicas avanzadas.	23	7,08	34,85
Genómica estructural (mapeo y secuenciación de genes).	20	6,15	30,30
Clonación y caracterización de genes.	18	5,54	27,27
Ingeniería de tejidos.	18	5,54	27,27
Marcadores moleculares ( <i>snips</i> ).	18	5,54	27,27
Nanotecnología.	16	4,92	24,24
Terapia génica.	12	3,69	18,18
Criopreservación.	10	3,08	15,15
Técnicas biotecnológicas para la reproducción.	8	2,46	12,12
<b>Total</b>	<b>325</b>	<b>100</b>	

#### Principales tecnologías en la actualidad

La tabla 15 muestra las respuestas de los encuestados ante la solicitud: *De las siguientes tecnologías seleccione cinco que Ud. considere que son ahora las más importantes para el desarrollo del país.*

En este sector, la mayoría de los encuestados (79%) seleccionó la bioinformática como la principal tecnología en la actualidad, tal como ocurrió en el sector agrícola y pecuario. Igualmente se presentan coincidencias en genómica funcional, ingeniería de procesos, transformación genética, y cultivo de células y tejidos. Se

observa, además, que las tecnologías que en el mundo son muy relevantes, para el país no tienen la misma importancia, como en el caso de la nanotecnología, la terapia génica y la criopreservación.

#### Tecnologías al año 2015

Ante la solicitud: *elija las cinco tecnologías que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y que, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector*, los encuestados respondieron lo que se presenta en la tabla 16.

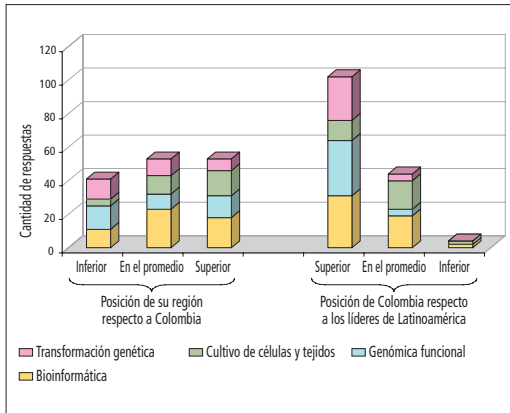
**Tabla 16.** Tecnologías de mayor relevancia para el sector en el año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 66 personas)
Bioinformática.	52	16,30	78,79
Ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica, transcriptómica).	38	11,91	57,58
Cultivo de células y tejidos.	32	10,03	48,48
Transformación genética con fines farmacéuticos.	30	9,40	45,45
Ingeniería de procesos.	22	6,90	33,33
Técnicas inmunológicas avanzadas.	22	6,90	33,33
Clonación y caracterización de genes.	21	6,58	31,82
Marcadores moleculares ( <i>snips</i> ).	20	6,27	30,30
Nanotecnología.	18	5,64	27,27
Genómica estructural (mapeo y secuenciación de genes).	17	5,33	25,76
Terapia génica.	16	5,02	24,24
Ingeniería de tejidos.	15	4,70	22,73
Criopreservación.	8	2,51	12,12
Técnicas biotecnológicas para la reproducción.	8	2,51	12,12
<b>Total</b>	<b>319</b>	<b>100</b>	

Cuatro de las cinco tecnologías que fueron seleccionadas como las principales en la actualidad, también fueron consideradas como de alta relevancia en el año 2015 por las personas consultadas en este sector: bioinformática, ciencias ómicas, cultivo de células y tejidos y transformación genética con fines farmacéuticos. Esto reitera la tendencia observada en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos, con relación a la coincidencia entre las tecnologías relevantes, actualmente y en el futuro. Sin embargo, en sector salud se considera que el cultivo de células y tejidos es prioritario, concordando con las tendencias mundiales.

El análisis comparativo de las tecnologías seleccionadas con respecto a Colombia (figura 16), muestra una opinión dividida entre quienes consideran que su región está en el promedio y aquellos que piensan que está por encima (sobre todo en bioinformática y en cultivo de células y tejidos). Así mismo, es importante la cantidad de respuestas que indican que la región de origen de los encuestados es inferior en estas tecnologías (aproximadamente 40), principalmente en genómica funcional (14 respuestas).

**Figura 16.** Análisis comparativo con relación a las tecnologías en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética

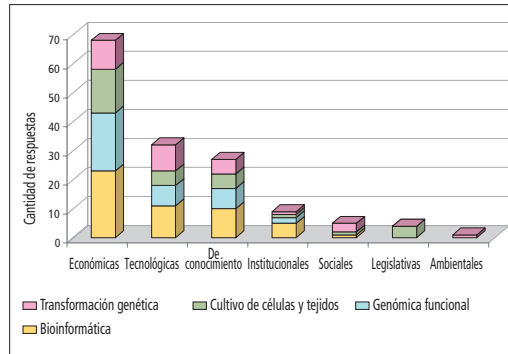


Tomando como referencia los países líderes en América Latina, el análisis comparativo permite ver que, en general, las respuestas hacen referencia a la inferioridad del país en las tecnologías seleccionadas, aunque en menor grado en cultivo de células y tejidos respecto a las demás tecnologías.

La tendencia mostrada en el sector agrícola y pecuario se repite en este sector en cuanto a las limitaciones para el desarrollo de las tecnologías, siendo principalmente de tipo económico, tecnológico y de conocimiento. La bioinformática es la tecnología más afectada por estas limitaciones, seguida por las ciencias ómicas. Estas dos tecnologías, además, podrían verse limitadas por factores institucionales, según algunos de los encuestados (figura 17).

Llama la atención el hecho de que los encuestados consideren que la transformación genética puede tener limitaciones de todo tipo, excepto legislativas, lo cual está en contraposición a los resultados del sector agrícola y pecuario, en donde ésta es una de las tecnologías que, a criterio de las personas consultadas, pueden verse más limitadas por aspectos legislativos y por los demás aspectos planteados en la encuesta. Así mismo, es importante resaltar que la tecnología de cultivo de células y tejidos es la única de este grupo que fue considerada por los encuestados como posiblemente

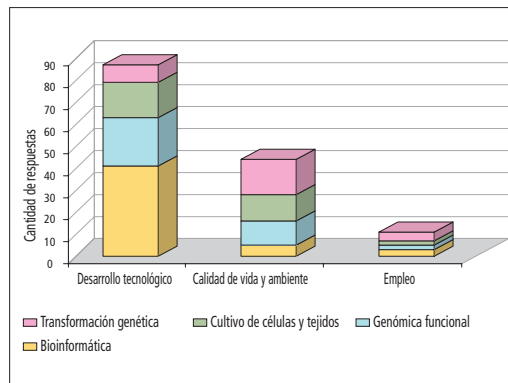
**Figura 17.** Limitaciones a las tecnologías en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética



afectada por barreras legislativas, indicando que, en general, la visión de los expertos es pesimista sobre la posibilidad de mejorar la situación actual en la implementación de este tipo de tecnologías en salud.

Al consultar sobre el mayor impacto positivo de cada tecnología relevante en 2015, si ésta se llegara a desarrollar en Colombia para dicho año, se observa en la figura 18 que, en general, las personas consideran que este impacto podría estar sobre el desarrollo tecnológico, en especial en cuanto a la bioinformática. El impacto sobre este factor es prácticamente el doble del impacto sobre la calidad de vida y el ambiente, y mucho mayor que la influencia sobre el empleo. Esta tendencia es similar a la presentada por las tecnologías en el sector agrícola y pecuario, permitiendo ver que, a

**Figura 18.** Posible impacto de las tecnologías en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética al año 2015



pesar de que la implementación de estas tecnologías debe conllevar a mejorar aspectos relativos a la salud y, por ende, a la calidad de vida, dicha implementación se relaciona directamente con el desarrollo tecnológico.

#### Principales focos de desarrollo tecnológico en la actualidad

**Pregunta:** *de los siguientes focos, seleccione tres que Ud. considere que son ahora los más importantes para el desarrollo del país.*

Según las personas consultadas, los focos más importantes actualmente en el sector salud, farmacéutica y cosmética se relacionan con *métodos de prevención de enfermedades, la bioprospección y búsqueda de principios activos, la producción de compuestos terapéuticos y la detección de enfermedades*. Se observa en la tabla 17 que focos destacados a nivel mundial como la terapia génica o las células madre, no tienen esta misma connotación para el país.

#### Focos de desarrollo biotecnológico al año 2015

En este punto, se solicitó a los encuestados lo siguiente: *elija los tres focos que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y que, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.*

Una vez más, es evidente la tendencia a ratificar el mismo grupo de focos que fue considerado importante en la actualidad, como relevante en el futuro. Así, en el año 2015, los focos más importantes para el desarrollo de la biotecnología en este sector (tabla 18), concuerdan con los que actualmente son considerados como relevantes (exceptuando la *producción de compuestos farmacéuticos*). De acuerdo con lo mencionado en el punto anterior, un bajo porcentaje de las personas piensa que focos como *la terapia génica y la producción de células madre con fines terapéuticos* serán relevantes en el futuro.

En general, los encuestados consideran que las regiones son fuertes en los focos seleccionados, puesto que una gran cantidad de respuestas (48)

Tabla 17. Principales focos de desarrollo tecnológico en la actualidad - sector salud, industria farmacéutica y cosmética

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 66 personas)
Métodos de prevención de enfermedades (vacunas, susceptibilidad genética).	42	21,99	63,64
Bioprospección y búsqueda de principios activos con fines farmacéuticos, nutraceuticos y cosméticos.	40	20,94	60,61
Producción de compuestos terapéuticos mediante métodos biotecnológicos.	32	16,75	48,48
Desarrollo de nuevos métodos de detección de enfermedades.	31	16,23	46,97
Producción de células madre con fines terapéuticos.	23	12,04	34,85
Farmacogenómica.	19	9,95	28,79
Terapia génica.	4	2,09	6,06
<b>Total</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	

Tabla 18. Focos de desarrollo biotecnológico de mayor relevancia para el sector en el año 2015

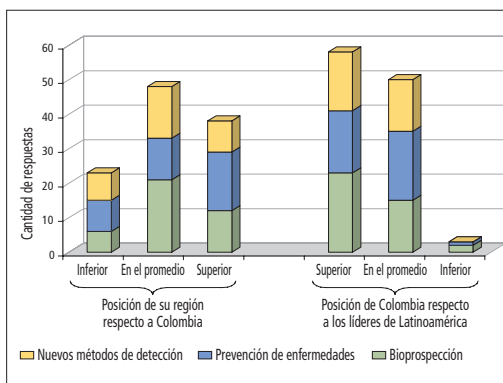
Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 66 personas)
Bioprospección y búsqueda de principios activos con fines farmacéuticos, nutracéuticos y cosméticos.	40	21,28	60,61
Métodos de prevención de enfermedades (vacunas, susceptibilidad genética).	40	21,28	60,61
Desarrollo de nuevos métodos de detección de enfermedades.	33	17,55	50,00
Producción de compuestos terapéuticos mediante métodos biotecnológicos.	28	14,89	42,42
Farmacogenómica.	20	10,64	30,30
Producción de células madre con fines terapéuticos.	20	10,64	30,30
Terapia génica.	7	3,72	10,61
<b>Total</b>	<b>188</b>	<b>100</b>	

señala que la región de los encuestados está en el promedio respecto al país, y 38 respuestas indican que es superior a éste. Las regiones están en el promedio respecto al país con relación principalmente al foco *bioprospección y búsqueda de principios activos con fines farmacéuticos, nutracéuticos y cosméticos*, mientras que se cree que respecto al foco *métodos de prevención de enfermedades (vacunas, susceptibilidad genética)*, las regiones son superiores a Colombia en mayor medida (figura 19).

A diferencia de lo ocurrido en el análisis comparativo entre las regiones y Colombia, en este sector, una considerable cantidad de personas opina que el país se encuentra en un nivel inferior a los líderes de América Latina, en los tres focos casi por igual (un poco más en cuanto a *bioprospección y búsqueda de principios activos con fines farmacéuticos, nutracéuticos y cosméticos*). Un grupo levemente menor señala que Colombia está en el promedio, sobre todo en cuanto a *métodos de prevención de enfermedades*.

En la figura 20, se aprecia que los focos seleccionados en el sector salud, industria farmacéutica y

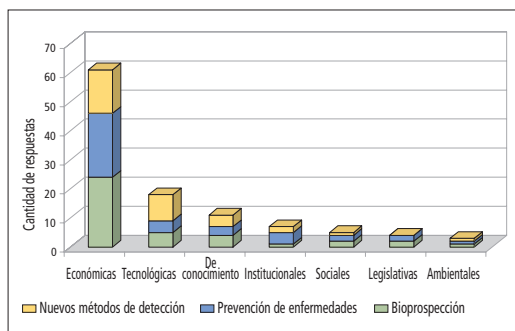
Figura 19. Análisis comparativo con relación a los focos de desarrollo tecnológico en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética



cosmética deben enfrentarse principalmente a limitaciones de tipo económico. Se cree que las demás limitaciones pueden afectar estos focos pero en una proporción mucho menor. Con relación al desarrollo del foco *bioprospección y búsqueda de principios activos con fines farmacéuticos, nutracéuticos y cosméticos*, excepto las barreras económicas y en menor grado las tecnológicas y de conocimiento, las demás limitantes no lo afectan sustancialmente.



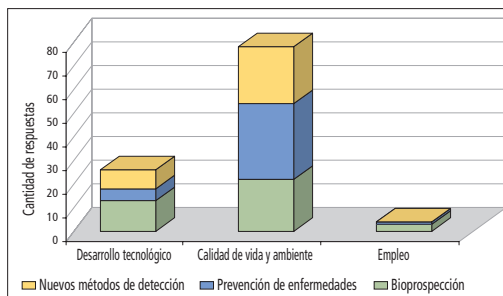
**Figura 20.** Limitaciones a los focos en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética



Se considera que el foco *métodos de prevención de enfermedades* puede verse afectado por limitaciones económicas, tecnológicas e institucionales principalmente, y en menor medida por las demás limitantes propuestas. Finalmente, el foco *desarrollo de nuevos métodos de detección de enfermedades* es en el que menos influyen las barreras económicas, siendo relevante el impacto de las limitantes tecnológicas. Cabe resaltar, además, que este foco no se verá afectado por limitaciones legislativas, según la opinión de los participantes.

Considerando que el análisis se está haciendo en el sector salud, resulta evidente que el mayor impacto de los focos seleccionados esté sobre la ca-

**Figura 21.** Posible impacto de los focos en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética



alidad de vida y el ambiente, y el foco que más influye corresponde a los *métodos de prevención de enfermedades* (figura 21). El impacto sobre el desarrollo tecnológico es mucho menor, y proviene principalmente de la *bioprospección y búsqueda de principios activos con fines farmacéuticos, nutracéuticos y cosméticos*. Este foco también será el mayor generador de empleo, de acuerdo con un reducido número de respuestas.

#### Principales bienes y servicios biotecnológicos en la actualidad

Los participantes en la sección de preguntas del sector salud, industria farmacéutica y cosmética, respondieron la siguiente pregunta: *De los siguientes bienes y/o servicios, seleccione tres que Ud. considere que son ahora los más importantes para el desarrollo del país.*

**Tabla 19.** Principales bienes y servicios biotecnológicos en la actualidad - sector salud, industria farmacéutica y cosmética

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 66 personas)
Productos de la biodiversidad (extractos vegetales, nutracéuticos, cosméticos).	39	20,21	59,09
Enzimas y proteínas recombinantes (industriales y no industriales).	38	19,69	57,58
Kits diagnósticos.	32	16,58	48,48
Vacunas modernas.	31	16,06	46,97
Centro de servicios moleculares.	27	13,99	40,91
Biomateriales y nuevos materiales.	26	13,47	39,39
<b>Total</b>	<b>193</b>	<b>100</b>	

Tabla 20. Bienes y servicios biotecnológicos de mayor relevancia para el sector en el año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 66 personas)
Enzimas y proteínas recombinantes (industriales y no industriales).	36	19,57	59,09
Productos de la biodiversidad (extractos vegetales, nutracéuticos, cosméticos).	34	18,48	57,58
Kits diagnósticos.	32	17,39	48,48
Centro de servicios moleculares.	30	16,30	46,97
Vacunas modernas.	29	15,76	40,91
Biomateriales y nuevos materiales.	23	12,50	39,39
<b>Total</b>	<b>184</b>	<b>100</b>	

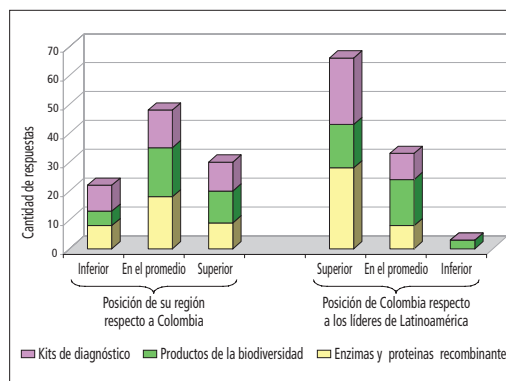
De acuerdo con la tabla 19, se considera que prácticamente todos los bienes y servicios propuestos en este sector son importantes en la actualidad, teniendo en cuenta la baja dispersión existente en los porcentajes de respuestas recibidas en cada uno. Puede decirse que sobresalen los *productos de la biodiversidad*, las *enzimas y proteínas recombinantes*, los *kits diagnósticos* y las *vacunas modernas*, en los cuales más del 45% de las personas coincidieron. Tanto los *kits diagnósticos* como el *centro de servicios moleculares* también resultaron ser importantes actualmente en el sector agrícola y pecuario.

#### Bienes y servicios biotecnológicos al año 2015

La consulta en este punto fue la siguiente: *elija los tres bienes y/o servicios que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y que, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.*

Como se aprecia en la tabla 20, en el caso de los bienes y servicios biotecnológicos en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética, se retomaron como relevantes en el año 2015 tres de los focos importantes actualmente (tabla 19): *enzimas y proteínas recombinantes (industriales y no industriales)*; *productos de la biodiversidad (extractos vegetales, nutracéuticos,*

Figura 22. Análisis comparativo con relación a los bienes y servicios en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética



*cosméticos*); *kits diagnósticos*. Sin embargo, la baja dispersión en los porcentajes de respuestas recibidas indica que la totalidad de los bienes y servicios son considerados como relevantes en el futuro.

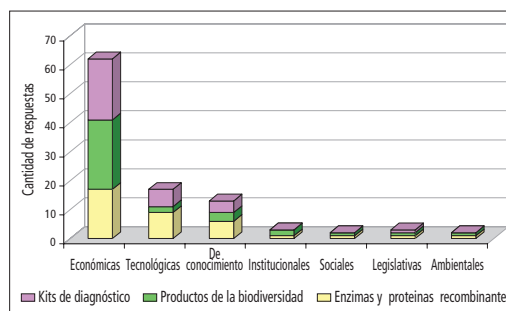
Se resalta el hecho de que los *biomateriales* aparezcan en el último lugar en esta priorización, y menos del 40% de los encuestados los hayan considerado importantes tanto en la actualidad como en el futuro. La figura 22 muestra que la mayoría de los encuestados coincide en señalar que su región está en el promedio respecto al país, en igual proporción en cuanto a los tres bienes seleccionados (un poco menor en *kits de diagnóstico*). Una cantidad

menor, pero relevante, opina que su región es superior al país en estos productos.

La situación con respecto a los países líderes es muy diferente al resultado del análisis comparativo entre las regiones y Colombia. En este caso, y en concordancia con las tendencias observadas en el sector agrícola y pecuario, mayoritariamente se piensa que el país es inferior en los tres productos biotecnológicos (en especial en *enzimas y proteínas recombinantes*, junto a los *kits de diagnóstico*). Sin embargo, un grupo más reducido de personas considera que el país tiene fortalezas en *productos de la biodiversidad*, por lo cual está en el promedio con relación a los líderes latinoamericanos, y muy pocos señalan que es superior en cuanto a estos productos.

Una vez más, se señala el factor económico como el principal obstáculo para el desarrollo futuro de los productos biotecnológicos seleccionados, al igual que ocurre con las tecnologías y los

**Figura 23.** Limitaciones a los bienes y servicios en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética



focos de este sector. Esta limitante afecta principalmente a los *productos de la biodiversidad*. Las limitantes tecnológicas y de conocimiento están en un segundo y tercer lugar, incidiendo en mayor grado sobre el desarrollo de *enzimas y proteínas recombinantes* (figura 23).

Los *kits de diagnóstico* pueden verse afectados por barreras económicas, tecnológicas, de conocimiento y legislativas, en ese orden, pero no por

**Tabla 21.** Actores responsables de liderar las tecnologías, focos, bienes y servicios en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética

	Tecnologías	Focos	Bienes y servicios
	<b>Cuenta</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Cuenta</b>
DNP (Departamento Nacional de Planeación).	6,93%	8,16%	6,53%
Sector privado (asociaciones, gremios, cooperativas, empresas).	15,89%	16,33%	18,37%
Otras entidades del Estado de nivel central (Sena, Fornipyme, Fonade).	8,14%	6,12%	9,39%
Sector académico y universidades.	24,42%	23,67%	21,22%
Entidades estatales regionales.	8,14%	4,90%	6,94%
Fondos privados de inversión.	4,65%	4,90%	7,35%
Colciencias.	19,39%	19,59%	15,51%
Ministerios sectoriales.	7,36%	12,24%	10,20%
Organismos internacionales.	3,49%	2,45%	2,86%
<b>Otros</b>	1,55%	1,63%	1,63%
	100%	100%	100%

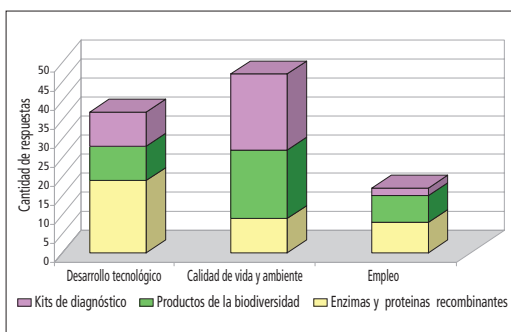


Propietarios



Importantes

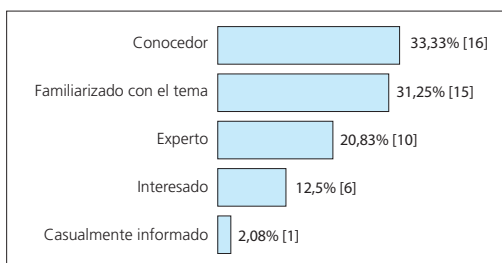
**Figura 24.** Posible impacto de los bienes y servicios en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética al año 2015



limitaciones institucionales, sociales ni ambientales, según los participantes en la encuesta Delphi.

Posiblemente, se considera que por estar dirigidos a la salud y bienestar de las personas, los productos seleccionados tienen su mayor impacto sobre la calidad de vida, principalmente los *productos de la biodiversidad* y los *kits de diagnóstico* (figura 24). Por su parte, las *enzimas y proteínas recombinantes* impactan positivamente y en mayor grado sobre el desarrollo tecnológico.

**Figura 25.** Nivel de conocimiento de los encuestados en el sector



#### Actores que deben liderar cada tema en el sector salud, industria farmacéutica y cosmética

La tabla 21 muestra los resultados de la siguiente consulta: *de los siguientes actores institucionales, seleccione cuatro que deban ser responsables de liderar el desarrollo de tecnologías, focos, bienes y servicios en biotecnología.*

El sector académico figura como el principal actor en este sector, tanto en el desarrollo de tecnologías, como en la priorización de focos y desarrollo de bienes y servicios. En orden de importancia, están Colciencias y el sector privado. Este grupo de actores responsables de liderar los desarrollos dentro del sector salud, farmacéutica y

**Tabla 22.** Principales tecnologías en la actualidad - sector medio ambiente y energía

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 48 personas)
Bioinformática.	36	18,95	75,00
Ingeniería de procesos.	35	18,42	72,92
Ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica, transcriptómica).	25	13,16	52,08
Genómica estructural (mapeo y secuenciación de genes).	23	12,11	47,92
Marcadores moleculares.	23	12,11	47,92
Cultivo de células y tejidos.	22	11,58	45,83
Clonación y caracterización de genes.	17	8,95	35,42
Criopreservación.	9	4,74	18,75
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>100</b>	

Tabla 23. Tecnologías de mayor relevancia para el sector en el año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 48 personas)
Bioinformática.	36	19,5	75,00
Ingeniería de procesos.	36	19,35	75,00
Ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica, transcriptómica).	29	15,59	60,42
Cultivo de células y tejidos.	23	12,37	47,92
Marcadores moleculares.	19	10,22	39,58
Genómica estructural (mapeo y secuenciación de genes).	17	9,14	35,42
Clonación y caracterización de genes.	15	8,06	31,25
Criopreservación.	11	5,91	22,92
<b>Total</b>	<b>186</b>	<b>100</b>	

cosmética, coincide con el seleccionado por las personas consultadas en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos.

De igual forma, para liderar la priorización de focos de desarrollo biotecnológico en salud, un 12% de las respuestas señalaron a los Ministerios sectoriales, lo cual también concuerda con lo ocurrido en el sector agrícola y pecuario. En el sector salud, se considera que Colciencias también debe aportar para el desarrollo de productos y servicios biotecnológicos, pero en menor medida.

Se propusieron otros actores como la Presidencia de la República, los centros de investigación y desarrollo, las empresas prestadoras de servicios de salud (EPS) y las instituciones promotoras de salud (IPS).

#### Sector medio ambiente y energía

El grupo de 48 personas que respondieron las preguntas relativas al sector medio ambiente y energía (24% del total de participantes en la encuesta Delphi) es mucho más heterogéneo con

relación al conocimiento que se tiene en este campo, en comparación con los demás sectores. En su mayoría, se consideran conocedores o familiarizados con el tema. Cerca de un 21% de los encuestados indicó que es experto en este campo, mientras que un 12,5% considera que solamente está interesado en el tema (figura 25).

#### Principales tecnologías en la actualidad

La primera indicación que se le dio a los participantes en esta sección del Delphi fue: *de las siguientes tecnologías, seleccione cuatro que Ud. considere que son ahora las más importantes para el desarrollo del país.*

Las principales tecnologías en el sector medio ambiente y energía concuerdan con aquellas seleccionadas en los demás sectores de la biotecnología. En este caso, también se considera que la bioinformática es la tecnología más relevante actualmente, seguida por la ingeniería de procesos y las ciencias ómicas. Sin embargo, en este sector se incluye la genómica estructural, la cual no había sido señalada como una de las más importantes en los otros dos sectores (tabla 22).

### Tecnologías al año 2015

Al realizar la siguiente solicitud a los encuestados en este sector: *elija las cuatro tecnologías que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y que, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector*, se obtuvo lo siguiente (tabla 23).

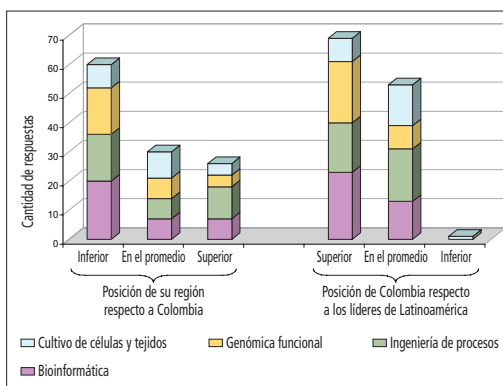
Aunque la *genómica estructural* y los *marcadores moleculares* son muy relevantes actualmente, no se consideran tecnologías que puedan contribuir de forma destacada al desarrollo futuro de la biotecnología. Las restantes tres tecnologías que hoy en día son principales (*bioinformática*, *ingeniería de procesos*, *ciencias ómicas*) continuarán siéndolo dentro de 10 años, de acuerdo con la opinión de las personas consultadas. En este caso, también se considera que el *cultivo de células y tejidos* será una tecnología relevante dentro de 10 años.

El análisis comparativo de las regiones respecto a Colombia (figura 26) muestra que en este sector se piensa que las regiones están por debajo del promedio del país en las tecnologías seleccionadas, principalmente en bioinformática, y en menor grado en cuanto al cultivo de células y tejidos, de acuerdo con una gran cantidad de encuestados. El grupo restante se encuentra dividido casi equitativamente entre quienes creen que su región está en el promedio del país y los que piensan que es superior a éste.

Con relación a los países líderes de Latinoamérica, en la figura 26 se observa que la mayoría de las respuestas señalan que Colombia es inferior al promedio en cuanto a las tecnologías relevantes (en especial, en *bioinformática* y *genómica funcional*). No obstante, una cantidad importante de respuestas indica que el país está en el promedio, sobre todo en *ingeniería de procesos* y *cultivo de células y tejidos*.

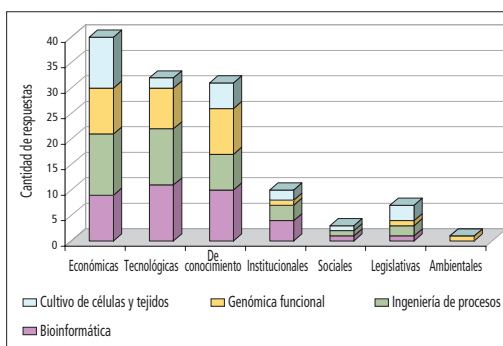
En el sector medio ambiente y energía, las tecnologías relevantes pueden tener barreras económicas, las tecnológicas y las de conocimiento, tal co-

Figura 26. Análisis comparativo con relación a las tecnologías en el sector medio ambiente y energía



mo ocurre en los demás sectores tanto en tecnologías como en focos, bienes y servicios, estando en un nivel inferior las barreras institucionales y legislativas (figura 27). Los encuestados coinciden en señalar que la tecnología que puede verse menos afectada por las limitaciones mencionadas es el *cultivo de células y tejidos*.

Figura 27. Limitaciones a las tecnologías en el sector medio ambiente y energía



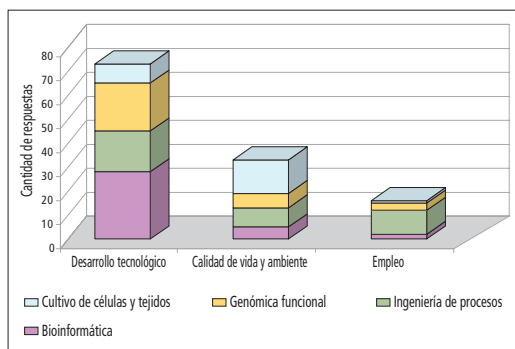
También es importante señalar que la genómica funcional (ciencias ómicas), es la única tecnología que puede verse enfrentada a limitaciones ambientales, de acuerdo con los participantes en el Delphi, pero igualmente es la única que no tiene barreras de tipo social. Lo anterior puede indicar que su impacto ambiental es bajo, por lo cual no es rechazada por el común de la gente.

La tendencia observada en los sectores agrícola y salud se reitera en este sector respecto al impacto

Tabla 24. Principales focos de desarrollo biotecnológico en la actualidad para el sector medio ambiente y energía

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 48 personas)
Bioprospección dirigida (sector industrial y agrícola).	32	14,88	66,67
Sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternas de energía.	31	14,42	64,58
Conservación y caracterización de la biodiversidad.	29	13,49	60,42
Biorremediación con aplicaciones en el sector industrial.	25	11,63	52,08
Evaluación de impacto ambiental y restauración ecológica.	24	11,16	50,00
Biosensores (detección de contaminantes en aguas, suelos y aire).	23	10,70	47,92
Secuenciación de genomas de microorganismos con potencial de uso biotecnológico.	23	10,70	47,92
Colecciones de organismos caracterizadas.	12	5,58	25,00
Desarrollo de instrumentos para la evaluación y gestión de riesgo.	11	5,12	22,92
Metalurgia extractiva (biolixiviación).	5	2,33	10,42
<b>Total</b>	<b>215</b>	<b>100</b>	

Figura 28. Posible impacto de las tecnologías en el sector medio ambiente y energía



de las tecnologías más importantes en el futuro. Así, se aprecia un impacto mayor sobre el desarrollo tecnológico, en especial en cuanto a *bioinformática* y *genómica funcional*.

La tecnología que puede afectar notoriamente la calidad de vida y el ambiente, de acuerdo con los encuestados, es el *cultivo de células y tejidos*. Cerca de 17 respuestas señalan que la *ingeniería de procesos* tiene un impacto alto en el desarrollo tecnológico, mientras que 10 respuestas indican que su mayor contribución puede estar en la generación de empleo.

#### Principales focos de desarrollo biotecnológico en la actualidad

En la tabla 24, se presentan los resultados de la consulta: *de los siguientes focos seleccione cinco que Ud. considere que son ahora los más importantes para el desarrollo del país.*

Tabla 25. Focos de desarrollo biotecnológico de mayor relevancia para el sector al año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 48 personas)
Bioprospección dirigida (sector industrial y agrícola).	34	15,45	70,83
Conservación y caracterización de la biodiversidad.	30	13,64	62,50
Biorremediación con miras a aplicaciones en el sector industrial.	28	12,73	58,33
Secuenciación de genomas de microorganismos con potencial de uso biotecnológico.	27	12,27	56,25
Sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternas de energía.	24	10,91	50,00
Evaluación de impacto ambiental y restauración ecológica.	24	10,91	50,00
Biosensores (detección de contaminantes en aguas, suelos y aire).	23	10,45	47,92
Colecciones de organismos caracterizadas.	13	5,91	27,08
Desarrollo de instrumentos para la evaluación y gestión de riesgo.	11	5,00	22,92
Metalurgia extractiva (biolixiviación).	6	2,73	12,50
<b>Total</b>	<b>220</b>	<b>100</b>	

Más de la mitad de las personas que respondieron esta pregunta coincidieron en señalar cinco focos de desarrollo biotecnológico como los principales en la actualidad para el sector medio ambiente y energía: *bioprospección dirigida; sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes alternas de energía; conservación y caracterización de la biodiversidad; biorremediación con miras a aplicaciones en el sector industrial; evaluación de impacto ambiental y restauración ecológica.*

No obstante, se aprecia muy baja dispersión en los porcentajes de respuestas recibidas en cada foco, con lo cual se indica que incluso los *biosensores* y la *secuenciación de genomas de microorganismos con potencial uso biotecnológico* pueden incluirse en este grupo de mayor relevancia. No obstante, un foco

como la *metalurgia extractiva o biolixiviación* no tiene tanta importancia para el país en la actualidad, según las personas encuestadas.

Cabe mencionar además que la *bioprospección* y los *sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa*, que fueron seleccionados como principales en la actualidad en el sector medio ambiente y energía, también son focos importantes en el sector agrícola y pecuario.

#### Focos de desarrollo biotecnológico al año 2015

En este punto, se hizo la siguiente consulta: *elija los cinco focos que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y que, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.*



Sólo algunos de los focos seleccionados como relevantes actualmente –*biorremediación, conservación y caracterización de la biodiversidad, bioprospección*– coinciden con los que serán determinantes para la biotecnología en 10 años (tabla 25). Se incluye, además, *la secuenciación de genomas de microorganismos potencialmente útiles*, que fue seleccionado por el 56% de las personas como relevante en el futuro, mientras que sólo el 48% indicó que este foco es importante actualmente. Los encuestados en este sector prevén cambios en los focos de investigación a futuro, siendo el único sector que considera que la biotecnología sufrirá un cambio a mediano plazo.

Con relación al análisis comparativo mostrado en la figura 29, se considera en una proporción relativamente igual que las regiones son inferiores o están en el promedio del país con respecto a estos focos.

La opinión se encuentra dividida entre quienes creen que el país es inferior a los líderes de Latinoamérica y los que opinan que está en el promedio. De acuerdo con la figura 29, en *secuenciación de genomas* y *bioprospección* en mayor grado, Colombia es inferior a los líderes, mientras que en *conservación y caracterización de la biodiversidad* y *bioprospección* principalmente, está en el promedio.

La figura 30 muestra las limitaciones que pueden frenar el desarrollo de los focos seleccionados en el sector medio ambiente y energía. Estos focos son afectados principalmente por limitaciones económicas y tecnológicas, como ha sucedido en los demás sectores.

El foco *bioprospección dirigida (sector industrial y agrícola)* puede estar limitado por factores tecnológicos y legislativos principalmente, seguidos por limitaciones económicas, de conocimiento e institucionales. Con relación al foco *conservación y caracterización de la biodiversidad*, puede verse afectado por obstáculos económicos, institucionales y sociales

Figura 29. Análisis comparativo con relación a los focos en el sector medio ambiente y energía

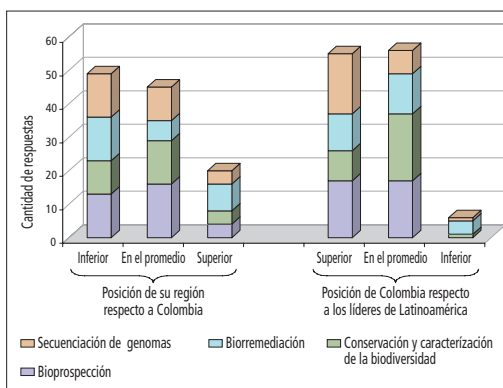


Figura 30. Limitaciones a los focos de desarrollo biotecnológico en el sector medio ambiente y energía

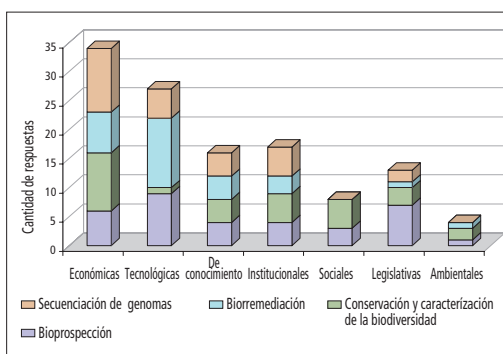
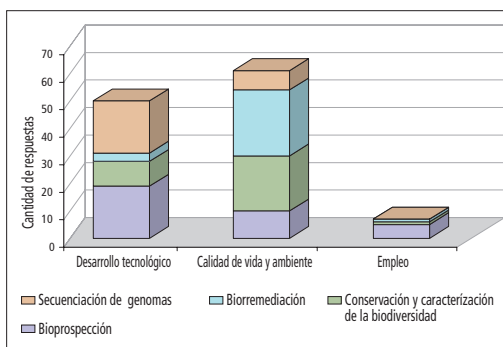


Figura 31. Posible impacto de los focos en el sector medio ambiente y energía



en mayor medida. La *biorremediación con miras a aplicaciones en el sector industrial* tiene como principales limitantes las tecnológicas, legislativas e institucionales. Por último, la *secuenciación de genomas de microorganismos con potencial de uso biotecnológico* puede ver fre-

Tabla 26. Principales bienes y servicios biotecnológicos en la actualidad para el sector medio ambiente y energía

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 48 personas)
Biorremediación (consorcios microbianos).	33	25,00	68,75
Identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales.	32	24,24	66,67
Diagnósticos de medio ambiente (kits diagnósticos, biosensores).	22	16,67	45,83
Servicios ambientales.	22	16,67	45,83
Centro de servicios moleculares.	14	10,61	29,17
Biomíneralogía industrial.	9	6,82	18,75
<b>Total</b>	<b>132</b>	<b>100</b>	

Tabla 27. Bienes y servicios biotecnológicos de mayor relevancia para el sector al año 2015

Opción	Frecuencia de selección	Porcentaje de respuestas	Porcentaje de encuestados (Total: 48 personas)
Identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales.	34	25,37	70,83
Biorremediación (consorcios microbianos).	32	23,88	66,67
Diagnósticos de medio ambiente (kits diagnósticos, biosensores).	23	17,16	47,92
Servicios ambientales.	19	14,18	39,58
Centro de servicios moleculares.	16	11,94	33,33
Biomíneralogía industrial.	10	7,46	20,83
<b>Total</b>	<b>134</b>	<b>100</b>	

nado su desarrollo por barreras económicas, tecnológicas e institucionales, en mayor grado.

Al observar el impacto de los focos seleccionados en la figura 31, se aprecia una tendencia similar a la de los focos del sector salud, que señala una gran influencia positiva sobre la calidad de vida y el ambiente, a través de la *biorremediación* junto con la *conservación y caracterización de la biodiversidad*, como se podría esperar. Otra cantidad importante de respuestas indica que estos focos tienen gran

impacto sobre el desarrollo tecnológico, en especial la *secuenciación de genomas de microorganismos con potencial de uso biotecnológico* y la *bioprospección* (19 respuestas en cada foco).

#### Principales bienes y servicios biotecnológicos en la actualidad

En este sector, de nuevo, se dio la siguiente indicación: *de los siguientes bienes y/o servicios, seleccione tres que Ud. considere que son ahora los más importantes para el desarrollo del país.*

Al igual que lo sucedido en el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos, en el sector medio ambiente y energía se presentan coincidencias entre los focos y los productos o servicios biotecnológicos considerados como relevantes hoy en día por las personas encuestadas. Éste es el caso de la *biorremediación mediante consorcios microbianos*, que fue considerada como el producto más importante en la actualidad, y está directamente relacionada con el foco de *biorremediación con miras a aplicaciones en el sector industrial*, que también fue elegido como relevante en este momento para el país.

Es importante señalar, además, que los *kits de diagnóstico* han sido seleccionados por los encuestados como uno de los bienes más relevantes actualmente para Colombia, tanto en el sector medio ambiente y energía como en los demás sectores.

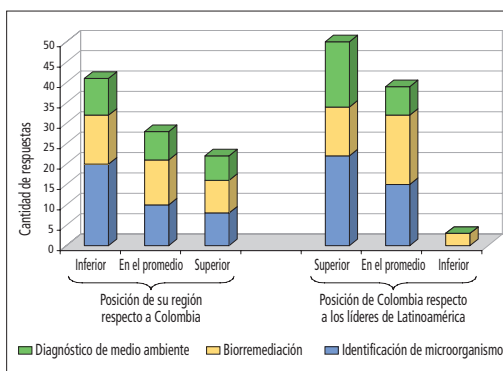
#### Bienes y servicios biotecnológicos al año 2015

La tabla 27 presenta los resultados de la siguiente indicación dada a los encuestados: *Elija los tres (3) bienes y/o servicios que usted considere de mayor relevancia para la competitividad y sostenibilidad de Colombia en este campo al año 2015 y que, por tanto, deben formar parte de la agenda de I&D&I del sector.*

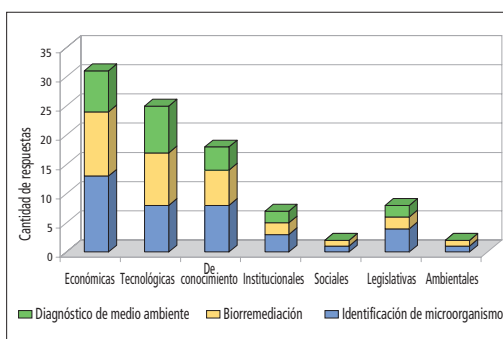
El grupo de productos y servicios biotecnológicos determinantes para Colombia en el 2015, concuerda con el que se eligió como más relevante en la actualidad, a excepción de los *servicios ambientales*, cuya importancia será menor en los próximos años, puesto que sólo el 33% de los participantes lo seleccionó.

De acuerdo con los encuestados (figura 32), las regiones se encuentran en un nivel inferior respecto al país en cuanto a los productos y servicios seleccionados (41 respuestas en total), especialmente en *identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales*. No obstante, una cantidad importante de respuestas (28) señala que las

**Figura 32.** Análisis comparativo con relación a los bienes y servicios en el sector medio ambiente y energía



**Figura 33.** Limitaciones a los bienes y servicios en el sector medio ambiente y energía



regiones están en el promedio o son superiores al país, principalmente en *biorremediación e identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales*.

En el análisis comparativo efectuado en este punto, se observa que Colombia se encuentra por debajo del promedio de los países líderes en América Latina, de acuerdo con una gran cantidad de respuestas (50), especialmente en *identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales*. Sin embargo, 39 respuestas señalan que el país está en el promedio, principalmente con relación a este mismo producto, junto a la *biorremediación*. Solamente un pequeño grupo de los consultados cree que Colombia es superior en *biorremediación*.

Al observar en la figura 33 las principales limitaciones que existen en el país para el grupo de pro-

Tabla 28. Actores responsables de liderar el desarrollo de tecnologías, focos, bienes y servicios en el sector medio ambiente y energía

	Tecnologías	Focos	Bienes y servicios
	<b>Cuenta</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Cuenta</b>
DNP (Departamento Nacional de Planeación).	7,14%	10,29%	6,96%
Sector privado (asociaciones, gremios, cooperativas, empresas).	15,93%	15,43%	16,00%
Otras entidades del Estado de nivel central (Sena, Fornipyme, Fonade).	4,95%	6,29%	5,14%
Sector académico y universidades.	22,53%	21,71%	20,00%
Entidades estatales regionales.	7,14%	4,57%	9,71%
Fondos privados de inversión.	1,65%	1,71%	4,57%
Colciencias.	20,33%	22,29%	17,71%
Ministerios sectoriales.	14,29%	14,86%	17,14%
Organismos internacionales.	6,04%	2,86%	2,86%
<b>Otros</b>	0,00%	0,00%	0,00%
	100%	100%	100%

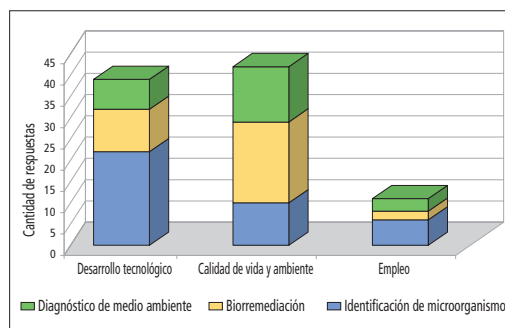
Propietarios      Importantes

ductos y servicios seleccionados, se reitera el hecho de que los factores económicos, tecnológicos y de conocimiento, en su orden, son los más influyentes en este sentido, afectando de forma similar a los tres productos más importantes en los próximos años. También sobresalen las limitaciones de carácter institucional y legislativo, en especial en lo referente a la *identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales*.

En cuanto a los impactos de los productos y servicios biotecnológicos, el mayor está sobre la calidad de vida y el ambiente, como podría esperarse en el sector medio ambiente y energía. La *biorremediación (consorcios microbianos)* es el servicio que más puede impactar sobre la calidad de vida y el ambiente (figura 34).

También es importante la cantidad de respuestas que señalan el impacto sobre el desarrollo tecnológico, a través de la *identificación de microorganismos para*

Figura 34. Posible impacto de los bienes y servicios en el sector medio ambiente y energía



*reemplazo en procesos industriales* en mayor grado. Un pequeño grupo de encuestados considera que este último servicio, principalmente, impacta de forma positiva sobre la generación de empleo.

#### Actores que deben liderar cada tema en el sector medio ambiente y energía

En este punto se consultó sobre lo siguiente: *de los siguientes actores institucionales, seleccione cuatro que*

**Tabla 29.** Resumen de las tecnologías, focos, bienes y servicios de mayor relevancia actualmente y con proyección a 2015 en cada uno de los sectores analizados

Sector	Agrícola, pecuario e industria de alimentos		Salud, farmacéutica y cosmética		Medio ambiente y energía	
	Actual	A 2015	Actual	A 2015	Actual	A 2015
<b>Tecnologías</b>	Bioinformática. Ciencias ómicas. Marcadores moleculares. Ing. de procesos. Transf. genética Cultivo de células y tejidos.	Bioinformática. Genómica funcional. Marcadores moleculares. Ing. de procesos. Transf. Genética.	Bioinformática. Ciencias ómicas. Cultivo de células y tejidos. Transf. Genética. Ing. de procesos.	Bioinformática. Ciencias ómicas. Cultivo de células y tejidos. Transf. Genética.	Bioinformática. Ing. de procesos. Ciencias ómicas. Genómica estructural. Marcadores moleculares.	Bioinformática. Ing. de procesos. Ciencias ómicas. Cultivo de células y tejidos.
<b>Focos</b>	Biofertilizantes, bioplaguicidas, bioinsumos agrícolas. Conser. y carac. de recursos genéticos. Bioprospección. Caract. Molecular. Sistemas biotecn. para transformación Biomasa. Desarrollo y opt. de procesos. Biofertilizantes, bioplaguicidas, bioinsumos agrícolas. Conser. y carac. de recursos genéticos. Bioprospección. Caract. Molecular. Sistemas biotecn. para transformación Biomasa. Desarrollo y opt. de procesos.	Conser. y carac. de recursos genéticos. Biofertilizantes, bioplaguicidas, bioinsumos. Sistemas biotecn. para transformación de biomasa. Bioprospección. Caract. molecular Desarrollo y optimización de procesos. Conser. y carac. de recursos genéticos. Biofertilizantes, bioplaguicidas, bioinsumos. Sistemas biotecn. para transformación de biomasa. Bioprospección. Caract. molecular Desarrollo y optimización de procesos.	Métodos de prevención de enfermedades. Bioprospección. Producción de comp. Terapéuticos. Desarrollo de nuevos met. de detección de enfermedades.	Bioprospección. Métodos de prevención de enfermedades. Desarrollo de nuevos met. de detección de enfermedades.	Bioprospección. Sistemas biot. para transf. Biomasa. Conser. y carac. de la biodiversidad. Biorremediación. Evaluación del impacto ambiental y restauración ecológica.	Bioprospección. Conser. y carac. de la biodiversidad. Biorremediación. Secuenciación de genomas de microorganismos con potencia de uso biotecnológico.
<b>Bienes y servicios</b>	Bioinsumos. Enzimas para uso industrial. Kits de diagnóstico. Semillas certificadas.	Bioinsumos. Enzimas para uso industrial. Semillas certificadas Kits de diagnóstico	Productos de la biodiversidad. Enzimas y proteínas recombinantes. Kits diagnósticos. Vacunas modernas.	Enzimas y proteínas recombinantes. Productos de la biodiversidad. Kits diagnósticos.	Biorremediación. Identif. de microorganismos. Diagnósticos de ambiente (kits, biosensores). Servicios ambientales.	Identif. de microorganismos. Biorremediación. Diagnósticos de ambiente (kits, biosensores). Servicios ambientales.

deban ser responsables de liderar el desarrollo de tecnologías, focos, bienes y servicios en biotecnología.

Tal como ocurrió en los demás sectores, en el sector medio ambiente y energía se observa que los principales actores son, en su orden, el sector académico, Colciencias y el sector privado en

menor medida, a excepción del desarrollo de bienes y servicios, en donde se consideró que los Ministerios sectoriales pueden desempeñar un papel importante. Con relación a este actor, puede verse que también tiene alguna relevancia tanto en el desarrollo de tecnologías, como en la priorización de focos.

La tabla 29 resume las principales tecnologías, focos, bienes y servicios que los encuestados señalaron como los más importantes en la actualidad en cada uno de los sectores, junto a los seleccionados como relevantes dentro de diez años.

### Evaluación global de los resultados en los tres sectores de la biotecnología

En muchos casos se observa que la opinión de los encuestados no permite realizar una estricta priorización en cuanto a las tecnologías, focos, bienes y servicios de cada sector, puesto que las respuestas se encuentran distribuidas prácticamente de forma equitativa. Esto podría llevar a la conclusión de que una gran parte de los ítems planteados en la encuesta Delphi son importantes en la actualidad y para el desarrollo futuro de la biotecnología, y deben ser tomados en cuenta al momento de generar estrategias en tal sentido, obviamente sin desconocer que las respuestas de la mayoría de los participantes convergen sólo en algunas tecnologías, focos, productos y servicios biotecnológicos (tabla 29).

Existen coincidencias en cuanto a los ítems seleccionados como relevantes en la actualidad y aquellos que son determinantes para el futuro de la biotecnología. Como se mencionó anteriormente, este hecho podría demostrar que el trabajo que actualmente se desarrolla en tales ítems apunta a la dirección correcta y debería continuarse o, por el contrario, podría indicar que nuestra comunidad no tiene presente los cambios que se están dando en el desarrollo biotecnológico en el ámbito mundial. Otra lectura que se le podría dar a estos resultados, es que los encuestados consideran que Colombia no tendría posibilidades de futuro en el desarrollo de las tecnologías de punta.

En el análisis comparativo entre las regiones y el país en cuanto a las tecnologías, focos, bienes y

servicios determinantes para el desarrollo de la biotecnología, la mayoría de los encuestados respondió que su región está en el promedio respecto a Colombia, lo cual puede tener sustento en el hecho de que los participantes en la encuesta Delphi residen principalmente en la zona central del país (Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca), puesto que allí se concentran las principales instituciones que trabajan en biotecnología.

En cuanto al análisis comparativo entre Colombia y los países líderes de América Latina, la mayoría de los participantes señala que nuestro país se encuentra en un nivel inferior, tanto en tecnología, como en focos, bienes y servicios. En este sentido, las estrategias de desarrollo se deberán orientar a disminuir las brechas que puedan existir entre Colombia y países referentes como los latinoamericanos.

Uno de los elementos clave dentro de las estrategias para el desarrollo de la biotecnología deberá ser la gestión y destinación de recursos para la biotecnología, teniendo en cuenta que el factor económico fue considerado como el principal obstáculo que existe en Colombia para el desarrollo de las tecnologías, focos, productos y servicios relevantes en el futuro. Igualmente, será necesario trabajar en generación y apropiación de tecnologías simultáneamente con la formación de recursos humanos, considerando que las limitantes tecnológicas y de conocimiento afectan de manera importante el desarrollo de la biotecnología, de acuerdo con la opinión de los participantes en el Delphi.

Los encuestados resaltan igualmente barreras a nivel legislativo e institucional en algunos sectores, posiblemente ocasionadas, en parte, por la normatividad existente y los trámites administrativos que, en muchos casos, son excesivos.

En general, se considera que las tecnologías tienen su mayor impacto sobre el desarrollo tecnológico, mientras que los focos y los productos biotecnoló-

gicos lo hacen sobre la calidad de vida y el ambiente. Sin embargo, se piensa que ninguno de estos ítems tiene un impacto notable sobre la generación de empleo, lo cual resulta preocupante considerando el estado de este indicador en Colombia.

Realizando un análisis global de los actores que deben liderar el desarrollo en biotecnología, el sector académico fue considerado como fundamental en todos los temas abordados, junto a Colciencias y el sector privado. Esto permite pensar que la biotecnología ha sido encasillada como una materia de carácter exclusivamente investigativo y científico, y no se ha tomado conciencia real sobre su impacto en la calidad de vida y el desarrollo tecnológico e industrial, por lo cual se cree que es la academia la que debe jalonar todos los procesos. Esto se puede correlacionar con los resultados en el tema de políticas, donde los encuestados mencionan como muy relevante la articulación entre el sector académico y el sector privado.

En el nivel gubernamental, se le da relevancia a Colciencias en todos los aspectos, mientras que al DNP sólo en política pública y, en pocos casos, a los Ministerios sectoriales, lo cual señala que posiblemente los actores desconocen el papel fundamental que pueden jugar los Ministerios y ellos mismos en la definición de políticas públicas.

### Taller de expertos

Con el fin de validar los resultados de la encuesta Delphi, se realizó un taller con personas consideradas expertas en biotecnología, en otros campos de la ciencia y la tecnología y en las políticas públicas del país. Las personas convocadas a este taller fueron seleccionadas por su amplio conocimiento y por ser líderes y tomadores de decisión.

Como resultado de dicho taller, los expertos señalaron que las tecnologías de mayor pertinencia para el desarrollo biotecnológico futuro en Colombia son, en su orden, *la ingeniería de procesos,*

*la genómica funcional (ciencias ómicas), la bioinformática* (en cuanto a su uso, diferenciándolo de su desarrollo) y *el cultivo de células y tejidos*. Aunque para el taller no se realizó una diferenciación de tecnologías por sectores como si se hizo en el Delphi, se observa que los expertos sí consideran el cultivo de células y tejidos como una tecnología prioritaria para el país, y coinciden con tecnologías como las ciencias ómicas y la ingeniería de procesos.

Con relación a los productos y servicios biotecnológicos más pertinentes para el futuro de la biotecnología, en el taller de expertos se identificaron los siguientes: *productos de la biodiversidad, nuevas enzimas y proteínas recombinantes y biorremediación*. En este caso, hay coincidencia con los resultados de la encuesta Delphi.

Igualmente, los expertos reunidos en diciembre de 2004 seleccionaron los principales focos de desarrollo biotecnológico en los próximos años para el país, de acuerdo con su grado de pertinencia, en cada uno de los sectores de la biotecnología:

**Sector agrícola, pecuario e industria de alimentos:** transgénesis (resistencia a enfermedades, calidad nutricional, biofábricas); biofertilizantes/bioplaguicidas/bioinsumos agrícolas; desarrollo y optimización en procesos de producción a escala nacional. Cabe señalar que la transgénesis no era un foco de desarrollo prioritario en los resultados de la encuesta Delphi.

**Sector salud, industria farmacéutica y cosmética:** métodos de prevención de enfermedades (vacunas, susceptibilidad genética); producción de compuestos terapéuticos mediante métodos biotecnológicos.

**Sector medio ambiente y energía:** bioprospección dirigida; biorremediación con miras a aplicaciones en el sector industrial.

Al contrastar los resultados del taller de expertos con los del ejercicio Delphi, se observan coinci-

dencias que fundamentalmente son producto de la convalidación por parte de dichos expertos al proceso de consulta llevado a cabo a través de la encuesta Delphi. Debe resaltarse que los expertos consideraron que el desarrollo de la biotecnología tendría un impacto positivo en la generación de empleo calificado en el país, hecho que no fue destacado en la encuesta Delphi.

### Bases de estrategia a partir de los resultados del ejercicio Delphi en biotecnología

Las siguientes bases de estrategia son el resultado del taller realizado con expertos para la preparación de la encuesta Delphi, de los resultados de la encuesta, del taller de expertos que convalidaron los resultados y de diferentes reuniones realizadas con el Consejo de Biotecnología.

1. Fortalecer la capacidad científica y tecnológica del país en la formación de recursos humanos, articulación y fortalecimiento de grupos.

Esta estrategia deberá considerar las siguientes actividades:

- En recursos humanos, se plantea la inclusión del componente de biotecnología en los programas académicos relacionados con ésta, así como el fortalecimiento de la formación en ciencias básicas y la evaluación de los programas existentes, tanto en calidad como en pertinencia.
- En cuanto al fortalecimiento de grupos de investigación, las estrategias deben orientarse a incentivar la producción y capacidad mediante la implementación de indicadores cuantitativos como los planteados por la Red ScienTI y el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. Los incentivos pueden consistir tanto en recursos económicos, como en becas y otros apoyos para cada grupo, como también la gene-

ración de alianzas entre grupos de excelencia o centros de investigación internacionales y grupos en desarrollo de tal forma que permitan el fortalecimiento de los mismos.

- Puede contemplarse el apoyo a los grupos a través de asesorías en diferentes técnicas de gestión que les permitan, por ejemplo, formular adecuadamente sus proyectos, sustentándolos en estudios de mercados y vigilancia tecnológica.
- La articulación de los grupos de investigación debe plantearse a partir de redes temáticas para compartir información y conocimiento.
- Finalmente, debe mejorarse el esquema de retorno de los investigadores colombianos formados en el exterior, garantizándoles condiciones apropiadas para el ejercicio de su profesión, así como la infraestructura adecuada. También, es importante que estos investigadores tengan experiencia para que puedan contribuir de mejor manera al desarrollo de Colombia.

2. Debe plantearse la concreción de la política en biotecnología a través de la formulación de un documento CONPES que destine claramente los recursos para el desarrollo de este sector.

Una estrategia en tal sentido puede contemplar otros mecanismos para apoyar económicamente la investigación y desarrollo en biotecnología, como la participación de las multinacionales a través de la destinación de un porcentaje de sus utilidades para este rubro.

3. Los procesos de innovación deben promoverse a partir de la articulación de la política de biotecnología con la política y el Sistema Nacional de Innovación. Además, es importante la identificación de las necesidades prioritarias de las regiones por parte de los gobiernos locales y otras entidades, cuya solución esté relacionada con la biotecnología. A partir de allí, puede promoverse la par-



ticipación de las empresas y centros de investigación en la búsqueda de las soluciones a través de convocatorias que recompensen a quienes ofrezcan respuestas novedosas.

Con referencia a la legislación en acceso a recursos genéticos, protección de la biodiversidad (bioseguridad) y derechos de propiedad intelectual, la política en biotecnología debe contemplar la evaluación de la normatividad existente y su adecuación a la situación actual de acuerdo con las tendencias mundiales. Además, se debe evaluar la función de los organismos de control y aplicación. Como planteamiento adicional, está la capacitación de los legisladores en temas de biotecnología por parte de expertos.

La política en biotecnología puede señalar que la legislación pertinente incluya que las transnacionales que estén en el país desarrollen actividades conjuntas con grupos y centros de investigación, o destinen un porcentaje de sus utilidades a financiar la investigación y desarrollo.

4. La política en biotecnología debe partir de la priorización de áreas y focos de desarrollo biotecnológico que el país está en capacidad de asumir, tanto en ciencias básicas como en desarrollo tecnológico. Dicha priorización se logra a través de mecanismos de concertación entre los diversos sectores y con base en estudios de vigilancia tecnológica.

5. Como estrategia para el fomento al desarrollo empresarial, debe buscarse que los proyectos de creación de nuevas empresas se sustenten con rigurosos estudios de factibilidad técnica y económica, como base para su financiación. Lo anterior debe complementarse con el fortalecimiento de mecanismos para promover empresas biotecnológicas, como los capitales semilla y el capital de riesgo.

Dentro de la estrategia de desarrollo empresarial, se deben considerar otros mecanismos, como la

creación de entidades encargadas de brindar asesoría y recursos para la realización de estudios de factibilidad, inteligencia de mercados e inteligencia competitiva y que, a su vez, actúen como evaluadores de los proyectos que se desarrollen con base en tales estudios.

6. Formulación de incentivos de carácter tributario para quienes realicen investigación y desarrollo en biotecnología, y el mejoramiento de los mecanismos de *spinoff*, semilleros e incubadoras de empresas biotecnológicas, en cuanto a su implementación.

7. Es necesario aumentar la difusión de temas relativos a la biotecnología que son de interés para el público en general, así como fomentar la capacitación en estos temas de las personas responsables de su divulgación.

La divulgación debe partir de una política sostenible en el tiempo, y puede ser liderada por entidades como Colciencias o Maloka, para lo cual pueden usarse diferentes medios como los canales institucionales o las emisoras universitarias.

Teniendo en cuenta la responsabilidad de cada grupo de investigación de dar difusión a sus desarrollos, Colciencias podría exigir un componente específico en esta área en los proyectos que financie, brindando las facilidades para que se lleve a cabo.

Debe existir una adecuada gestión del tema de divulgación de la biotecnología, lo cual podría ser liderado por la Asociación Colombiana de Periodismo Científico.

A continuación, se plantean otras bases de estrategia cuya justificación surge del análisis de los resultados obtenidos en la sección de áreas específicas de actuación de la encuesta Delphi:

1. Se debe favorecer la continuidad del trabajo que se desarrolla actualmente en cada uno de los

sectores de la biotecnología, teniendo en cuenta que será determinante para su futuro en Colombia. En este sentido, debe fomentarse la formación de recursos humanos en el manejo de tecnologías como la bioinformática, las ciencias ómicas y la ingeniería de procesos, así como la investigación y desarrollo en estos campos.

2. La política en biotecnología deberá brindar los mecanismos necesarios para promover la investigación y desarrollo en las siguientes áreas:

- Sector agrícola, pecuario e industria de alimentos: conservación y caracterización de recursos genéticos, bioprospección, caracterización molecular, sistemas biotecnológicos para transformación de biomasa en fuentes de energía, desarrollo y optimización de procesos y biofertilizantes.
- Sector salud, farmacéutica y cosmética: métodos de prevención de enfermedades, desarrollo de nuevos métodos de detección de enfermedades y bioprospección.
- Sector medio ambiente y energía: secuenciación de genomas de microorganismos con potencial uso biotecnológico, biorremediación con miras a aplicaciones en el sector industrial, bioprospección, conservación y caracterización de la biodiversidad.

3. Para promover la competitividad del país con base en la biotecnología, se debe apuntar a la producción y comercialización de productos y servicios como los siguientes: bioinsumos, productos de la biodiversidad, enzimas y proteínas recombinantes, consorcios microbianos, identificación de microorganismos para reemplazo en procesos industriales y *kits* diagnósticos para cada sector.

4. La política en biotecnología debe procurar la eliminación de las limitaciones de tipo económico, tecnológico y de conocimiento que amenazan el desarrollo de la biotecnología, a través de mecanismos como: destinación de recursos por parte del gobierno y otras entidades para I&D, proyectos productivos y, en general, para la ejecución de la política; asesoría y capacitación en procesos de transferencia de tecnología e incentivos para la innovación tecnológica; promoción y destinación de recursos para la formación de recursos humanos en el país y el exterior, evaluación de la calidad de los programas académicos vigentes e inclusión de componentes de biotecnología en carreras afines.

5. Se debe garantizar que la biotecnología genere impactos y beneficios, tanto a nivel de desarrollo tecnológico, como en la calidad de vida y en la creación de empleo. Siendo este último el indicador que recibe un menor impacto, es necesario buscar alternativas que modifiquen este hecho, a través del apoyo a la creación de empresas y la formación de recursos humanos en áreas promisorias.





## CAPÍTULO VI

# Ejercicio de vigilancia tecnológica

### Introducción

La vigilancia tecnológica, definida en un marco general, es una metodología apoyada en conceptos estadísticos y herramientas informáticas, que toma como base documentación tanto tecnológica como científica de alta calidad. Dentro de esta documentación, se encuentran patentes y artículos científicos, que generan (a través de análisis cuantitativos como el recuento y la co-ocurrencia de palabras) registros y gráficos que permiten evaluar dinámicas, tendencias, campos de acción, entre otros aspectos, de las tecnologías en áreas temáticas específicas.

Se realizó un taller de vigilancia tecnológica bajo la coordinación metodológica del grupo IALE de Chile, el cual se orientó a identificar las tecnologías en las que se está investigando actualmente en el contexto internacional, evaluar sus dinámicas a través del tiempo, establecer áreas tecnológicas emergentes así como países e instituciones líderes en biotecnología. Adicionalmente, se analizaron *clusters* temáticos y de colaboración entre instituciones o grupos, y se identificaron las principales fuentes de información en donde se publican los desarrollos en biotecnología.

Para el desarrollo del ejercicio de vigilancia tecnológica en biotecnología, se cumplieron las siguientes etapas: selección de fuentes de información, búsqueda y descarga de la misma, y preparación del corpus de información a partir del cual se generaron los resultados en mapas y gráficas que muestran las tendencias predominantes y la situación actual de las principales tecnologías en el mundo en lo referente a biotecnología. Las fuentes de información se analizaron en el período comprendido entre enero de 2000 y mayo de 2004. Finalmente, debemos aclarar que este capítulo debe ser considerado como un primer acercamiento metodológico y en ningún momento pretende abarcar todos los tópicos de la biotecnología. En este sentido, su principal valor agregado consiste en darnos una visión global de la biotecnología en el mundo con sus áreas emergentes y decadentes, y los países y grupos de investigación líderes en el campo.

## Selección de las fuentes de información

En el marco de la vigilancia tecnológica, la selección adecuada de las fuentes de información supone, por principio, la calidad de las mismas y, por ende, su incidencia en los resultados. Bajo estas condiciones, se incluyeron dos bases de datos de artículos científicos de reconocido prestigio, documentos de la Unión Europea del año 2003 y una base de patentes. La búsqueda se filtró mediante la utilización de palabras claves en biotecnología. A manera de ejemplo, la ecuación de búsqueda incluía palabras como:

```
(((((("BIOACTIVE COMPOUND*" <near> BIOTECHNOLOG*) <in> (CLAIMS,AB) ) OR ("TRANSGENIC* PLANT*" OR "TRANSGENIC* ANIMAL*") <in> (AB, CLAIMS) ) OR ((METABOLOMIC* <near> BIOTECHNOLOG*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((BIOINFORMATIC* <near> BIOTECHNOLOG*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((BIOPHARMACEUTIC* <near> BIOTECHNOLOG*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((BIOFUEL*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((BIOREMEDIATION*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((BIOPESTICIDE*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((DIAGNOSTIC* <near> BIOTECHNOLOG*) <in> (CLAIMS, AB) ) OR ((BIOSENSOR* <near> BIOTECHNOLOG*) <in> (CLAIMS, AB) ) ) AND (PD>=2001-01-01 ) AND (PD<=2004-05-31 ) ) )
```

Las bases seleccionadas fueron:

### CAB Abstracts

La base de datos de artículos científicos CAB *Abstracts* abarca temas de agricultura y biotecnología. Es producida por CABI Publicaciones, y constituye una de las más grandes bases bibliográficas que cubre la literatura internacional de investigaciones y desarrollo en los campos de la agricultura y de las ciencias aplicadas. Cuenta con más de 3.5 millones de registros desde 1973 con fuentes como conferencias, artículos de revistas, libros, resúmenes y otra literatura de más de 140 países en 50 idiomas.

Esta base fue utilizada para analizar los países con mayor número de publicaciones en el campo de la biotecnología agrícola y para identificar las revistas relevantes en el campo.

### ISI

La base de datos ISI tiene una mayor cobertura que la base CAB *Abstracts*, en áreas como agricultura, biología, bioquímica, biotecnología, ingeniería, física, geología, informática, medio ambiente, medicina, química, tecnología y salud pública, entre otras, permitiendo búsquedas de información en campos como biotecnología en salud y ambiente, junto con el campo agrícola. Esta base toma la información de fuentes como libros, revistas, informes, series y colecciones de publicaciones, desde 1990. Esta base fue utilizada para identificar las tendencias globales en salud, agricultura y medio ambiente.

### Base de Patentes Thomson Delphion

Esta base de datos reúne las publicaciones de las oficinas de patentes más importantes a nivel mundial. A su vez, permite generar amplias búsquedas de acuerdo con una temática y su evolución en el tiempo. Esta base incluye patentes concedidas y solicitadas de Estados Unidos y Europa, publicaciones WIPO PCT, *abstracts* de patentes de Japón y Alemania, entre otras fuentes. Esta base fue utilizada para identificar las industrias y los campos con mayor competitividad en biotecnología.

## Definición de ecuaciones de búsqueda y descarga de información

Para la búsqueda de información en las diferentes bases de datos, es necesario construir las ecuaciones de búsqueda apropiadas. En el presente estudio, se tuvieron en cuenta los siguientes elementos:

- Definición de los temas: cada fuente de información se centra en áreas específicas del conocimiento, lo que permite construir ecuaciones de búsqueda más detalladas que generan resultados de mejor calidad en estas áreas.

Tabla 1. Registros y descriptores de las bases usadas

Base de datos	Registros 2000-2004	Campo	Descripción
CAB Abstracts	6.123	DE	Descriptor
ISI	4.219	ID	Identificador
Patentes	3.985	AB	Abstract

- Análisis de los campos: las bases de datos poseen en diferentes campos que presentan los elementos característicos, tanto de los artículos como de las patentes (título, palabras claves, año, autor, resumen, ubicación geográfica, etc.). Sin embargo, cada fuente de información estructura estos campos de manera particular, lo que involucra un análisis separado de los mismos, así coinciden en dos bases de datos distintas.
- Selección de términos descriptivos (tesauros o diccionarios): cada temática posee un vocabulario específico donde es posible identificar, en el interior de un campo semántico, los conceptos representados por más de un término. La identificación de palabras con significados similares reduce de manera significativa la cantidad de palabras claves empleadas en la ecuación de búsqueda y permite a su vez la inclusión de las más adecuadas.

De acuerdo con las ecuaciones de búsqueda construidas para cada fuente de información seleccionada se obtuvo la cantidad de registros presentada en la tabla 1. En esta tabla, también se incluyen los campos analizados en dichas bases.

### Preparación del corpus de la información

La información descargada de las bases de datos fue organizada con editores de texto y posteriormente se realizaron dos procedimientos para simplificar su procesamiento: a) filtro, el cual consiste en la eliminación de palabras que no se consi-

Tabla 2. Países con mayor frecuencia de publicación

No.	País	No. de publicaciones
1	India	847
2	E.U.	475
3	Japón	266
4	Italia	186
5	China	145
6	Francia	134
7	España	133
8	Corea	127
9	Alemania	126
10	Reino Unido	124
11	Canadá	110

deran relevantes y b) identificación de sinónimos en los cuales se agrupan palabras o términos similares en un único término común.

Estos dos procesos se caracterizan por ser los que requieren de más tiempo, y en consecuencia, los más críticos en el proceso. En el taller de vigilancia tecnológica se contó con la ventaja de que esta labor estuvo a cargo de expertos en biotecnología, lo cual otorgó un alto valor a la información resultante. Una vez finalizado este proceso, la información fue incluida en programas especializados para su procesamiento como *Mattheo Analyzer* y *Tetralogie*, cuya licencia es propiedad del grupo IALE. Como resultado, se generaron las gráficas, tablas y mapas que se presentan en el siguiente acápite.

### Análisis de la información

Los resultados del taller de vigilancia tecnológica se analizaron en el siguiente orden, con base en la información presentada por el grupo IALE – Chile: *artículos*: bases de datos CAB Abstracts e ISI.; *patentes*, divididas en tres categorías: patentes concedidas y solicitadas, patentes concedidas, patentes solicitadas.

### Análisis de artículos: base de datos CAB Abstracts

En cuanto a los países con mayor número de publicaciones, en la tabla 2 se relacionan los 11 más importantes. Como puede observarse, la India es el país que lidera las investigaciones en el área agrícola, superando incluso a Estados Unidos, segundo país, seguido de Japón.

En cuanto a las principales revistas en que se publica, en la tabla 3 se señalan las 15 más importan-

tes y sus frecuencias. Además de las revistas científicas, también puede observarse que las memorias de simposios especializados son una fuente importante de divulgación de resultados de la investigación en este campo.

Con el ánimo de hacer una comparación del estado de las publicaciones en Colombia, se seleccionaron los países India, Estados Unidos, y Brasil. A continuación, se presentan los mapas de los países seleccionados, los números dentro de los círculos indican la cantidad de publicaciones.

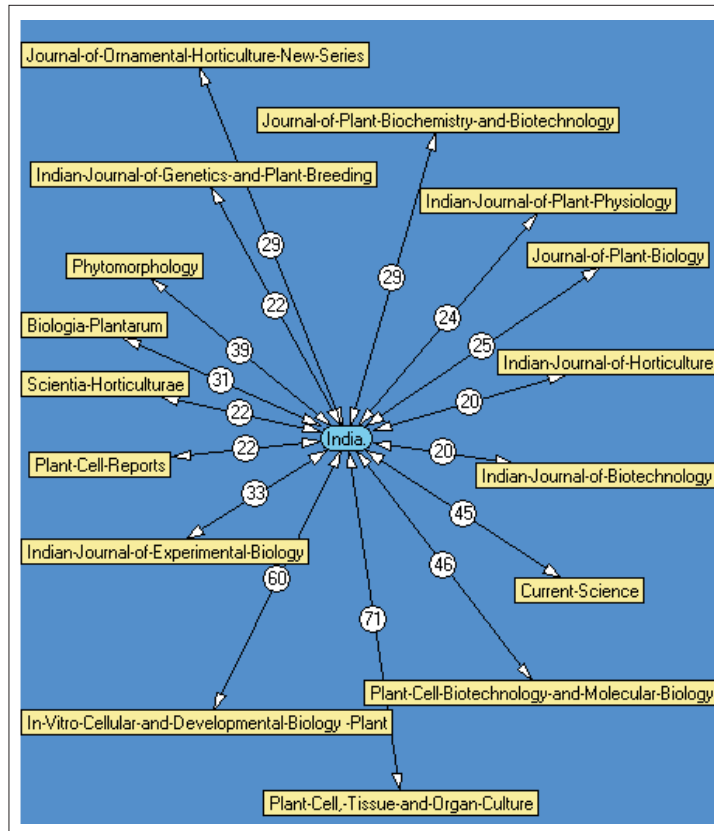
De acuerdo con la figura 1, la India publica en cinco de las revistas más relevantes en el campo de la biotecnología agrícola: *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, en la cual se encuentran el mayor número de publicaciones de este país; *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*; *Plant Cell*

Tabla 3. Principales fuentes de publicación

No.	Medio de publicación titular	Frecuencia
1	Plant Cell, Tissue and Organ Culture	396
2	Acta Horticulturae	393
3	<i>In Vitro</i> Cellular and Developmental Biology Plant	290
4	Plant Cell Reports	253
5	Plant Science	131
6	Biología Plantarum	99
7	Scientia Horticulturae	92
8	Plant Growth Regulation	73
9	Proceedings of the First International Symposium on Acclimatization and Establishment of Micropropagated Plants, Sani-Halkidiki, Macedonia, Greece, 19 -22 September, 2001	72
10	Biosensors and Bioelectronics	67
11	Proceedings of the Fourth International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding, Tampere, Finland, 2-7 July 2000	66
12	Acta Horticulturae	57
13	Journal of Plant Physiology	57
14	Euphytica	55
15	Current Science	53



Figura 1. India: fuentes de publicación con frecuencias mayores a 20



Reports; *Journal of Plant Physiology* y *Current Science*. Además, se encuentran publicaciones nacionales como el *Indian Journal of Experimental Biology*.

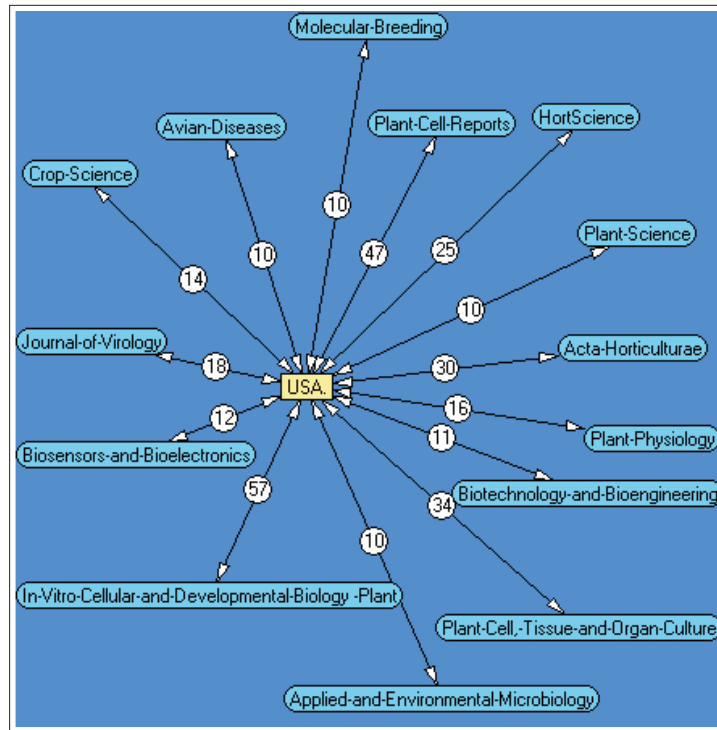
La figura 2 muestra que los artículos científicos de los investigadores de Estados Unidos se han publicado principalmente en *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, revista que ocupa el tercer lugar entre las de mayor cantidad de artículos en la base CAB *Abstracts* (tabla 3).

Así mismo, Estados Unidos publica en las revistas líderes en este campo como *Plant Cell Reports*, la cual incluye 47 artículos en el periodo 2000 – mayo de 2004; *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, con 34 artículos en el mismo periodo; *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, *Plant Science*, *Biosensors and Bioelectronics* y *Acta Horticulturae*.

Brasil, con 73 publicaciones, ha publicado la mayor cantidad de artículos entre 2000 y mayo de 2004 en *Plant Cell Tissue and Organ Culture* (21 publicaciones), revista que ocupa el primer lugar entre las fuentes de publicación de la base CAB *Abstracts* (tabla 3). El número de artículos de investigadores brasileños incluidos en otras revistas es menor: ocho artículos en la revista *Acta Horticulturae*, y seis en *Plant Cell Reports*.

En cuanto a las publicaciones colombianas, la figura 4 muestra que entre 2000 y mayo de 2004, se publicaron un total de 16 artículos, tres de los cuales fueron publicados en la revista *Plant Cell Tissue and Organ Culture* (tabla 3). Las demás revistas en las cuales Colombia ha realizado publicaciones no se incluyen dentro del grupo de las revistas principales.

Figura 2. E.U.: Fuentes de publicación con frecuencias mayores a 10



Estos resultados de la base CAB *Abstracts* permiten concluir que Colombia tiene un muy bajo nivel de publicaciones en el campo de la biotecnología agrícola en las principales revistas a nivel internacional. En total sólo cuenta con 16 publicaciones en revistas científicas indexadas en esta base durante el periodo 2000 – mayo de 2004. Es de anotar que el número de publicaciones colombianas es muy bajo aun teniendo en cuenta que los países seleccionados tienen una población muy superior a la nuestra.

Otro análisis que se realizó en la base CAB *Abstracts* fue seleccionar las principales temáticas en el campo de la biotecnología agrícola y cruzarlo con la frecuencia de aparición de la palabra clave en las publicaciones de los países. En la tabla 4, se presentan los resultados de este análisis.

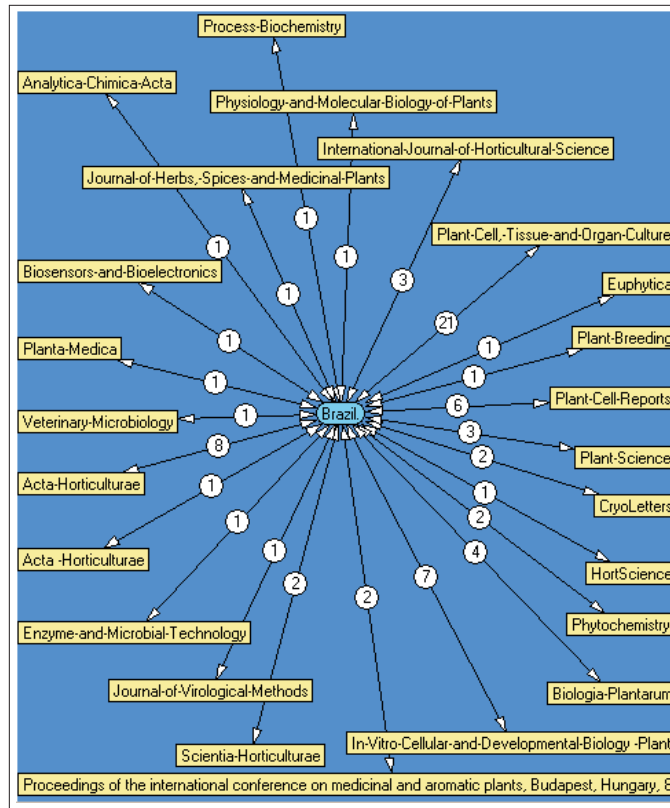
En la anterior tabla, se pueden observar las 15 temáticas que durante el periodo 2000 – mayo de

2004 fueron más trabajadas, y los países que tuvieron una mayor cantidad de publicaciones relacionadas con tales temas. Los desarrollos en cultivo de tejidos son los que más se mencionan en los artículos, siendo India el país líder.

Por otra parte, de acuerdo con los resultados del taller de vigilancia tecnológica, el mayor número de publicaciones relacionadas con el sector agrícola están enfocadas a tópicos como: microorganismos recombinantes, expresión e identificación de genes, proteínas, enzimas, ingeniería genética y bioinsumos, entre otros. En la figura 5, se presentan los resultados de la búsqueda en la base de datos CAB *Abstracts*.

Es importante resaltar que los seis tópicos con mayor número de publicaciones se relacionan con una de las biotecnologías que señalamos como de mayor aplicación, como el cultivo de tejidos vegetales y la multiplicación *in vitro*. Este resultado no

Figura 3. Brasil: fuentes de publicación



sorprende ya que el cultivo de células y tejidos ha servido como herramienta experimental para estudios sobre la división celular, la diferenciación, la fisiología y la bioquímica de las plantas. También, ha sido un desarrollo fundamental para la multiplicación masiva de material de siembra de alta calidad genética y fitosanitaria, como en el caso de los cultivos de flores y de otras especies de propagación asexual, y para la creación de bancos de germoplasma y su conservación *in vitro*. Sin embargo, su mayor impacto, tanto en la investigación fundamental como en la aplicada, está relacionado con la posibilidad que abrió de modificar genéticamente la célula vegetal y recuperar de allí una planta completa. Este desarrollo fue fundamental en la obtención de los OGM.

Por otra parte, al analizar los resultados tratando de identificar las áreas emergentes y decrecientes,

se puede observar que el cultivo *in vitro* no ha perdido vigencia (tabla 5), y que áreas como la identificación de variedades con propiedades antioxidantes se encuentran en ascenso. También es interesante observar la investigación en las propiedades biológicas de la diversidad. Ejemplo de ello es el árbol tropical Neem, del cual se están produciendo compuestos para el cuidado de la salud y se buscan nuevos derivados para el control de plagas y enfermedades humanas. Es importante anotar que este tipo de análisis nos permite determinar campos de estudio que fueron muy intensivos hace algunos años y que se encuentran ahora en descenso; es el caso de los marcadores moleculares como la higromicina, que fue muy utilizada para identificar transformaciones genéticas. Hay que mencionar que los datos de 2004 corresponden solamente al primer semestre y, por lo tanto, no se utilizaron en el análisis.

Figura 4. Colombia: fuentes de publicación

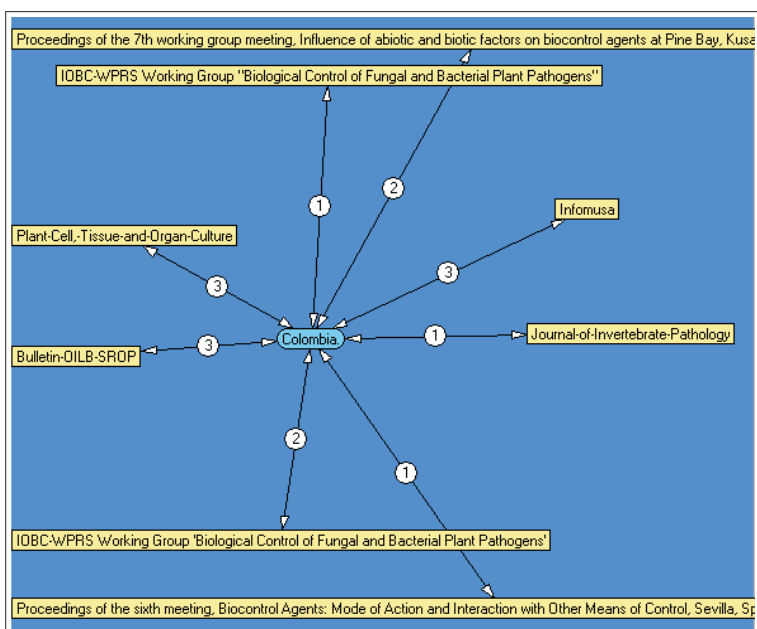


Tabla 4. Temáticas principales por país

No.	Palabra clave	Frecuencia	País
1	Cultivo de tejidos	1546	India
2	Reguladores de crecimiento	621	India
3	Micropropagación	519	India
4	Embriogénesis somática	352	India
5	Enzimas	342	India
6	Ingeniería genética	275	Estados Unidos
7	Explantes	254	India
8	Plantas transgénicas	192	Estados Unidos, India, Corea
9	Plantas medicinales	158	India
10	Análisis genético	143	India
11	Cultivos celulares	140	Estados Unidos, Japón
12	Biosensores	138	Estados Unidos
13	Expresión genética	128	Estados Unidos
14	Pesticidas	123	Estados Unidos, Alemania
15	Organogénesis	106	India

Figura 5. Tópicos con mayor número de publicaciones entre 2000 y 2003

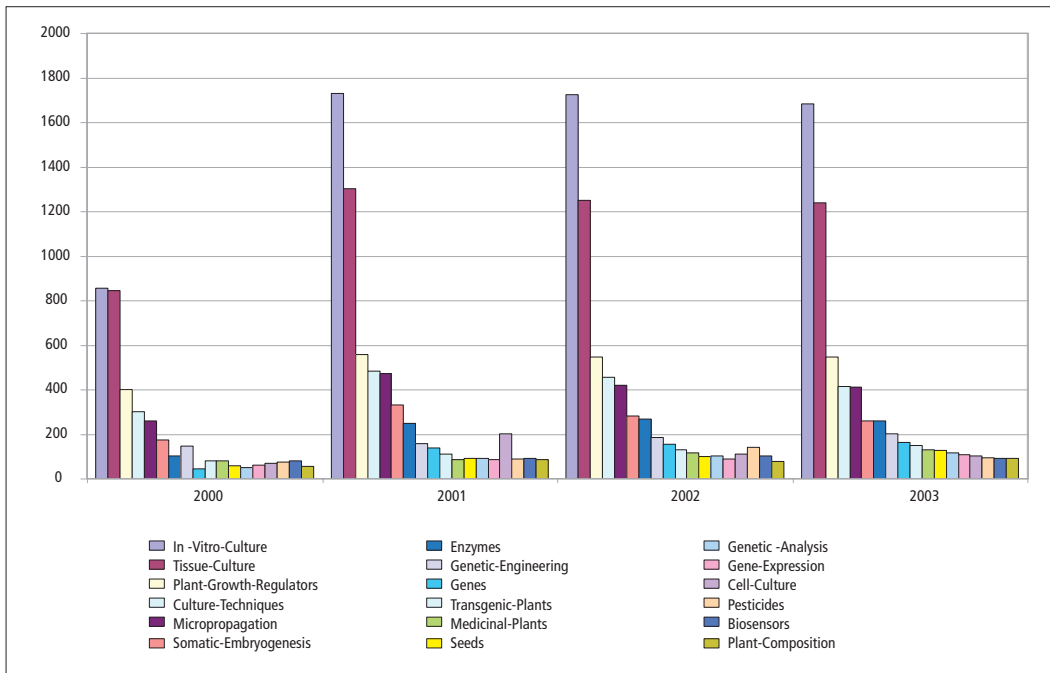
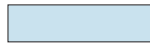


Tabla 5. Áreas crecientes y emergentes

Palabras	Años				
	2000	2001	2002	2003	2004
Producción <i>in vitro</i> .	23	20	29	50	7
Biofertilizantes.	11	22	32	22	2
Árbol tropical Neem.	5	8	8	12	1
Virus.	5	16	18	11	6
Compuestos activos para la industria farmacéutica y otras.		1		5	2
Genómica.			1	5	1
Proliferación celular.		1		4	
Comunidades microbianas.		4	1	4	1
Bacterias solubilizadoras de fosfato.		5	4		
Micorrizas arbusculares.		3		3	1
Silenciamiento de genes.		1	1	3	1
Inmunosensores.			2	3	1
Enzimas.	2	2	6	3	5
Hibridación <i>in situ</i> .		2	2	2	
Nuevos cultivares.		6	4	2	1
Marcadores de selección.	11	4	6	4	3
Higromicina.	5	1		1	
Fitorremediación.	1	3	5	1	1

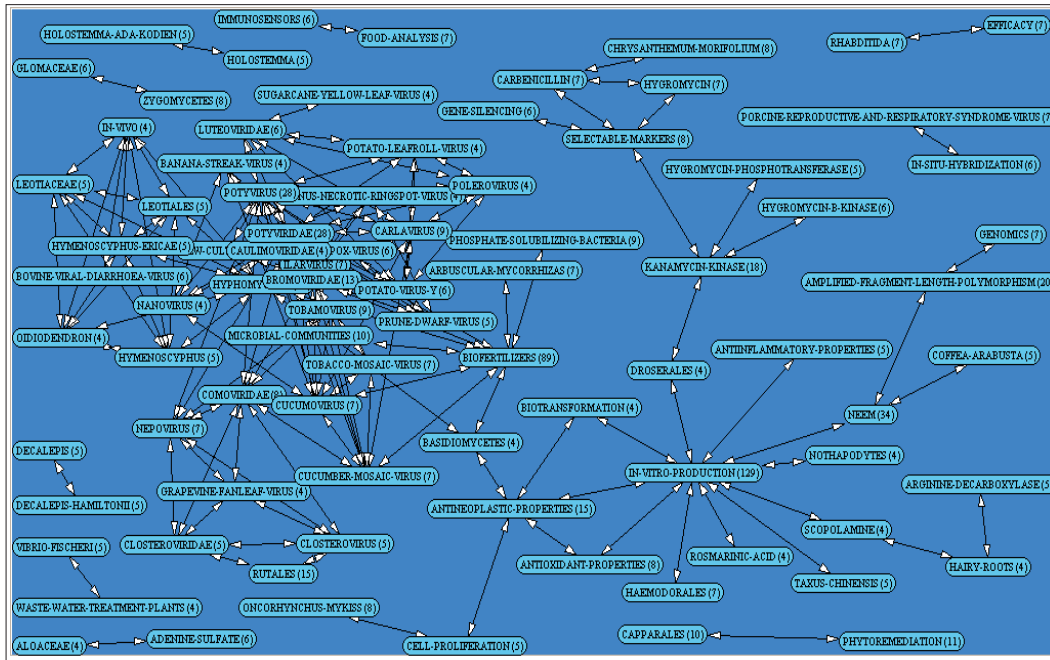


Áreas relevantes



Áreas emergentes

Figura 6. Mapa con cruce de palabras del campo ID (identificador) de la base CAB Abstracts



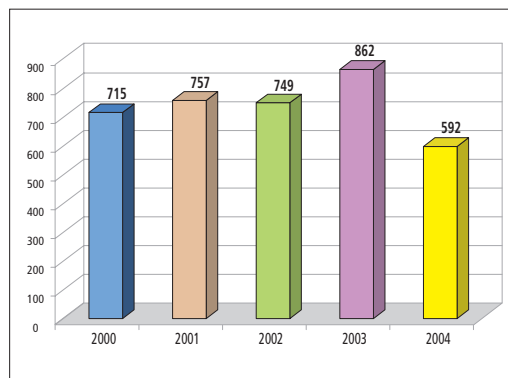
Los estudios de vigilancia tecnológica nos permiten también generar mapas conceptuales en los cuales es posible identificar áreas alrededor de las cuales se están generando *clusters* de conocimiento. En la figura 6, se presenta un mapa de conocimiento que permite observar estos *clusters*, siendo los más fuertes, en su orden, el que se refiere al estudio de diferentes virus en plantas y el de animales. Otro núcleo en torno al cual también gira la investigación en plantas es el relacionado con el cultivo celular *in vitro*, el cual tiene sentido, ya que independientemente de la tecnología empleada para generar nuevas plantas, es necesario propagarlas antes de pasar a campo. Adicionalmente, se debe resaltar que los biofertilizantes son un punto focal en la aplicación de los resultados de investigaciones en otros campos.

### Análisis de artículos: base de ISI

Dado su carácter interdisciplinario, la base de datos ISI se convierte en un punto de referencia para realizar análisis de temáticas específicas en biotecnología. Las publicaciones indexadas en es-

ta base han aumentado y la tendencia continúa en esta dirección, como se visualiza en la figura 7 para el periodo 2000–2004, teniendo en cuenta que para 2004 se analizó el primer semestre.

Figura 7. Cantidad de artículos de la base ISI



De acuerdo con la información de la base ISI, el grupo de países que tiene mayor cantidad de publicaciones está encabezado por Estados Unidos, Alemania y Reino Unido. En la tabla 6, se presentan los 11 países que más publican artículos científicos en revistas sobre biotecnología indexadas en la base ISI.

**Tabla 6.** Países líderes a nivel mundial en cantidad de publicaciones

No.	Países	Frecuencia
1	E.U.	1.062
2	Alemania	259
3	Reino Unido	251
4	Francia	167
5	Italia	142
6	Japón	133
7	Canadá	121
8	España	104
9	India	103
10	Holanda	98
11	Brasil	90

Al igual que con la información obtenida en la base de datos CAB *Abstracts*, se identificaron las publicaciones con mayor cantidad de artículos en biotecnología. Esta información se cruzó con los países líderes de la tabla 6, para identificar las revistas en las cuales estos países publican la mayor cantidad de artículos (tabla 7).

Se observa en la tabla 7 que Estados Unidos aparece en casi la totalidad de las revistas con mayor frecuencia de publicación, con una cantidad de artículos superior a la de otros países. Suiza, Reino Unido, Alemania, Brasil e Italia también se destacan por el número de trabajos incluidos en alguna de las principales revistas. La revista más utilizada para publicaciones en el campo de la biotecnología es *Nature Biotechnology*, seguida de *Biotechnology and Bioengineering* y del *Journal of Biotechnology*. Es interesante que la cuarta revista en la cual se publican temas relacionados con biotecnología esté relacionada con políticas (tabla 7). Los temas en los cuales se está trabajando activamente incluyen enzimas, biotecnología agrícola, regulación genética, expresión, bioseguridad y valoración de riesgo y bioinformática, entre otros. También es importante resaltar que en las revistas especializadas en biotecnología se están publicando temas como innovación, bioética y propiedad intelectual.

No es sorprendente que una de las áreas más relevantes en biotecnología sea la expresión genética (tabla 8). Como se sabe, el conocimiento básico sobre las reglas que controlan la expresión de una proteína determina su producción a gran escala. En este sentido, es también claro que el estudio en *E. coli* y *S. cerevisiae* sea intensivo, puesto que son estos microorganismos los más utilizados en su producción.

En cuanto a campos emergentes, es también de resaltar la ingeniería metabólica y la nanotecnología, campos novedosos que seguramente traerán grandes avances a todo nivel en los años por venir. Otra área en la cual se nota un aumento en el número de publicaciones en los últimos años es la biotecnología aplicada para mejorar el medio ambiente. Como se ha visto en el capítulo de Delphi, esta área puede tener un impacto grande para la biotecnología en el país (tabla 9).

En la tabla 9 las palabras *entrepreneurship* y *nanotechnology* son áreas crecientes, puesto que van desde una o dos publicaciones en 2001 hasta tres o cuatro en el primer trimestre de 2004. Por otra parte, las palabras *transglutaminase* y *lactic acid* son áreas emergentes, ya que sólo hasta 2003 se registran publicaciones relacionadas con estas palabras y se ve una tendencia creciente hasta 2004.

#### Mapas de conocimiento temáticos

En la figura 8, se presenta el mapa conceptual resultante del cruce entre las palabras del campo ID (identificador) de la base de datos ISI; las barras rojas señalan la frecuencia de aparición de cada palabra en este campo, los números indican las coocurrencias existentes entre dos palabras, y las líneas claras indican las mayores coocurrencias.

Los círculos indicados en el mapa señalan las palabras con mayores frecuencias (mayor longitud de las barras rojas). Al analizar estas palabras y sus relaciones, se observa que la biotecnología se apoya en gran medida en las ciencias básicas,

Tabla 7. Fuentes de publicación vs. países líderes

Frec.	Publicaciones líderes	Países líderes									
		USA	Alemania	Reino Unido	Suiza	Francia	Holanda	Italia	Japón	España	Brasil
79	Nature Biotechnology	28	4	3		3	2		4	1	2
55	Biotechnology and Bioengineering	18	6	2	7		3		1	2	1
46	Journal of Biotechnology	4	12	4	4	4		4		4	
38	Research Policy	15	2	1		6	2	3	1		
36	Applied and Environmental Microbiology	10	6	2	2	4	1	1	1	4	
31	Applied Biochemistry and Biotechnology	6	1			2		1	1	1	9
29	Proceedings of The National Academy of Sciences of The USA	25	1								
29	In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant	4							1		
28	Journal of Agricultural & Environmental Ethics	7	1	3		1	4				
26	Biotechnology Progress	8		1	2			4	1		1
26	New Genetics and Society	1	1	14		1	1				
26	Journal of Applied Microbiology		2			2		6		2	3
24	Journal of Biological Chemistry	6	4	1				1	1		
23	Applied Microbiology and Biotechnology		4	1	1	2			3	1	
23	Chimia		3		18						
22	Trends in Biotechnology	9		5							1
22	Journal of Agricultural and Food Chemistry	7	1			2	1	4		2	
21	Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology	10	2			2	1			1	2
20	Analytical Biochemistry	10	1					1	3		
	TOTAL	168	51	37	34	29	15	25	17	18	19

en donde resultan temas fundamentales como los microorganismos, la expresión e identificación de genes, las proteínas, las enzimas y el metabolismo, entre otros.

De otro lado, en el mapa conceptual por tecnologías (ver figura 9), se puede observar que los elementos de gestión e innovación aparecen con un elevado número de coocurrencias. Esto señala que, además de los resultados propios de su quehacer científico, los investigadores también publican artículos sobre temas de gestión en investigación.

### Análisis de patentes concedidas y solicitadas

Una forma de medir el nivel de conocimiento y el capital intelectual de un país es la cantidad de patentes que se registran. Por esta razón, y como uno de los insumos fundamentales para el Direccionamiento Estratégico de la Biotecnología en Colombia, se utilizó para este estudio la base de datos Thomson Delphion. La información ha sido extraída principalmente de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos y la Oficina de Patentes Europea. Se encuentra clasificada



Tabla 8. Temáticas relevantes en biotecnología

Palabras clave	Año de publicación				
	2000	2001	2002	2003	2004
Expresión genética	33	50	51	56	53
Escherichia coli	33	29	28	37	29
Innovation	14	15	15	30	22
Saccharomyces cerevisiae	7	8	10	21	15
Enzimas	10	9	9	13	16
Industria	9	11	8	18	8
Clonaje	5	16	5	13	15
Transformación	14	9	13	12	6

Tabla 9. Áreas emergentes

Palabras clave	Año de publicación				
	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Metabolic engineering</i>	3	2		7	3
<i>Entrepreneurship</i>		1	2	6	3
<i>Nanotechnology</i>		2	2	5	4
<i>Gene flow</i>				5	1
<i>Environment</i>	2		3	3	6
<i>Lactic acid</i>				1	3
<i>Transglutaminase</i>				1	3
<i>Gene therapy</i>	2	2	3	2	5
Áreas crecientes	Áreas emergentes				

Figura 8. Mapa de conocimiento con palabras en el campo ID (identificador) de la base ISI

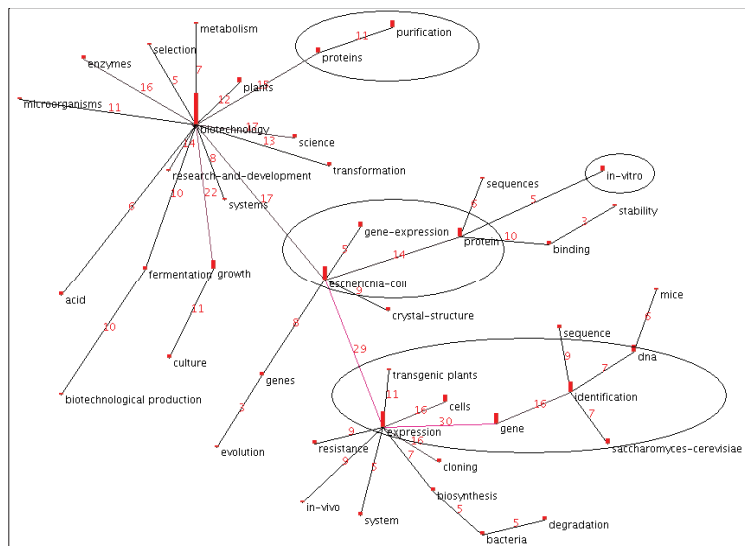
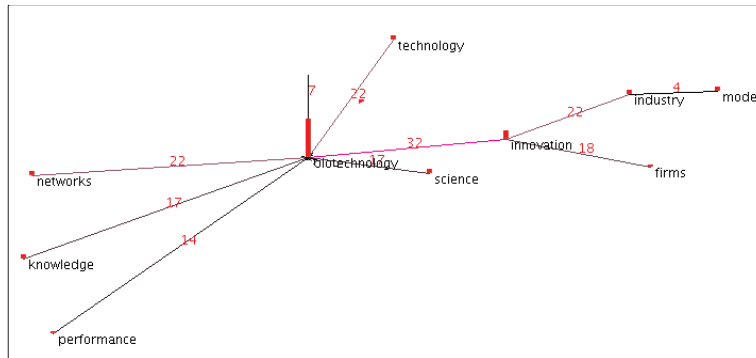


Figura 9. Detalle del mapa de conocimiento con palabras en el campo ID (base ISI)



en dos categorías principales: patentes solicitadas y concedidas. Para el caso de vigilancia tecnológica en biotecnología, se seleccionaron las dos categorías de la oficina de patentes norteamericana y solamente las patentes concedidas de la oficina europea.

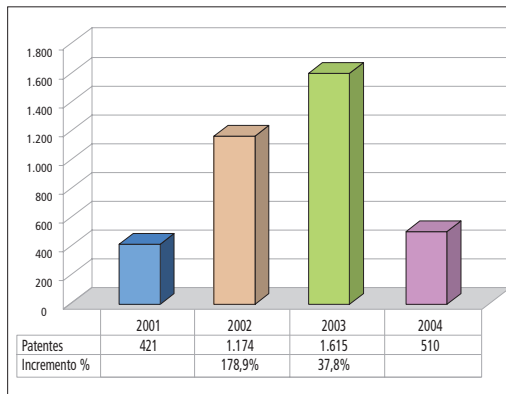
La frecuencia total de la publicación de patentes (tanto solicitadas como concedidas), brinda una idea inicial de las tendencias que se pueden estar generando al interior de una temática específica.

En la figura 10, se resalta una tendencia creciente en las patentes solicitadas y concedidas en biotecnología. Por otro lado, el año 2004 (mayo) presenta un comportamiento similar al año 2003, si es proyectado de manera constante y lineal a 12 meses.

De acuerdo con las frecuencias por países, Estados Unidos es el país con mayor número de patentes solicitadas y concedidas (2.250). Con el fin de visualizar mejor la información de los otros países, en la tabla 10 se excluyen los datos de este país.

En Europa se encuentra más de la mitad de los países que patentan, seguido por Asia con una cuarta parte y América, Oceanía y África con la otra cuarta parte. Aunque los países europeos poseen la mayor cantidad de patentes en biotecnología,

Figura 10. Evolución de la cantidad total de patentes solicitadas y concedidas



su producción conjunta no supera las 2.250 publicaciones de Estados Unidos en esta área.

En la tabla 11, se presentan los titulares de patentes que aparecen en la base Thomson Delphion con más de 25 registros durante el periodo comprendido entre 2001 y el segundo bimestre de 2004. La empresa de productos farmacéuticos Millennium Pharmaceuticals Inc. posee la mayor cantidad de patentes, muy superior a las demás empresas y personas que tienen cantidades importantes de registros. Se destaca la presencia de la Universidad de California entre los principales titulares de patentes, y su dinámica constante de patentamiento en el periodo analizado.

Tabla 10. Países con mayor cantidad de patentes solicitadas y concedidas excluyendo a Estados Unidos

No.	País	Frecuencia	No.	País	Frecuencia
1	Alemania	200	15	Finlandia	19
2	Gran Bretaña	126	16	Nueva Zelanda	17
3	Japón	122	17	España	11
4	Canadá	119	18	Italia	9
5	Francia	76	19	China	7
6	Australia	75	20	Austria	6
7	Suiza	57	21	India	6
8	Bélgica	42	22	Federación Rusa	6
9	Países Bajos	38	23	Islandia	5
10	Dinamarca	35	24	Brasil	4
11	Corea del Sur	35	25	Singapur	4
12	Suecia	32	26	Sudáfrica	3
13	Israel	26	27	Hungría	3
14	Taiwán	22	28	Colombia	3

Tabla 11. Principales titulares de las patentes solicitadas y concedidas

No.	Titulares	2001	2002	2003	2004	Total
1	Millennium Pha	17	109	146	28	300
2	Pioneer Hi-Bred Int.	19	18	33	9	79
3	Meyers Rachel	1	55	12		68
4	Allen Keith	1	34	30		65
5	Monsanto	13	11	30	8	62
6	University of California	12	26	17	3	58
7	Syngenta	10	8	17	10	45
8	Jakobovits Aya		5	21	13	39
9	Curtis Rory		29	10		39
10	Raitano Arthur B.		2	23	12	37
11	Faris Mary		4	21	11	36
12	Challita-Eid Pia		4	19	11	34
13	Hubert Rene S.		4	22	8	34
14	Synaptic Pharmaceutical	5	14	12	1	32
15	Recipon Herve		15	15	1	31
16	Sun Yongming		15	15	1	31
17	E.I. Du Pont	6	9	12	3	30
18	Liu Chenghua		15	14	1	30
19	Kapeller-Libermann Rosana	17	10	1	28	
20	Glucksmann María		17	9		26

### Principales áreas de la biotecnología con base en la clasificación internacional de patentes (CIP)

Con el fin de identificar las áreas tecnológicas de importancia se toma el campo IC (código asignado para la patente de acuerdo con la clasificación internacional). Según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual – OMPI<sup>1</sup>, el CIP es un sistema jerárquico donde el ámbito de la tecnología se divide en una serie de secciones, clases, subclases y grupos. Este sistema es indispensable para recuperar documentos de patente en la búsqueda para establecer la novedad de una invención o determinar el estado de la técnica en un ámbito específico de la tecnología. La tabla 12 presenta las áreas tecnológicas generales con mayor frecuencia de aparición (código CIP y descripción).

En cuanto a las patentes solicitadas y concedidas, los resultados del análisis muestran que éstas se

relacionan fundamentalmente con los mismos campos de aplicación:

- Novedades vegetales o procedimientos para su obtención.
- Reproducción de plantas por técnicas de cultivo de tejidos.
- Microorganismos o enzimas; composiciones que los contienen, procesos de fermentación o procesos que utilizan enzimas para la síntesis de un compuesto químico dado o de una composición dada, o para la separación de isómeros ópticos a partir de una mezcla racémica.
- Cría; avicultura; piscicultura; apicultura; pesca; obtención de animales, no prevista en otro lugar; nuevas razas de animales, técnicas de mutación o de ingeniería genética.
- ADN o ARN relacionado con la ingeniería genética, vectores, por ejemplo, plásmidos, o su

<sup>1</sup> <http://www.wipo.int/classifications/ipc/es/>

Tabla 12. Principales áreas tecnológicas generales

No.	Área general	Frecuencia	Descripción del código*
1	C12N	5997	Microorganismos o enzimas; composiciones que los contienen.
2	A01H	1772	Novedades vegetales o procedimientos para su obtención; reproducción de plantas por técnicas de cultivo de tejidos.
3	C07H	1673	Azúcares; sus derivados; nucleósidos; nucleótidos; ácidos nucleicos.
4	C12P	1181	Procesos de fermentación o procesos que utilizan enzimas para la síntesis de un compuesto químico dado o de una composición dada, o para la separación de isómeros ópticos a partir de una mezcla racémica.
5	C07K	1150	Péptidos.
6	A61K	870	Preparaciones de uso médico, dental o para el aseo.
7	C12Q	865	Procesos de medida, investigación o análisis en los que intervienen enzimas o microorganismos (ensayos inmunológicos g 01 n 33/53); composiciones o papeles reactivos para este fin; procesos para preparar estas composiciones; procesos de control sensibles a las condiciones del medio en los procesos microbiológicos o enzimológicos [3].
8	A01K	697	Cría; avicultura; piscicultura; apicultura; pesca; obtención de animales, no prevista en otro lugar; nuevas razas de animales.

\*Fuente: OMPI, <http://www.wipo.int/bis/ipc7beta6/index.es.php>

- aislamiento, su preparación o su purificación; utilización de huéspedes para ello.
  - Plantas con flores, es decir, angiospermas (transgénicas o nuevas variedades).
  - Células no diferenciadas humanas, animales o vegetales, por ejemplo, líneas celulares; tejidos, su cultivo o conservación; y medios de cultivo para este fin.
  - Genes que codifican proteínas vegetales, por ejemplo, taumatina.
- La descripción de las áreas tecnológicas puede realizarse de forma detallada, puesto que se cuenta con los códigos de clasificación específica. Las áreas específicas se presentan en la tabla 13.

### Áreas tecnológicas de las patentes de Colombia

Colombia sólo presenta tres registros en patentes consignadas en esta base de datos, ninguna de ellas concedida. No obstante estar Colombia muy

Tabla 13. Principales áreas tecnológicas

No.	Área específica	FREC	Descripción del código
1	12N 15	872	Técnicas de mutación o de ingeniería genética; ADN o ARN relacionado con la ingeniería genética, vectores, p. ej. plásmidos, o su aislamiento, preparación o purificación; utilización de huéspedes para ello.
2	C12N 5	1871	Células no diferenciadas humanas, animales o vegetales, p. ej., líneas celulares; tejidos; su cultivo o conservación; medios de cultivo para este fin.
3	C07H 21	1649	Compuestos que contienen al menos dos unidades mononucleótido que tienen cada una grupos fosfato o polifosfato distintos unidos a los radicales sacárido de los grupos nucleósido, p. ej., ácidos nucleicos.
4	A01H 5	1145	Plantas con flores, es decir, angiospermas.
5	C12P 21	1041	Preparación de péptidos o de proteínas.
6	C12N 9	921	Enzimas, p. ej., ligasas (6.); proenzimas; composiciones que las contienen. Procesos para preparar, activar, inhibir, separar o purificar enzimas.
7	C12Q 1	862	Procesos de medida, investigación o análisis en los que intervienen enzimas o microorganismos; composiciones para este fin; procesos para preparar estas composiciones.
8	C07K 14	708	Péptidos con más de 20 aminoácidos; gastrinas; somatostatinas; melanotropinas; sus derivados.
9	A01K 67	691	Cría u obtención de animales, no prevista en otro lugar; nuevas razas de animales.
10	G01N 33	629	Investigación o análisis de materiales por métodos específicos no cubiertos por los grupos precedentes.
11	A01H 1	549	Procedimientos de modificación de los genotipos.
12	C12N 1	282	Microorganismos en sí, p. ej., protozoos; composiciones que los contienen; Procesos de cultivo o conservación de microorganismos, o de composiciones que los contienen; procesos de preparación o aislamiento de una composición que contiene un microorganismo; sus medios de cultivo.
13	C07K 16	267	Inmunoglobulinas, p. ej., anticuerpos mono o policlonales
14	A61K 38	264	Preparaciones medicinales que contienen péptidos
15	A61K 39	198	Preparaciones medicinales que contienen antígenos o anticuerpos.
16	A61K 48	189	Preparaciones medicinales que contienen material genético que se introduce en las células del cuerpo vivo para tratar enfermedades genéticas; terapia génica.
17	A61K 31	129	Preparaciones medicinales que contienen ingredientes orgánicos activos.
18	C12P 19	92	Preparación de compuestos que contienen radicales sacárido.
19	C07K 1	74	Procedimientos generales de preparación de péptidos.
20	C07K 17	47	Péptidos fijados sobre un soporte o inmovilizados; su preparación.
21	A01N 63	41	Biocidas, productos que repelen o atraen a los animales perjudiciales, o reguladores del crecimiento de los vegetales, que contienen microorganismos, virus, hongos microscópicos, enzimas, productos de fermentación o sustancias obtenidas por, o extraídas de, microorganismos o de sustancias animales.
22	C12N 7	38	Virus, p. ej., bacteriófagos; composiciones que los contienen; su preparación o purificación.
23	C02F 3	38	Tratamiento biológico del agua, agua residual o de alcantarilla.
24	A01N 37	34	Biocidas, productos que atraen o repelen a los animales perjudiciales, o reguladores del crecimiento de los vegetales, que contienen compuestos orgánicos que tienen un átomo de carbono que posee tres enlaces a heteroátomos, con a lo más dos enlaces a un halógeno, p. ej., ácidos carboxílicos.
25	A01N 43	29	Biocidas, productos que atraen o repelen a los animales perjudiciales, o reguladores del crecimiento de los vegetales, que contienen compuestos heterocíclicos.

lejos de los países líderes, está en el promedio con relación a otros países de Latinoamérica, como México con tres patentes, o Brasil con cuatro. Por esta razón, se identificaron las áreas tecnológicas comunes entre estos países y las interrelaciones que existen entre ellos. También se incluyó la India, por su importancia en cuanto a publicaciones científicas en el campo agrícola. Los resultados de este proceso de identificación de áreas comunes de trabajo y su frecuencia de aparición se aprecian en la figura 11.

Es importante resaltar que las áreas tecnológicas comunes entre los países corresponden a aquellas que poseen una mayor aparición en las patentes que han publicado. En la tabla 14, se presentan los contenidos tecnológicos correspondientes a las áreas comunes entre Colombia y los demás países.

Este análisis nos permite concluir que las patentes colombianas están relacionadas con la agricultura y han sido solicitadas principalmente por la Federación Nacional de Cafeteros, relacionadas con transformación genética de café (figura 12).

### Patentes concedidas

Al analizar la información sobre patentes en biotecnología concedidas por las oficinas de Estados Unidos y Europa, resalta la superioridad de Estados Unidos respecto a Alemania (segundo país que más patentes concedidas posee), la cual registra menos del 10% del volumen que Estados Unidos genera (figura 13).

Con relación a los titulares de las patentes concedidas, los líderes a nivel mundial en la base Thomson Delphion se presentan en la tabla 15.

Figura 11. Áreas tecnológicas relacionadas entre México, Brasil, India y Colombia

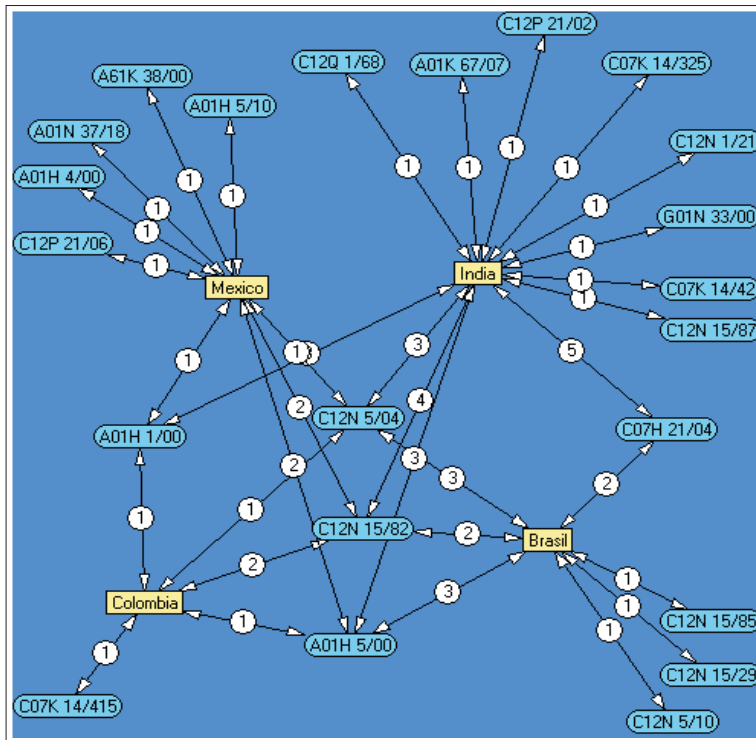


Tabla 14. Descripción de las áreas tecnológicas comunes de Colombia con otros países

<b>A: NECESIDADES CORRIENTES DE LA VIDA</b>	
A01: Agricultura; silvicultura; cría; caza; captura; pesca.	
A01H	Novedades vegetales o procedimientos para su obtención; reproducción de plantas por técnicas de cultivo de tejidos.
A01H 1	Procedimientos de modificación de los genotipos.
A01H 5	Plantas con flores, es decir, angiospermas.
<b>C: QUÍMICA; METALURGIA</b>	
C12: Bioquímica; cerveza; bebidas alcohólicas; vino; vinagre; microbiología; enzimología; técnicas de mutación o de genética.	
C12N	Microorganismos o enzimas; composiciones que los contienen.
C12N 5	Células no diferenciadas humanas, animales o vegetales, p. ej., líneas celulares; tejidos; su cultivo o conservación; medios de cultivo para este fin. <i>C12N 5/04 Células o tejidos vegetales.</i>
C12N 15	Técnicas de mutación o de ingeniería genética; ADN o ARN relacionado con la ingeniería genética, vectores, p. ej. plásmidos, o su aislamiento, preparación o purificación; utilización de huéspedes para ello. <i>C12N 15/82. Para células vegetales.</i>

Figura 12. Titulares de las patentes solicitadas por Colombia

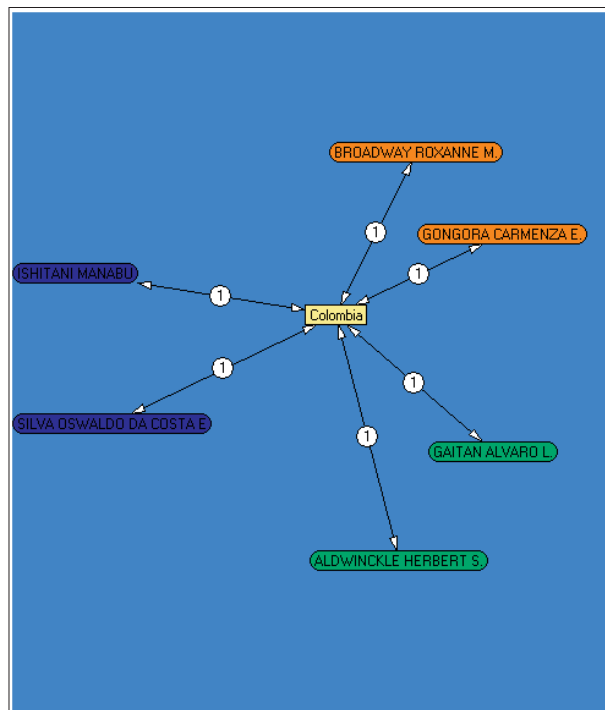
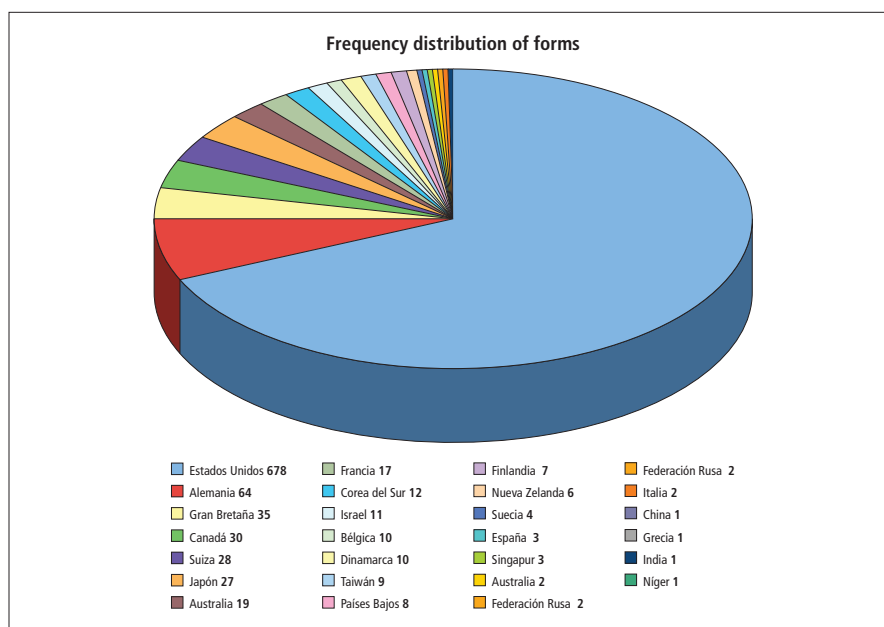


Figura 13. Países líderes en patentes concedidas



Es de resaltar que la mayoría de patentes son concedidas a grandes multinacionales como Millennium Pharma, Pioneer, Monsanto, entre otras, y están relacionadas con desarrollos científicos en el sector farmacéutico y agrícola. Es interesante, también, que entidades públicas como la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos y universidades estatales como la de California y Cor-

nell sean titulares de patentes (tabla 15). Las principales áreas tecnológicas en cuanto a patentes concedidas incluyen las cinco áreas en las que Colombia ha patentado, que se resaltan en la tabla 16. Al observar las dinámicas a través de los años, se puede apreciar que estas áreas presentan un volumen de publicación significativo y en casos como el área C12N 15/82, existe un incremento

Tabla 15. Principales titulares de patentes concedidas

No.	Institución	Frec.
1	Millennium Pharma	76
2	Pioneer Hi-Bred International, Inc.	50
3	The regents of the University of California	38
4	Monsanto	33
5	E.I. Du Pont de Nemours and Co.	27
6	Syngenta Participations Ag.	21
7	Dekalb Genetics Co.	19
8	Synaptic Pharmaceutical Corporation	14
9	Cornell Research Foundation, Inc.	13
10	The United States of America as represented by the Secretary of Agriculture	13
11	Agrigenetics Inc.	12
12	The General Hospital Corp.	11
13	Planttec Biotechnologie	10



Tabla 16. Áreas principales y su dinámica en el periodo 2001-2004

No.	Frecuencia	Área	2001	2002	2003	2004	Descripción
1	438	C12N 15/82	113	95	132	33	Técnicas de mutación o de ingeniería genética para células vegetales.
2	429	A01H 5/00	108	102	131	32	Procedimientos de modificación de genotipos en angiospermas.
3	210	C07H 21/04	51	58	66	10	Ácidos nucleicos con desoxirribosilo como radical sacárido.
4	196	C12N 15/29	58	46	56	11	Técnicas de mutación o de ingeniería genética para genes que codifican proteínas vegetales.
5	159	C12N 5/04	43	47	50	5	Células o tejidos vegetales.
6	113	A01H 5/10	25	23	39	13	Reproducción de granos por técnicas de cultivo de tejidos.
7	105	A01H 1/00	26	24	39	5	Procedimientos de modificación de los genotipos.

Tabla 17. Relación de la áreas tecnológicas colombianas con otras áreas

Áreas Colombianas Áreas Relacionadas	A01H 5/00	A01H 1/00	C12N 15/82	C12N 5/04	Descripción
A01H 5/10	51	16	43	21	Reproducción de granos por técnicas de cultivo de tejidos.
C07H 21/04	19	12	23		Ácidos nucleicos con desoxirribosilo como radical sacárido.
C12N 15/09	13		14		Tecnología del ADN recombinante.
C12N 15/29	60		62	16	Técnicas de mutación o de ingeniería genética para genes que codifican proteínas vegetales.
C12N 15/31	13		15		Técnicas de mutación o de ingeniería genética para genes que codifican proteínas microbianas.
C12N 15/54	13		14		Técnicas de mutación o de ingeniería genética para transferasas.
C12N 5/10	19		20		Reproducción de granos por técnicas de cultivo de tejidos.

superior al 30% en el periodo de tiempo comprendido entre 2002 y 2003.

Al realizar un cruce entre las áreas tecnológicas en las cuales Colombia ha presentado solicitud de patente y las áreas de patentes concedidas (tabla 17), es posible identificar aquellas que podrían motivar escenarios de desarrollo tecnológico y de transferencia tecnológica (se resaltan las áreas en donde hay una mayor relación).

### Patentes solicitadas

Las patentes solicitadas abarcan aquellas a las cuales se les ha efectuado un documento público de solicitud formal, pero no incluye las patentes rechazadas ni las concedidas. Este análisis permite ver áreas emergentes de la biotecnología. En total se trabajó con 2864 registros, cuya dinámica en el periodo 2001 a 2004 (segundo bimestre) se observa en la tabla 18, resaltándose el aumento en solicitudes de patentes durante el año 2003 en la oficina de patentes de Estados Unidos.

Tabla 18. Dinámica en el tiempo de las patentes solicitadas

Oficina de patentes	Cantidad de patentes solicitadas	2001	2002	2003	2004
Oficina Europea	287	60	90	76	14
Oficina de Estados Unidos	2.577	67	813	1.056	280
Total registros	2.864				

Figura 14. Países con mayor cantidad de patentes solicitadas

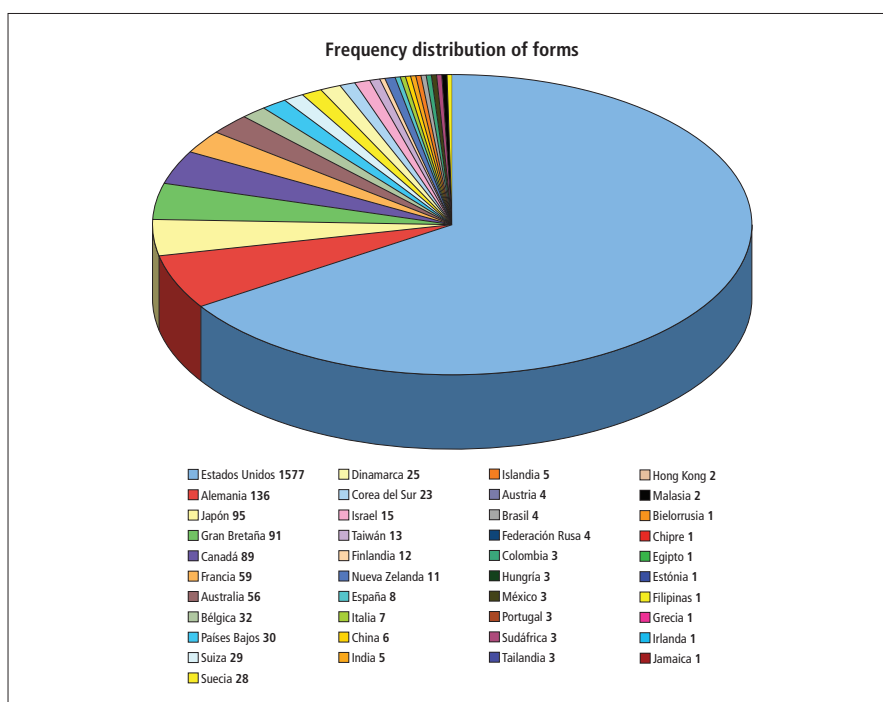
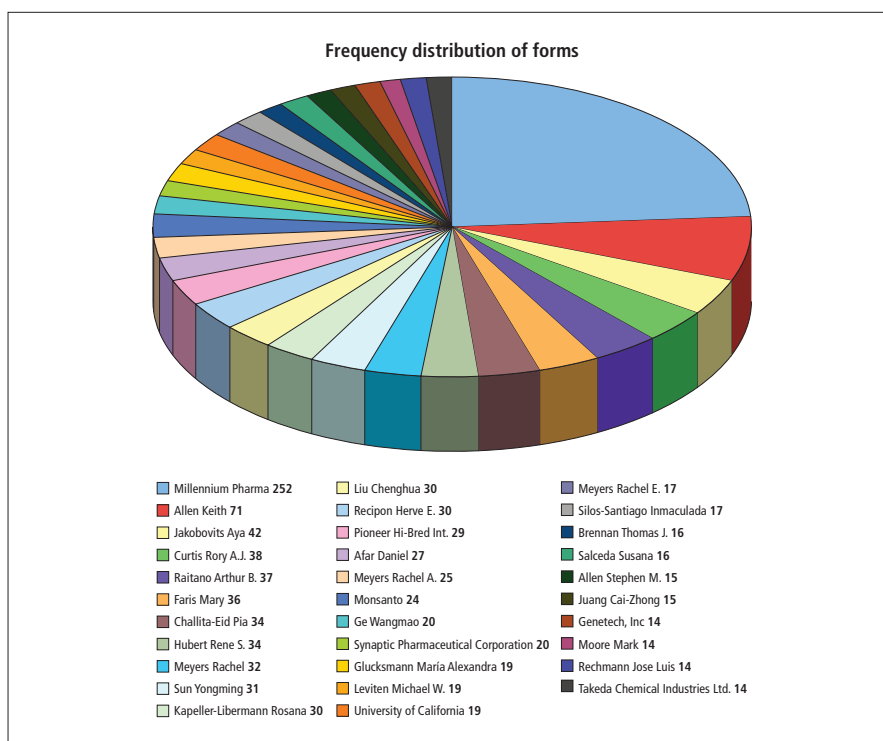


Figura 15. Principales titulares de patentes solicitadas



Con relación a los países que más solicitudes presentaron durante este período, se observa en la figura 14 que Estados Unidos es líder (al igual que con las patentes concedidas), con un 65,79% de las solicitudes a nivel mundial, seguido por Alemania, con un 5,67%. Japón (3,96%) superó a la Gran Bretaña con el 3,8%, y a Canadá con el 3,71%; el primer país latinoamericano es Brasil, con 1,34%, seguido por Colombia, con el 1,21% de las solicitudes de patentes.

Igual que en el caso de patentes concedidas, el principal titular de patentes solicitadas es la empresa Millennium Pharmaceuticals Inc. En la figura 15, se muestran los titulares con mayor cantidad de solicitudes de patentes.

De manera similar al procedimiento de análisis realizado con las patentes concedidas, en la tabla 19 se presentan las principales áreas tecnológicas identificadas en las patentes solicitadas, resaltando las áreas

que corresponden a las patentes solicitadas por Colombia. El campo de la modificación de ácidos nucleicos tiene el mayor número de patentes solicitadas, esto no es de extrañar puesto que la innovación en técnicas que implican hibridación molecular como los microarreglos, o la PCR en tiempo real necesitan este tipo de compuestos. Otra área en la cual aumenta la solicitud de patentes es la de células o líneas celulares, esto debido a los trabajos intensivos con células madre.

En cuanto a las áreas en las cuales Colombia ha solicitado patentes, éstas tienen frecuencias altas.

Cuando se analizan las patentes concedidas y las solicitadas, se hace evidente que tecnologías como procedimientos de modificación de genotipos en angiospermas y técnicas de mutación o de ingeniería genética en células vegetales está siendo muy estudiada. Estas tecnologías están directamente relacionadas con una de las áreas de

mayor impacto comercial de la biotecnología, como son las plantas transgénicas. También se puede observar en las tablas 20 y 21 que tecnologías como el cultivo de tejidos vegetales han venido decreciendo en los últimos años, áreas como la C12N 5/04 y C12Q 1/68 tienen una dinámica

en decaimiento en las solicitudes, pero su concesión está en aumento debido al plazo correspondiente entre la solicitud y la concesión. El período comprendido entre la solicitud de la patente y la concesión de la misma está entre dos y tres años.

Tabla 19. Principales áreas tecnológicas en patentes solicitadas

No.	Área	Frecuencia	Descripción
1	C07H 21/04	1298	Compuestos como ácidos nucleicos con desoxirribosilos modificados.
2	C12N 5/06	834	Células o tejidos animales.
3	C12P 21/02	833	Preparación de péptidos o de proteínas que tienen una secuencia conocida de varios aminoácidos.
4	C12Q 1/68	660	Composiciones o procesos en los que intervienen ácidos nucleicos.
5	C12N 15/82	625	Técnicas de mutación o de ingeniería genética para células vegetales.
6	A01H 5/00	557	Procedimientos de modificación de genotipos en angiospermas.
7	C12N 5/04	412	Células o tejidos vegetales.
8	A01H 1/00	404	Procedimientos de modificación de los genotipos.
9	A01K 67/027	361	Cría u obtención de nuevas razas de vertebrados.
10	G01N 33/53	216	Ensayos inmunológicos.
11	A01K 67/00	190	Procedimientos de reproducción o de fertilización para cría u obtención de razas de animales.
12	A61K 48/00	175	Preparaciones medicinales que contienen material genético que se introduce en las células del cuerpo vivo para tratar enfermedades genéticas; terapia génica.
13	C07K 14/705	173	Receptores. Antígenos celulares de superficie. Determinantes celulares de superficie.
14	C12N 9/00	139	Enzimas, p. ej., ligasas. Proenzimas; composiciones que las contienen.
15	A61K 39/395	125	Preparaciones de uso médico, dental o para el aseo. Anticuerpos. Inmunoglobulinas. Inmunosuero.
16	C12N 9/10	112	Transferasas.
17	C07K 14/435	110	Péptidos con más de 20 aminoácidos de humanos. Sus derivados.
18	C12N 15/00	107	Técnicas de mutación o de ingeniería genética.
19	C12N 15/87	102	Introducción de material genético extraño utilizando procedimientos no previstos en otro lugar, p. ej., cotransformación.
20	C12N 15/29	100	Técnicas de mutación o de ingeniería genética para genes que codifican proteínas vegetales.

Tabla 20. Dinámica de las principales áreas en patentes solicitadas

Áreas	Año de solicitud de las patentes									Descripción
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
A01H 1/00	3	2	5	5	7	52	134	195	1	Compuestos como ácidos nucleicos con desoxirribosilo como radical sacárido.
A01H 5/00	4	7	13	5	33	264	182	44		Células o tejidos animales.
C07H 21/04	4	14	24	17	29	524	439	247		Preparación de péptidos o de proteínas que tienen una secuencia conocida de varios aminoácidos.
C12N 15/82	5	11	15	10	37	157	180	203	1	Composiciones o procesos en los que intervienen ácidos nucleicos.
C12N 5/04	2	1	3	1	8	94	184	119		Técnicas de mutación o de ingeniería genética para células vegetales.
C12N 5/06			4	6	9	11	391	303	110	Procedimientos de modificación de genotipos en angiospermas.
C12P 21/02			4	5	9	8	369	323	115	Células o tejidos vegetales.
C12Q 1/68		2	8	7	16	12	235	230	147	Procedimientos de modificación de los genotipos.

Áreas como la A01H 5/00, C12N 5/06 y C12P 21/02 presentan una fuerte disminución (cerca o mayor al 70%) en el periodo 2002–2003 respecto a las solicitudes.

### Bases de estrategia a partir del estudio de vigilancia tecnológica

A partir de los resultados del ejercicio de vigilancia tecnológica, es posible formular bases de estrategia para el direccionamiento de la biotecnología en Colombia.

– De acuerdo con el análisis de la información obtenida en las bases de artículos científicos, los principales avances se relacionan con estudios genéticos en expresión, identificación y secuenciación de genes y clonación, el uso inten-

sivo de *Escherichia coli* y de animales de laboratorio como los ratones. Así mismo, fue posible identificar desarrollos significativos en cuanto a reguladores de crecimiento de plantas, micro-propagación, cultivo de tejidos, embriogénesis, pesticidas, procesos de purificación de proteínas, investigación en enzimas y trabajos en fermentación. Se resalta, además, la importancia de la aparición de elementos de gestión en los artículos científicos en biotecnología, tales como la innovación, la regulación, las alianzas estratégicas, la industria, la bioética y los sistemas, señalando la importancia de áreas como la gestión tecnológica en biotecnología.

– La producción *in vitro*, la investigación en enfermedades como la causada por el virus del síndrome porcino reproductivo y respiratorio, la

Tabla 21. Dinámica de las principales áreas en patentes solicitadas

	Año de concesión de las patentes								
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
A01H 1/00						11	36	231	126
A01H 5/00						38	218	251	50
C07H 21/04						23	483	630	162
C12N 15/82						40	148	301	136
C12N 5/04						7	71	248	86
C12N 5/06						9	340	408	77
C12P 21/02						10	311	441	71
C12Q 1/68						20	194	334	112

biotecnología ambiental, la nanotecnología, la ingeniería metabólica y la terapia génica constituyen áreas crecientes, mientras que los inmunosensores, la investigación en el virus mosaico del tabaco, en ácido láctico y en transglutaminasa, así como el flujo génico, son áreas emergentes, por lo cual debe prestárseles atención en la actualidad, ya que pueden llegar a reportar beneficios importantes próximamente.

nos (angiospermas - A01H 5/10) y genes que codifican proteínas vegetales y células vegetales (genética - C12N 15/29). Finalmente, se identificaron como áreas emergentes a nivel mundial las relacionadas con ácidos nucleicos (C07H 21/04), células y tejidos animales (C12N 5/06), péptidos o proteínas (C12P 12/02) y procesos de medida en los que intervienen ácidos nucleicos (C12Q 1/68).

- Los resultados de la búsqueda en la base de patentes señalan que el mayor desarrollo a nivel mundial se presenta en el área tecnológica de microorganismos y enzimas (C12N), más específicamente con las técnicas de mutación e ingeniería genética (C12N 15) y medios de cultivo (C12N 5), seguidos por el área de novedades vegetales y procedimientos para su obtención (A01H), específicamente en angiospermas (A01H 5) y procedimientos de modificación de genotipos (A01H 1). Teniendo en cuenta las áreas en las cuales Colombia ha solicitado registro de patente, se observa una relación importante con las áreas principales en el contexto internacional, especialmente en el área tecnológica relativa a las células o tejidos vegetales (C12N 5/04). Otras áreas relacionadas son gra-
- Los principales países a nivel mundial, tanto en publicaciones de artículos como de patentes, son Estados Unidos, Alemania, Japón, Canadá, Francia, India y Australia. En el contexto regional, sobresalen Brasil y México, lo cual puede ser tomado como base para la formulación de procesos de trabajo conjunto, inversiones, transferencia tecnológica, capacitación del recurso humano y generación de redes de conocimiento. De manera más específica, Australia aparece como un país de referencia, con dinámicas importantes en los temas relacionados con Colombia; Nueva Zelanda, Suecia y Estados Unidos trabajan de manera amplia en las áreas tecnológicas descritas como emergentes, en comparación con sus otras áreas de trabajo.

PARTE III

# Prioridades y estrategias





## CAPÍTULO VII

# Prioridades para el desarrollo de la biotecnología en Colombia

### Introducción

Se ha señalado que, en países con recursos limitados para investigación, desarrollo e innovación, no es posible ni razonable seguir dispersando los esfuerzos hacia demasiados temas. Es indispensable concentrar los recursos, tanto humanos como financieros, hacia problemas de carácter nacional o regional susceptibles de ser resueltos a través del uso de biotecnologías (Izquierdo y De la Riva, 2000).

Un buen ejemplo de esta estrategia es la de proyectos como el genoma humano, y el de arroz financiado por la Fundación Rockefeller y la red ONSA creada en Brasil para la secuenciación del genoma de *Xylella fastidiosa* (Komen, 2000; International Human Genome Sequencing Consortium, 2001; Venter *et al.*, 2001; Pesquisa FAPESP, 2002). El común denominador de estos proyectos es que articularon investigadores de diferentes instituciones y disciplinas alrededor de un tema común y constituyeron una base de conocimiento alrededor del mismo.

Una de las debilidades de la investigación en Colombia, particularmente la que se realiza en las universidades, es que con frecuencia está descontextualizada y no responde a las necesidades del sector productivo. La posibilidad de seleccionar unos pocos proyectos con alta posibilidad de éxito y de generar una capacidad propia es indispensable; por otra parte, esto podría consolidar grupos interdisciplinarios alrededor de los mismos y permitiría articular una mayor masa crítica.

Como se mencionó en el capítulo introductorio del libro, y teniendo en cuenta la necesidad de establecer prioridades dentro de un proceso de formulación de política pública en biotecnología, uno de los propósitos del ejercicio de direccionamiento estratégico fue contribuir con elementos que permitan definir aquellas áreas en las cuales la biotecnología puede contribuir a mejorar la competitividad de los sectores en los cuales tiene impacto.

## Priorización de áreas estratégicas

En este capítulo, se presenta una propuesta de prioridades en la investigación y el desarrollo biotecnológico, y se identifican las tecnologías y las plataformas tecnológicas que será necesario implementar para la generación de bienes y servicios en los tres sectores definidos para este estudio: agrícola, pecuario e industria de alimentos; salud, industria farmacéutica y cosmética, y medio ambiente y energía.

Esta priorización se fundamenta en los aportes de los diferentes componentes del ejercicio: estado del arte de la biotecnología, tanto nacional como internacional; el ejercicio de prospectiva, en particular los resultados de la encuesta Delphi; el ejercicio de vigilancia tecnológica y un análisis contextual de los tres sectores. El propósito es permitir enfocar la formulación de los lineamientos estratégicos para el desarrollo de la biotecnología en estas áreas.

Desde el punto de vista metodológico, el análisis se realizó a partir de la identificación de los bienes y servicios biotecnológicos señalados por los diferentes actores que participaron a lo largo de este estudio y que consideraron como prioritarios para cada sector. Al mismo tiempo, se analizó la demanda del país, para posteriormente determinar los componentes de desarrollo tecnológico involucrados en la producción de dichos bienes y servicios, así como las tecnologías y el conocimiento que los sustentan.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta fueron:

- Un desarrollo biotecnológico realmente no lo es hasta que no se convierte en un bien o en un servicio comercializable.
- Muchos de los productos biotecnológicos son tecnologías de tipo “incorporado”, es decir, que para ser utilizadas deben ser incluidas en un paquete tecnológico, ya sea éste semillas

mejoradas, sistemas de diagnóstico, vacunas u otros insumos de tipo industrial.

- En muchas áreas de la biotecnología, la frontera entre la investigación básica y la aplicada no está claramente definida puesto que muchos esfuerzos en investigación básica tienen importantes aplicaciones potenciales de carácter comercial (Foro Global de Biotecnología, 2004).

Adicionalmente, en este capítulo abordamos el análisis de las principales tecnologías con dos enfoques. El primero se planteó en el contexto sectorial, en el cual se buscó evaluar las tecnologías que serían más importantes para cada uno de los sectores propuestos. En el segundo caso, el análisis se realizó sin tener en cuenta el sector de aplicación, sino el desarrollo de la tecnología como un componente transversal con utilidad en todos los sectores.

Sin embargo, si queremos que estos desarrollos realmente tengan impacto en los sectores productivos, también se requiere que el país defina las áreas en las cuales los aportes de la biotecnología serían estratégicos y generarían mayor competitividad en el corto, mediano y largo plazo.

## Sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

### Aportes de la biotecnología al sector

#### Sector agrícola

Entre las biotecnologías de mayor aplicación en la actualidad, están: la multiplicación masiva de material de siembra de alta calidad genética y fitosanitaria; la creación de bancos de germoplasma y su conservación *in vitro*; el uso de marcadores moleculares para caracterizar, mantener y utilizar la diversidad genética; la selección asistida por marcadores para complementar y facilitar los programas de mejoramiento genético convencionales; la

producción de nuevos insumos como los bioplaguicidas, que son utilizados en el control biológico de plagas y enfermedades, y los biofertilizantes que pueden reemplazar los insumos químicos tradicionales, reduciendo el impacto que estos tienen sobre el medio ambiente.

*- Nuevos insumos para la producción agrícola*

Teniendo en cuenta los problemas de toxicidad y de impacto ambiental de los agroquímicos, la aparición de plagas y enfermedades resistentes, causada en parte por el uso inadecuado de plaguicidas y fungicidas, se requiere de productos nuevos e innovadores para la agricultura, lo que le abre una gran oportunidad a los nuevos bioplaguicidas y biofertilizantes.

Después de alcanzar ventas por US\$34.000 millones en 1995, el mercado de plaguicidas ha venido declinando paulatinamente, entre otras razones, por la disminución de su uso en los programas de manejo integrado de plagas (MIP) en los que se usan, además del control químico, métodos alternativos, como el mecánico y el biológico, así como al desarrollo de cultivos transgénicos resistentes (Guillon, 2004).

Se espera que, para 2008, con la aparición de nuevos limitantes como el surgimiento de plagas y enfermedades resistentes a las plantas transgénicas, regulaciones más estrictas sobre residuos químicos, y la necesidad de proteger los nuevos cultivos transgénicos de alto valor nutricional, se incrementará la agricultura sostenible que combinará enfoques ecológicos y la aplicación de tecnologías modernas. Esto impulsará una nueva generación de plaguicidas y métodos alternativos de control.

En el mundo hay cerca de 350 productores que ofrecen más de 1.000 productos o tecnologías de control biológico; sin embargo, su uso sólo representa el 2% de los insumos para la protección de cultivos, con un valor de US\$588 millones. Se es-

pera que su uso se incremente por su aplicación en la agricultura orgánica, en la que los insumos químicos no son permitidos, y en programas de producción integrada de cultivos, que conllevan un menor uso de plaguicidas y fertilizantes químicos. Aunque aún se requieren esfuerzos biotecnológicos para lograr mejores niveles de eficacia de los bioplaguicidas, se considera que estos prometen un buen futuro, particularmente en los casos en que puedan ser usados conjuntamente con los organismos genéticamente modificados (OGM) (Gerhardson, 2002; Guillon, 2004).

*- Sistemas de diagnóstico*

De otro lado, el empleo de herramientas y técnicas basadas en la biotecnología han permitido conocer mejor las bases moleculares subyacentes en un gran número de enfermedades y crear nuevos métodos para prevenirlas y tratarlas. La biotecnología aporta herramientas que permiten un diagnóstico más preciso de las enfermedades, sin necesidad de recurrir a los métodos tradicionales, basados en los cultivos microbiológicos, que requieren de tiempos relativamente largos para proporcionar resultados. La secuenciación del DNA ha mejorado la detección de estas patologías sin necesidad de aislar los microorganismos que las producen.

Las diversas técnicas de análisis de ácidos nucleicos (DNA y RNA) y de proteínas permiten actualmente caracterizar directamente a los organismos con base en su información genética. Estos métodos proporcionan una sensibilidad y una especificidad muy altas. Por este motivo, se han desarrollado diversas técnicas de caracterización molecular que permiten un diagnóstico rápido, temprano y seguro de patógenos tanto virales como bacterianos y fúngicos. Aunque no se basan exclusivamente en el DNA, los *kits* diagnósticos derivados de productos de la biotecnología (anticuerpos monoclonales, antígenos recombinantes) constituyen aplicaciones agrícolas modernas muy

importantes para la identificación de los patógenos de plantas y animales, con repercusiones económicas para los programas de vigilancia y lucha contra los patógenos. El conocimiento del patógeno asociado a un determinado cultivar, permite estudiar los mecanismos de interacción hospedero-patógeno y tener un conocimiento más profundo de los mecanismos que actúan en la resistencia genética o determinan la susceptibilidad de los cultivos, lo que conlleva a sistemas de control mas efectivos y racionales.

#### - *Transformación genética*

Probablemente, uno de los mayores aportes de la biotecnología está en la posibilidad que ofrece en el mejoramiento genético de plantas. Los métodos tradicionales de mejoramiento genético se basan principalmente en la combinación de características genéticas de interés, mediante la reproducción sexual y la posterior selección de las plantas con las características deseadas. Sin embargo, los métodos convencionales no pueden eliminar las barreras de incompatibilidad sexual intra o interespecífica, limitando el número de genes disponibles para el mejoramiento genético.

La transformación genética se define como la incorporación estable y la expresión de los genes introducidos en la planta por medios diferentes a la fusión de gametos u otras células. Involucra la integración de estos genes en el genoma nuclear de la planta o en el genoma de los organelos (mitocondrias o cloroplastos), dando origen a un OGM (Birch, 1997). Se fundamenta en las técnicas de ingeniería genética, también conocidas como técnicas del DNA recombinante, y busca desarrollar nuevos métodos que permitan la obtención de plantas con nuevas características que no sería posible obtener por los métodos convencionales de mejoramiento genético. Estos métodos pueden complementar los sistemas convencionales de cruzamiento y selección, proporcionando nuevas fuentes de variabilidad genética. Es importante mencionar que la bio-

tecnología no pretende cuestionar la validez de los métodos tradicionales de mejoramiento y selección, sino que sirve para complementarlos o para ampliar su base de aplicación, haciéndolos más eficientes para la obtención de nuevos materiales en menor tiempo. Genes que no están disponibles, debido a incompatibilidad sexual, pueden ser obtenidos de otros organismos como especies vegetales no relacionadas y microorganismos.

Con los adelantos en los métodos de ingeniería genética, muchas especies de interés económico han sido transformadas con genes aislados de diferentes organismos. Pero la ingeniería genética no sólo se ha utilizado en la producción de plantas mejoradas; también ha permitido, a través del análisis molecular y celular de plantas transformadas, adquirir conocimientos sobre la información genética asociada con la biología y los procesos fisiológicos de las plantas, como la maduración, la senescencia, el papel de hormonas en el desarrollo de la planta y los mecanismos de resistencia a las enfermedades, entre otros.

La primera generación de plantas transgénicas corresponde a aquellas en las que las características introducidas son particularmente útiles para el productor, como resistencia a herbicidas, plagas y enfermedades, o sequías, suelos ácidos u otro tipo de condiciones adversas. La segunda generación corresponde a plantas con características útiles para el consumidor, por ejemplo, mayor contenido nutritivo, cambios en el contenido de ácidos grasos, eliminación de alérgenos y otros. Sin embargo, debido al alto costo de su desarrollo y puesta en el mercado, las investigaciones y desarrollos enfocados al mejoramiento de plantas se centran en los cultivos de importancia para las grandes multinacionales. Por lo tanto, es posible que nunca se desarrollen versiones transgénicas de cultivos de menor importancia económica, a menos que se reduzca el costo de la tecnología. Investigaciones sobre la producción de plantas

tolerantes a factores abióticos, como salinidad, sequía y heladas, probablemente no sean de tanto interés para los países desarrollados, pero pueden ser críticos para los países en desarrollo.

En la tabla 1 se listan los 57 cultivos en los que se cuenta con plantas mejoradas a través de la biotecnología, éstos incluyen frutas, cereales, hortalizas y otros cultivos de interés comercial. Algunas de estas plantas han sido sometidas al proceso de evaluación y valoración de riesgo, y algunas ya se están comercializando.

Actualmente se trabaja en una tercera generación de plantas transgénicas con características útiles para la industria que traerían un cambio radical en la agricultura. La mayoría de los OGM son producidos para la alimentación, pero los nuevos desarrollos podrían llevar a un cambio en su uso y convertirlos en productores de materia prima para la industria (*The Economist*, 2003; BIO, 2005).

### Sector pecuario

En cuanto a las aplicaciones de la biotecnología en el sector pecuario, ésta puede aportar a la producción animal en aspectos como el desarrollo de tecnologías reproductivas; nuevas vacunas; nuevas bacterias y cultivos celulares que han sido modificados para la producción de hormonas, enzimas y otros compuestos.

Las aplicaciones iniciales se dirigieron principalmente a sistemas diagnósticos, nuevas vacunas y drogas, fertilización de embriones *in vitro*, la producción y uso de hormonas, como la hormona del crecimiento, y de proteínas para bovinos, porcinos y aves. En este sector se utiliza la selección asistida por marcadores para el mejoramiento genético y para la caracterización de razas.

En las últimas décadas, la biotecnología ha experimentado un gran desarrollo, con avances en la producción de alimentos en los que la composición de

Tabla 1. Cultivos mejorados a través de la biotecnología

Alfalfa	Brócoli	Manzana	Achicoria
Cebada	Repollo	Banano	Cacao
Canola	Zanahoria	Melón	Café
Yuca	Coliflor	Cereza	Ajo
Trébol	Cohombro	Cítricos	Lupino
Algodón	Berenjena	Coco	Mostaza
Lino	Lechuga	Toronja	Palma de aceite
Maíz	Cebolla	Kiwi	Adormidera
Arroz	Arveja/Frijol	Mango	Aceituna
Azafrán	Pimienta	Melón	Maní
Sorgo	Papa	Papaya	Tabaco
Soya	Espinaca	Piña	
Remolacha azucarera	Calabacín	Ciruela	
Caña de azúcar	Tomate	Frambuesa	
Girasol		Fresa	
Trigo		Sandía	

Fuente: Biotechnology Industry Organization, Milestones, 2005

las proteínas ha sido modificada (soya, maíz) para incrementar el nivel de los aminoácidos esenciales que los animales deben obtener en la dieta, o alimentos que poseen una mayor disponibilidad de fósforo, mediante la utilización de enzimas bacterianas mejoradas, como la fitasa, que libera el fósforo unido al ácido fítico, en alimentos como la soya, y que además ayuda a la absorción de los micronutrientes (*The Economist*, 2003).

Otros aportes más recientes de la biotecnología al sector pecuario están en la clonación de animales o en la obtención de animales transgénicos, como el “ratón oncogénico”, que ha sido muy útil en modelos de laboratorio para estudios de enfermedades humanas. Los últimos desarrollos están enfocados a la utilización de animales transgénicos como *biorreactores* para la producción de drogas, por ejemplo, cabras para la producción de anticoagulantes, vacunas en la leche, animales para la producción de proteínas sanguíneas humanas o anticuerpos y como fuente de células y órganos (Daar *et al.*, 2003).

En relación con el mercado de la biotecnología agropecuaria, está conformado principalmente por los subsectores de venta de semillas mejoradas, tanto por medio de ingeniería genética como a través de métodos convencionales asistidos por marcadores moleculares; material de propagación *in vitro*; protección de cultivos y fertilizantes (herbicidas, fungicidas e insecticidas incluidos los bioplaguicidas y biofertilizantes producidos con base en el uso de microorganismos); y la biotecnología animal principalmente, material reproductivo (semen, embriones); sistemas de diagnóstico; alimentos formulados y medicamentos.

#### Industria de alimentos

En el área de alimentos, los aportes de la biotecnología incluyen métodos de control de calidad; nuevos alimentos producto de la fermentación; nuevos sistemas de diagnóstico; mejoramiento de

las propiedades organolépticas y el tiempo de permanencia en estante de productos cárnicos y lácticos.

Otra de las aplicaciones con gran potencial está en la producción de aminoácidos, pigmentos, vitaminas, enzimas y otros nutrientes especiales para una nueva categoría de productos alimenticios, los llamados “alimentos nutraceuticos”, que también incluyen los alimentos funcionales. En los años 70, la comunidad científica japonesa interesada en el área de la salud empezó a estudiar los efectos fisiológicos de componentes de los alimentos o sus derivados, que tuvieran algún efecto fisiológico en quienes los consumían. A estos componentes se les reconoció como alimentos que tenían alguna “funcionalidad” para la salud. En 1984, en Japón, se introduce el término “alimentos funcionales”, y en 1990, se introduce el término “nutracéutico”.

Algunos autores han definido los nutraceuticos como *un alimento o parte de él que puede ofrecer beneficios medicinales y/o a la salud, incluyendo la prevención o cura de enfermedades*, y un alimento funcional como *cualquier alimento o ingrediente alimenticio que puede proveer beneficios a la salud mayor que el de los nutrientes tradicionales que el contiene* (Nutrition Business Journal, 2005).

Esta industria ha surgido como respuesta a los cambios en la actitud de los consumidores, que ahora buscan alimentos más sanos y nutritivos, como aquéllos que poseen un alto contenido de fibra, la presencia significativa de un aminoácido esencial, vitaminas o propiedades particulares favorables para prevenir y curar enfermedades. Los nutraceuticos son compuestos naturales que se encuentran en materias primas y alimentos de origen vegetal; ejemplos son el jugo de naranja fortificado con calcio y los huevos con ácidos grasos omega 3, o los polifenoles (poderosos antioxidantes) presentes en productos como el té verde, el vino tinto y el chocolate. Productos como los

aceites marinos, materiales quitinosos, carotenoides, enzimas, péptidos bioactivos y productos provenientes de algas, pertenecen a la familia de los nutraceuticos marinos (Shahidi, 2004; Weinborn del Villar, s.f.; Forbes Medi-Tec Inc. 2005; Institute of Food Technologist, 2005).

El *Nutrition Business Journal* reportó que el mercado mundial de alimentos funcionales alcanzaría US\$83.000 millones en 2005. En 2001, los alimentos funcionales representaron US\$56.000 millones, o sea, el 37% del mercado global de productos para la nutrición. En los Estados Unidos, en ese mismo año, los alimentos funcionales y los suplementos dietarios representaron US\$18.500 y US\$17.500 millones, respectivamente.

Por su parte, el director de Celnova, compañía biotecnológica especializada en nutraceuticos, plantea un nuevo tipo de agricultura, la “agricultura funcional”, la que define como la producción de alimentos vegetales modificados que producen los compuestos activos que tienen efectos beneficiosos en la salud humana. Además, propone que las técnicas biotecnológicas, que permiten la transformación genética de plantas, microalgas y bacterias para la sobreproducción de compuestos bioactivos, serán la forma de responder a un mercado que demanda productos alimenticios con una concentración óptima de compuestos bioactivos (Fábregas, 2003).

Finalmente, en marzo de 2005, el *Institute of Food Technologists* presentó el reporte de un panel de expertos que revisó la literatura científica disponible relacionada con los alimentos funcionales. Entre las conclusiones de este estudio, vale la pena destacar aquellos aspectos relacionados con las áreas de investigación en las que será necesario trabajar, como:

Ampliar la investigación sobre los nutrientes tradicionales y otros compuestos bioactivos. Se pro-

pone que la investigación básica y aplicada sobre nutrición debe explorar el papel y los mecanismos de acción de los nutrientes tradicionales. Se debe identificar y probar la eficacia de otros compuestos alimenticios bioactivos con la capacidad de mejorar la salud.

Pero lo que sobresale de este reporte es su propuesta sobre la “nutrigenómica”, es decir, la intersección entre la genómica y la nutrición molecular. De acuerdo con los expertos, ésta presenta oportunidades para entender el efecto de los nutrientes y la variabilidad en la respuesta individual a la dieta. Podría revolucionar la dieta, la nutrición, los productos alimenticios y el cuidado de la salud. La nutrigenómica podría cambiar el modo establecido de pensar sobre la nutrición, los alimentos, la cadena de valor de la industria de alimentos y el papel de la industria en el cuidado de la salud. Finalmente, concluye que, la posibilidad de proveer planes de nutrición y productos basados en la interacción entre genética y dieta, de manera personalizada para grupos e individuos, será científicamente posible muy pronto (el reporte completo está disponible en la página [www.ift.org](http://www.ift.org)).

#### - *Enzimas con aplicaciones industriales*

Las aplicaciones industriales de la biotecnología tienen varias décadas de desarrollo. Comenzaron con la purificación de enzimas bacterianas para su uso en la producción de alimentos, polvos para lavar y otras aplicaciones. En 1988, la firma danesa Novozymes produjo la primera enzima recombinante, un digestor de grasa para detergentes. Hoy en día, Novozymes es el más grande productor mundial de enzimas.

Los procesos catalizados por enzimas han sido siempre un modo más eficiente de producir moléculas que a través de la química tradicional, debido a que se requieren menos etapas en el proceso de síntesis y a que se obtienen rendimientos cercanos al 100% en cada una de ellas. En cam-

bio, en la síntesis química, el rendimiento puede estar por debajo del 10%. Sin embargo, las enzimas son proteínas muy sensibles a cambios de temperatura, acidez, salinidad, presión, etc., lo que no permite su uso bajo las condiciones de operación de la industria química. Hasta hace pocos años, el rango de reacciones en las cuales las enzimas se podían utilizar estaba limitado a la manufactura de productos de alto valor como medicamentos y vitaminas.

La búsqueda de nuevas enzimas, útiles en estos procesos, ha llevado al desarrollo de una nueva industria, basada en la bioprospección, desarrollada para la recolección de bacterias de aguas termales, lagos de soda, rocas árticas, y efluentes industriales, entre otros. Los microorganismos, incluyendo las bacterias, el dominio *Archae* y los hongos, son los organismos genéticamente más diversos. Ellos albergan la mayor diversidad filogenética y metabólica encontrada en cualquier ecosistema.

Una de las compañías que ha entendido la importancia que esta diversidad tiene en el desarrollo de nuevos productos es la Corporación Diversa, firma biotecnológica estadounidense cuyo negocio es el descubrimiento y evolución de genes y rutas genéticas novedosas a partir de fuentes ambientales únicas. Diversa ha patentado una tecnología que puede rápida y eficientemente identificar sustancias objetivo a partir de muestras ambientales para descubrir nuevos productos de los genes: Jay M. Short y sus colaboradores desarrollaron un novedoso enfoque genómico, que no sólo es más rápido, sino que puede dar acceso a millones de microorganismos, muchos más de lo que es posible a través del cultivo tradicional. Este enfoque, conocido como metagenómica, en el que el DNA es aislado directamente de las muestras sin que sea necesario cultivarlas, promete el acceso a un gran porcentaje de los microorganismos que son inaccesibles en este momento (Mathur, *et al.*, 2004).

Actualmente se trabaja en la modificación, mediante técnicas de ingeniería genética, de enzimas de interés industrial, incluyendo aquellas que se utilizan en sistemas de diagnóstico y en biosensores, así como las enzimas de organismos extremófilos. Una de las aplicaciones de las nuevas enzimas extraídas de bacterias y hongos está en la conversión de la celulosa de los desechos agrícolas en glucosa. La búsqueda es ahora por la mejor enzima y la manera de convertirlos en productos industriales.

Las aplicaciones más prometedoras para las nuevas enzimas son los plásticos y combustibles. En el caso de los plásticos, los dos proyectos más avanzados son el de DuPont, una de las compañías químicas más grandes, y Cargill-Dow, compañía agrícola. El proceso de DuPont fue desarrollado en conjunto con Genencor, que utilizó rutas metabólicas de tres microorganismos diferentes y los ensambló en una sola bacteria. La materia prima es miel de glucosa, obtenida de almidón de maíz, de la cual se obtiene un biopolímero. En la producción de estos biopolímeros se utilizan muy poco los hidrocarburos fósiles; por lo tanto, no contribuyen al calentamiento global y, además, son biodegradables, lo que los convierte en productos amigables con el ambiente (*The Economist*, 2003).

### Indicadores y potencialidades del sector en Colombia

La agricultura moderna es un importante consumidor de bienes y servicios de otros sectores, con una interacción creciente con el sector agroindustrial en el desarrollo del llamado complejo agroalimentario. En esta nueva función, la agricultura se entiende como la suma total de las operaciones de producción y distribución de insumos agrícolas, de producción en las unidades agrícolas, y de almacenamiento, procesamiento y distribución de productos agrícolas (FORAGRO, 2000).

En Colombia, el desarrollo del subsector agroalimentario está estrechamente ligado con algunas de



las estrategias de política lideradas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Por lo tanto, antes de realizar una propuesta de prioridades en la investigación y el desarrollo de bienes y servicios biotecnológicos para este sector, es fundamental para nuestro análisis conocer los estudios e indicadores generados por este Ministerio.

A continuación, se presentan los indicadores de población, empleo, producción, comercio y otros del sector agropecuario, que demuestran su importancia fundamental para Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2004, 2005, 2006).

#### - Población y empleo

En el campo habitan 12 millones de personas, que representan el 27% de la población del país. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Hogares de septiembre de 2000, el sector agropecuario fue el segundo generador de empleo, con un 23%, casi el doble del generado por el sector industrial (13%).

El desempleo rural ha venido descendiendo en forma sostenida desde el 2002. En el 2005 fue de 7.21%, en 2004 de 9.11% y en 2002 de 11.21%, principalmente debido a incremento en áreas sembradas (MADR, 2005).

#### - Producción

En 2002, las actividades agropecuarias generaron el 14% del Producto Interno Bruto Nacional (PIB). De éste, el café aportó el 12,5%, los animales vivos y productos animales el 37,5%, la silvicultura, caza y pesca el 4,1%, y los demás productos agrícolas, el 46,0%.

Por otra parte, el Ministerio señala que, en el período enero-septiembre de 2004, el PIB del sector agropecuario creció 3,2% anual, situándose 0,6 puntos porcentuales por debajo del promedio nacional (3,8%). Los subsectores de mayor crecimiento fueron la agricultura sin café (6,0%) y el subsector pecuario (3,6%); la silvicultura creció 1,8%.

En el período enero-septiembre de 2005, el producto interno bruto (PIB) del sector agropecuario, sin ilícitos, creció 3,4% anual. Los subsectores de mayor crecimiento fueron la cafcultura (7,4%), la pesca (4,5%) y la agricultura sin café (3,6%). Además del café, los productos de mayor crecimiento en el PIB fueron el plátano (13,3%), el banano (16,6%), las frutas (4,5%) y la yuca (9,2%). En el subsector pecuario, se destaca el crecimiento de la avicultura, con un incremento de 7,2% en la producción de aves de corral, y de 6,8% en la producción de huevos (MADR, 2005).

#### - Comercio

En 2002, la balanza comercial agropecuaria registró un superávit de US\$1.203 millones. El sector generó el 25% de las exportaciones totales y demandó el 14% de las importaciones.

En cuanto al período enero-septiembre de 2004, la balanza comercial agropecuaria y agroindustrial mostró un superávit de US\$1.040 millones, reflejando un incremento de 13,6% frente a 2003. En este período, el valor de las exportaciones de los productos agropecuarios y agroindustriales ascendió a US\$2.517 millones, un 13,7% más con respecto al mismo período de 2003 (US\$2.213 millones). Sin café, el valor de las exportaciones agropecuarias y agroindustriales aumentó 14,6% anual.

Así mismo, el Ministerio señala que el volumen de las exportaciones agropecuarias y agroindustriales, en el período enero-septiembre de 2004, aumentó 2,5% anual, pasando de 3.346.000 toneladas en 2003 a 3.431.000 toneladas en 2004. Sin café, el volumen de las exportaciones agropecuarias y agroindustriales creció 3,2%, frente al registrado el año anterior. De igual manera, el valor de las importaciones agropecuarias y agroindustriales aumentó 13,9% anual, al pasar de US\$1.297 millones en 2003 a US\$1.477 millones en 2004.

El valor exportado de los productos agropecuarios y agroindustriales ascendió a US\$4.181 millones entre enero y noviembre de 2005, superior en 31,7% con respecto a 2004 (US\$3.175 millones), crecimiento impulsado por el aumento de las exportaciones cafeteras principalmente. El valor de las exportaciones sin café aumentó a US\$2.861 millones (21,2%), debido principalmente al crecimiento de las ventas de preparados de alimentos diversos (57%), plantas vivas y productos de la floricultura (32,9%), frutos comestibles (20,3%), azúcares y artículos de confitería (20,25%) y animales vivos (17,9%) (MADR, 2005).

*- Superficie*

Contrario a lo que se pensaría en un país que se supone con una gran vocación agrícola, de acuerdo con los datos del Ministerio, la actividad que ocupó el mayor porcentaje del área aprovechada, en 2002, fue la ganadería bovina (91,4%). Le siguieron, con porcentajes muy bajos, los cultivos permanentes (5,1%) y los transitorios (3,6%). Así mismo, señala que la ganadería ocupa un área superior a la que tiene vocación pecuaria y que ésta podría ser más eficiente si se adoptaran prácticas tecnológicas.

La superficie cultivada ascendió a 4.717.000 hectáreas en 2005, superior en 509.206 hectáreas con respecto a 2002 y en 55.334 hectáreas con respecto a 2004. El área de cultivos transitorios fue de 1.673.000 de hectáreas en 2005, lo que representa una caída de 4,9% con respecto a 2004 (1.759.000 Ha); el área de cultivos permanentes ascendió a 2.822 Ha, superior en 4,6% a la de 2004. El área forestal aumentó 8,5%, pasando de 205.000 Ha en 2004 a 222.000 Ha en 2005. De acuerdo con las proyecciones, en 2006 el área ascenderá a 4.816.000 Ha (MADR, 2005).

*- Valor de la producción*

En el periodo 2000-2002, el café fue el cultivo que más aportó a la producción sectorial, con una

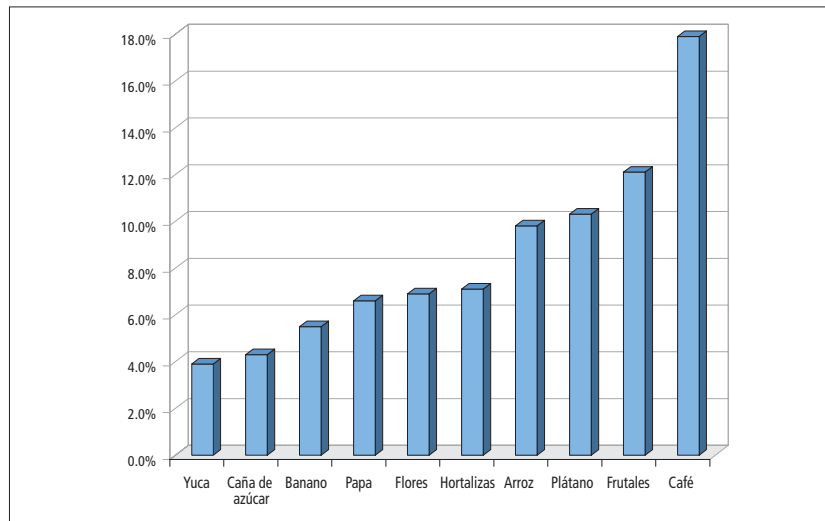
participación del 17,9%, seguido por los frutales. En la figura No. 1, se presenta una gráfica con los porcentajes de participación en el valor de la producción agrícola de los cultivos más importantes en ese periodo.

En 2004, la producción agrícola nacional fue de 23.473.000 toneladas, con un incremento del 6,0% frente a la observada en 2003 (21.851.000 toneladas). En 2005, la producción agrícola fue de 23.712.000 toneladas, cifra superior con respecto a 2004. La producción de cultivos transitorios cayó en un 4,6% en 2005, mientras que la de cultivos permanentes creció en 4,1%.

En cuanto a la producción industrial de alimentos, el Programa de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (Colciencias, 2004) señala que, en Colombia, ésta ha sido la actividad más importante del sector manufacturero. A comienzos de la década de los 90, su participación en la conformación del PIB del sector manufacturero era del orden del 21%; en la mitad de la década de los 90, se incrementó levemente; y a finales de los 90 y comienzos de la actual, alcanzó un 29%. Si se adiciona el aporte del subsector de bebidas, se alcanza casi un 37% al final de la década en referencia. En el período considerado, las ventas de alimentos y bebidas pasaron de US\$4.500 millones a US\$10.200 millones (promedio anual).

Colombia cuenta con un gran potencial en varios productos que están en los segmentos más dinámicos, algunos de ellos con experiencia en exportaciones como el camarón, la palma y las flores, y algunos otros con exportaciones esporádicas o en formación como: yuca, panela, frutas tropicales, hortalizas, fique, plantas medicinales y aromáticas (Colciencias, 2004). De acuerdo con datos del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, el comercio de fruta fresca hacia el exterior, hasta octubre de 2004, superó las 784.000 toneladas, representadas por banano, plátano, granadilla, li-

Figura 1. Participación de cultivos en la producción agrícola. Fuente MADR (2004)



món y uchuva. Los principales destinos fueron Europa, Estados Unidos, Venezuela y las Antillas Menores y Mayores (ICA, 2004).

En relación con la firma del Tratado de Libre Comercio (TLC) y su impacto sobre la producción rural, el MADR señala que “nuestro principal interés en términos de acceso real al mercado norteamericano, dada nuestra superioridad competitiva ante el mismo, aún a pesar de sus subsidios y barreras de diverso tipo, apunta fundamentalmente, aparte de las ventajas ya ganadas en el ATPDEA, a azúcar, alcohol carburante y licores a base de caña; tabaco y cigarrillos; aceite de palma y su derivado biodiesel; productos lácteos; carne de bovino; algodón fibra; frutas y hortalizas; y peces y recursos marinos” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

En Colombia, de acuerdo con los indicadores de los últimos años, el sector ha tenido un crecimiento sostenido. Sin embargo, un gran porcentaje de la producción agropecuaria se pierde o se subutiliza, debido, entre otros factores, a una baja incorporación de procesos tecnológicos en su transformación. El Programa de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (Colciencias, 2004) señala que

las mayores debilidades que presenta el subsector agroalimentario y agroindustrial en Colombia son, entre otras, el bajo nivel tecnológico; la desarticulación entre los sectores productivos y empresariales y los costos de producción relativamente altos debido a ineficiencia en los procesos de posproducción. Además, existe una agroindustria incipiente en comparación con los recursos y el potencial con que se cuenta.

Así mismo, se considera que, si se logra dar valor agregado a la producción agropecuaria mediante la incorporación y generación de tecnologías, aumentando de esta manera el mercado nacional y de exportación, el subsector tendría mejores oportunidades y podría contribuir a mejorar los ingresos de productores y empresarios agropecuarios, a la generación de empleos en las zonas rurales y urbanas, y a la inserción en mercados especializados.

En el país, existen esfuerzos de investigación para responder a las demandas del sector productivo, y se han logrado articulaciones importantes en la cadena de producción en algunos productos como el azúcar, la palma africana, el café, los productos lácteos y los renglones avícola y porcino.

Sin embargo, esto no se ha extendido a productos como las frutas, las hortalizas, las raíces y tubérculos, las plantas medicinales y aromáticas, entre otros.

En el caso de los desarrollos biotecnológicos para el sector, son de destacar los aportes de los Centros Nacionales de Investigación (CENI) y de otros grupos de investigación de centros y universidades. A manera de ejemplo, podemos citar en el sector azucarero a Cenicaña, que trabaja activamente en el mejoramiento genético de la caña utilizando biotecnología. El sector palmicultor cuenta con Cenipalma, centro en el cual se trabaja activamente en la selección de variedades mejoradas utilizando marcadores moleculares. Cenicafé, el centro de investigaciones del gremio cafetero, lidera el primer proyecto en genómica del país y ha realizado aportes importantes en control biológico. Corpoica tiene varios grupos de investigación en biotecnología; se destacan aquellos que trabajan en transformación genética, manejo integrado de plagas, micropropagación y producción de semilla. La Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, en colaboración con la Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB) y Cenibanano han trabajado en el control biológico de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). En el sector pecuario, centros como Ceniagua le han aportado al sector camaronero desarrollos científicos y tecnológicos que les han permitido ser más competitivos a nivel internacional. Por otra parte, Corpoica y la Universidad de Antioquia trabajan en la caracterización molecular de las razas criollas bovinas colombianas.

Sin embargo, el mayor énfasis de los 152 grupos que trabajan en CyT Agropecuaria en Colombia (Colciencias, 2004), está en el desarrollo del eslabón de la producción primaria: en el sector agrícola, el 45%, y en el sector pecuario, el 52%; sólo el 13% en el área agrícola y el 10% en la pecuaria se enfocan a la agroindustria.

Será crucial para el desarrollo del país incorporar tecnologías a las fases de transformación y elaboración de la materia prima agrícola, máxime cuando se dispone de una amplia gama de productos tropicales de gran aceptación en los mercados internacionales.

En Colombia, de acuerdo con la información del Ministerio de Agricultura, los agroquímicos son el factor con mayor participación en la estructura de costos. Esta varía, en algunos cultivos, entre el 13% y el 45%, con un 28% en promedio, hecho que hace que el país sea poco competitivo en algunos productos. Esta elevada participación se debe a los altos costos así como a elevados niveles de aplicación. En el caso de plaguicidas, los elevados niveles de aplicación se deben, principalmente, a la baja implantación en el país de programas de manejo integrado de plagas. En fertilizantes, la alta aplicación se presenta por su uso, sin la utilización de análisis de suelos, y por la muy baja utilización de abonos biológicos y orgánicos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2004).

Tal como se discutió en el capítulo III, de acuerdo con los datos del estudio del Instituto Alexander von Humboldt (Rodríguez, 2003), el mercado total de plaguicidas en Colombia ascendía a US\$601,8 millones, de los cuales el mercado de bioplaguicidas representaba US\$6,0 millones con un mercado potencial de US\$300,9 millones. Para el caso de los fertilizantes el mercado total era de US\$220,5 millones, de los cuales el mercado de biofertilizantes era de US\$7,3 millones, con un mercado potencial de US\$110,2 millones.

En cuanto a los desarrollos biotecnológicos, el país ha generado una importante capacidad en la investigación en bioplaguicidas y biofertilizantes. Como se discutió en el capítulo III, varios centros de investigación, universidades y algunas empresas tienen resultados en diferentes etapas de desarrollo. Sin embargo, podríamos asegurar que el país aún no tiene una industria consolidada.

La producción de nuevos bioinsumos tiene un gran potencial para la agricultura colombiana, no sólo para el mercado interno, sino para el mercado internacional. A nivel internacional, se prevén inversiones significativas para cultivos de gran valor, como frutas y vegetales cultivados bajo condiciones de invernadero. La clave para el desarrollo y el crecimiento de esta industria estará en el desarrollo de productos para cultivos en los que ya existe una demanda y la generación de nuevas demandas de estos bioinsumos mediante la educación de los usuarios sobre los beneficios de estos productos.

Desde el punto de vista de la producción agrícola en América Latina, en el Norte de México y en los países que están ubicados debajo del Trópico de Capricornio se desarrollan sistemas productivos característicos de las zonas templadas, que les permiten acceder a tecnologías más compatibles con su entorno agroecológico y ambiental. La contribución de la ciencia y la tecnología ha sido fundamental para el mejoramiento de cultivos como cereales, soya, girasol y hortalizas que se encuentran localizados principalmente en ecosistemas templados o subtropicales, gracias a la amplia disponibilidad de conocimientos y tecnologías generadas en las zonas templadas de los países de mayor desarrollo científico del mundo, lo que ha permitido que los procesos de ajuste y adaptación no resulten tan complejos y traumáticos como en los países tropicales (De Peña 2003).

Por el contrario, no se cuenta con fortalezas en conocimiento científico e investigación orientada a la innovación y el desarrollo tecnológico en aquellos productos que registran tendencias de crecimiento en el mercado internacional como frutas y hortalizas tropicales, maderas finas, flores, esencias y aromáticas y productos medicinales en los que la región tropical presenta amplias ventajas comparativas, derivadas de la diversidad de ecosistemas y biota (Colciencias, 2004).

En la tarea vital de lograr la formulación y el apoyo al desarrollo de proyectos de investigación diseñados con base en las diferencias agroecológicas y las verdaderas limitantes de producción de nuestro país, se requiere proponer estrategias enfocadas a definir los criterios de selección para priorizar los cultivos y las tecnologías necesarias. También será necesario fortalecer la capacidad científica y tecnológica nacional en investigación aplicada a los ecosistemas tropicales, y alrededor de proyectos estratégicos que permitan mejorar la competitividad de sectores claves de la producción nacional como, por ejemplo, el de las cadenas productivas. Así, también, estrategias que aglutinen recursos financieros y el talento humano en torno a proyectos que respondan, de forma concertada, a requerimientos del sector productivo y al diseño de desarrollos innovadores para transformar la producción primaria en procesos con mayor generación de valor agregado.

#### Propuesta de prioridades para el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

En la tabla 2 se identifican las cuatro prioridades que, según concepto de los expertos, deben ser impulsadas para el desarrollo de la biotecnología en este sector.

### Sector salud e industria farmacéutica

#### Aportes de la biotecnología al sector

El sector salud, incluyendo la industria farmacéutica y cosmética, constituyen el mercado más grande de la industria biotecnológica y se espera que continúe así, por lo menos en las próximas décadas. La mayoría de las compañías de biotecnología en salud trabajan en torno al desarrollo de nuevos tratamientos y medicinas para diferentes tipos de cáncer, enfermedades neurológicas como Alzheimer y Parkinson, enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad, esclerosis múltiple, artritis y Sida, todas ellas prioritarias para

Tabla 2. Propuesta de prioridades para el sector agrícola, pecuario e industria de alimentos

Productos	Focos	Tecnologías	Recurso humano	Sectores de apoyo
<b>Bioinsumos: biofertilizantes, bioplaguicidas, estimuladores de crecimiento.</b>	Interacción microorganismo-plaga-ambiente. Bioprospección con fines agroindustriales. Generación de organismos recombinantes con características mejoradas.	Producción y formulación. Ingeniería de procesos. Control de calidad. Genómica. Bioinformática. Proteómica. Metabolómica. Transformación genética.	Agronomía. Ingeniería Química. Microbiología. Bioquímica. Fisiología. Fitopatología. Genética. Entomología. Bioinformática.	Canales de comercialización. Negociación de tecnología. Regulación y certificación. Programas de extensión para la adopción de la tecnología. Mecanismos de transferencia de tecnología.
<b>Enzimas para uso industrial. Insumos para la industria de alimentos.</b>	Bioprospección. Identificación de rutas metabólicas. Mecanismos de acción enzimática.	Screening de alto rendimiento. Procesos de fermentación. DNA recombinante. Ingeniería de procesos. Ingeniería de proteínas. Genómica, proteómica, metabolómica y bioinformática. Química combinatoria.	Bioquímica. Microbiología. Ingeniería Química. Química. Biología Molecular.	Canales de comercialización. Negociación de tecnología. Propiedad industrial e intelectual.
<b>Semillas mejoradas y certificadas.</b>	Transformación genética en plantas de importancia económica. Mejoramiento convencional asistido por marcadores moleculares. Mapas genéticos y QTL. Fisiología post-cosecha. Búsqueda y caracterización de genes novedosos.	Cultivo de células y tejidos vegetales. Genómica, proteómica y bioinformática. Transformación. Criopreservación. Sistemas de trazabilidad. Bancos de germoplasmas. Microarreglos.	Agronomía. Fitomejoramiento. Fisiología Vegetal. Biología Molecular. Tecnología Agrícola. Genética.	Invernaderos de bioseguridad. Regulación adecuada en bioseguridad. Propiedad intelectual. Programas de extensión y difusión para la adopción de la tecnología. Acceso a recursos genéticos.
<b>Sistemas diagnósticos.</b>	Desarrollo de sistemas diagnósticos más específicos y eficientes para enfermedades relevantes. Secuencias de organismos patógenos. Métodos diagnósticos masivos y en campo. Estudios en la interacción hospedero - patógeno.	Expresión de proteínas. Anticuerpos policlonales o monoclonales. DNA recombinante. Genómica, proteómica y bioinformática. Ingeniería de procesos.	Medicina Veterinaria. Patología y Fitopatología. Biología Molecular. Microbiología. Virología. Entomología.	Evaluaciones de campo. Certificaciones.

países desarrollados. Hace mucho tiempo que la biotecnología ha contribuido en el descubrimiento de medicinas y vacunas utilizadas para combatir enfermedades y mejorar la calidad de vida de nuestras sociedades. En la última mitad del siglo XX, los avances en el conocimiento científico y en nuevas y mejores técnicas de laboratorio llevaron a grandes descubrimientos. Ejemplo de ello fueron las vacunas para enfermedades devastadoras como la viruela y el polio. En las últimas décadas del siglo pasado, los avances tecnológicos permitieron secuenciar el genoma de organismos completos para culminar, en el año de 1998, con el conocimiento del orden de las bases del genoma humano, en nuestro concepto el avance más grande en ciencia en toda su historia.

Existen múltiples expectativas, preocupaciones e inmensas posibilidades para el uso de nuevos conocimientos científicos, especialmente derivados de la genómica, que deben mejorar la salud del mundo. El mayor desafío que se nos presenta es sobre cómo podemos proteger este conocimiento y que éste contribuya en la equidad en la salud, especialmente en los países en vías de desarrollo. Es una realidad que la mayor parte de la investigación en genómica y biotecnología se lleva a cabo en el mundo industrializado, y está direccionada por el mercado. Sin embargo, debemos implementar estrategias que permitan que los nuevos conocimientos científicos sean también aplicados en los países en vías de desarrollo. Por lo tanto, es crucial que nuestros científicos se involucren en procesos de innovación biotecnológica. Por otra parte, es esencial que nosotros tratemos de inclinar la balanza del denominado desequilibrio 10/90, el cual significa que el 10% de los recursos destinados a la investigación en el mundo son dedicados a enfermedades que afligen al 90% de nuestras poblaciones (Global Forum for Health Research, 2003).

La contribución de la biotecnología al cuidado de la salud es muy diversa; desde técnicas muy finas de

biología molecular, utilizadas para el diagnóstico de enfermedades, hasta el diseño de drogas racionales para combatir enfermedades de toda índole. Como resultado de las aplicaciones ya demostradas de la biotecnología, es ahora posible elucidar mecanismos moleculares de enfermedades, mejorar y desarrollar métodos diagnósticos, descubrir y desarrollar nuevos tratamientos terapéuticos y desarrollar vacunas más efectivas y seguras. A estos avances en la salud se asocia una productividad mayor, una expansión económica y una reducción en el crecimiento de la población, ya que se asume que los niños tendrán una mayor expectativa de supervivencia.

## Salud

### - Diagnósticos

Uno de los campos en los que la biotecnología ha realizado excepcionales aportes es el diagnóstico clínico. La clínica y los centros de investigación dedicados a la salud humana consumen alrededor de US\$7.000 millones anuales en la compra de sistemas diagnósticos, y la biotecnología es responsable del desarrollo de cientos de estos sistemas. Dos áreas claves de la biotecnología moderna que se están utilizando ahora en el diagnóstico de enfermedades son: la fusión celular para la producción de anticuerpos monoclonales y la tecnología del DNA. Los *tests* diagnósticos basados en anticuerpos monoclonales han estado en el mercado desde hace varios años y son una de las áreas más rentables de la biotecnología comercial. La técnica para su producción es ampliamente conocida, es económica y es, en concepto de analistas internacionales, una gran oportunidad para los países en vías de desarrollo, ya que les permitiría incursionar en el mercado internacional de la biotecnología y también desarrollar diagnósticos específicos para algunas de las enfermedades propias de estos países y para las cuales no existen diagnósticos (Daar, *et al.*, 2003).

Por el otro lado, la tecnología del DNA ha cambiado nuestro concepto en el diagnóstico clínico. Se

han venido desarrollando diferentes sistemas, entre los cuales vale la pena mencionar las sondas de DNA, en las cuales una secuencia de nucleótidos sirve de captura para el DNA de un determinado patógeno. Desde hace varios años se encuentran en el mercado *kits* diagnósticos basados en este sistema. Los *tests* diagnósticos basados en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) se utilizan actualmente para el diagnóstico de un gran número de enfermedades. Estas pruebas, que permiten obtener millones de copias de un segmento pequeño de DNA y, por lo tanto, detectarlo mediante pruebas bioquímicas, han sido empleadas para identificar enfermedades genéticas, patógenos (VIH, tuberculosis, virus de hepatitis, papiloma) y variaciones alélicas, entre otros.

Dentro de los sistemas más comercializados podemos mencionar la identificación de la mutación del factor V de la coagulación o mutación de Leiden, asociada con un riesgo a sufrir trombosis mayor al 80% en mujeres que reciben anticonceptivos, o suplemento de estrógenos cuando la mujer es heterocigota (Dahlback, 1995). Otro ejemplo claro de PCR en clínica es la identificación y cuantificación del VIH-1. En 1989, Hoffmann La Roche y Cetus deciden unir esfuerzos para iniciar desarrollos de diagnósticos basados en PCR. Sólo hasta 1996, la FDA aprueba el sistema *Amplicor HIV-1 Monitor Test*, el cual es empleado de rutina en la confirmación del virus. Poco tiempo después, Roche Molecular Diagnostics (RMD) desarrolla los sistemas de transcripción reversa – PCR e introduce al mercado la RT-PCR cuantitativa para monitorear el efecto de los retrovirales. En 2001, RMD es premiada con la patente 785 por desarrollar un dispositivo para PCR basado en fibra óptica, que permite amplificar, detectar y cuantificar ácidos nucleicos, mejor conocida como PCR en “tiempo real” (Roche Molecular Diagnostics - Chronology of PCR Technology). La PCR en tiempo real tiene varias ventajas sobre la PCR convencional:

- Permite cuantificar el número de moléculas presentes en una determinada muestra clínica, dato muy útil cuando se trata de patógenos humanos.
- El proceso es automatizado, evitándose los errores de interpretación subjetiva.
- La reacción puede llevarse a cabo en un tiempo menor.
- Permite identificar de tres a seis amplificados en la misma reacción de PCR, con alta especificidad.

Estas ventajas hacen prever que, en un tiempo corto, este sistema reemplazará a la PCR tradicional. Por otra parte, también es importante anotar que son muchas las patentes aplicadas en los dos últimos años, aproximadamente 240, en el campo del diagnóstico, y que muchas de ellas están relacionadas con la modificación de nucleótidos para hacer más versátil la detección de los amplificados. Por último, podemos decir que los diagnósticos moleculares pueden convertirse en un área relevante para nuestro país, puesto que la tecnología está ampliamente difundida; tiene menos requerimientos que el diagnóstico basado en reacción antígeno–anticuerpo; son más estables, lo que los hace atractivos para trabajo en zonas tropicales y, por último, son sistemas económicos en su producción.

Otro aspecto relevante que vale la pena tener en cuenta es que el diagnóstico se está moviendo hacia campos aún no explorados; en años recientes, ha habido un cambio dramático en el mercado del diagnóstico. El número de características que pueden ser analizadas se ha expandido, al igual que la variedad de técnicas analíticas empleadas para su detección. Pero tal vez la parte más interesante del mercado se mueve hacia las pruebas realizadas en casa. Éste es el caso de las pruebas de embarazo, las cuales son consideradas por la industria como pruebas desarrolladas a través de procesos biotecnológicos, o las pruebas para de-



terminar los niveles de insulina en el caso de diabéticos insulina-dependientes, en los cuales se cuenta con un laboratorio en casa. Estos sistemas modernos, conocidos como *Point of Care* (POC), están cambiando los conceptos en el diagnóstico clínico y deben ser tenidos en cuenta en la construcción de futuro.

#### - Vacunas

No podríamos hablar de los aportes de la biotecnología en el sector de la salud humana sin hacer referencia al campo de las vacunas. Las vacunas son, quizás, el avance médico más grande de los últimos 100 años. Este avance se hizo realidad a finales del siglo XVIII, cuando Edward Jenner aplicó las pústulas de la viruela del ganado en humanos y demostró que estos se protegían de viruela. Desde ese momento, la biotecnología ha aportado los medios para producir más de 15 vacunas que salvan muchas vidas y evitan enfermedades debilitantes. La erradicación de la viruela, la casi total erradicación del polio y la reducción dramática en la prevalencia de muchas enfermedades infecciosas son ejemplos contundentes de los beneficios derivados de las vacunas. Sin embargo, aún existen enfermedades infecciosas muy graves que requieren urgentemente el desarrollo de vacunas, como, por ejemplo, tuberculosis, malaria o sida, las cuales cobran alrededor de cinco millones de vidas anuales.

Una vacuna es una preparación de material antigénico usado para inducir inmunidad contra un agente patógeno. Por lo tanto, debe contener la forma menos perjudicial de éste y, al mismo tiempo, ser capaz de inducir una respuesta inmune eficiente en el individuo, que conlleve a la protección contra el patógeno en caso de una exposición futura. Actualmente, podemos hablar de dos tipos de vacunas: las tradicionales y las desarrolladas mediante la biotecnología moderna, que involucran la tecnología del DNA recombinante. Las vacunas tradicionales presentan una serie de des-

ventajas que eventualmente podrían ser superadas por las vacunas modernas, entre las cuales podemos citar:

- No todos los agentes infecciosos son cultivables; por eso, ha sido imposible desarrollar vacunas para diversas enfermedades.
- La producción de virus animales y humanos requiere costosos cultivos celulares; además, es un proceso extenso y complejo.
- Se requieren altas medidas de seguridad en el laboratorio para evitar que el personal se contamine y desarrolle la enfermedad.
- Existe el riesgo de que los organismos no se atenúen en su totalidad; por lo tanto, las vacunas que los contienen podrían ser una peligrosa fuente de dispersión de la enfermedad.
- Los organismos atenuados pueden revertir; por lo tanto, se deben realizar diversas pruebas para evaluar que la readquisición de su virulencia no ocurra.
- La mayoría de las vacunas actuales tienen “vida media” limitada; por lo tanto, requieren refrigeración y condiciones especiales para su almacenamiento, requerimientos complejos para países en vías de desarrollo.

Durante la última década, la tecnología del DNA recombinante ha proporcionado la base para la creación de vacunas de nueva generación, que llegan a solucionar muchas de las limitaciones de las vacunas tradicionales. De esta forma, la disponibilidad de la clonación genética ha impulsado a los investigadores a contemplar nuevas estrategias para el desarrollo de vacunas, por ejemplo:

- Los genes de virulencia de un agente patógeno pueden ser deleccionados o modificados sin que éste pierda sus propiedades inmunogénicas. En este caso, el organismo genéticamente manipulado puede ser usado como una “vacuna viviente” segura, pues se elimina la probabilidad de reversión de su virulencia. Si bien numerosos patóge-

nos prevalentes en países en vías de desarrollo han sido atenuados genéticamente, aún no se ha aprobado ninguna vacuna para uso en humanos. Sin embargo, FluMist, vacuna atenuada de influenza, está en su etapa final de aprobación por la FDA (University of Michigan 2001).

- Se pueden diseñar vectores especiales que porten y expresen antígenos de interés, pero que a su vez no sean virulentos. Algunos virus no son nocivos para humanos o animales y, naturalmente, son éstos los permitidos como vectores vacunales virales. Ellos son usados para portar los genes de otro patógeno y presentarlo a las células del sistema inmune. Hasta el presente, no se ha aprobado ninguna vacuna de vectores virales, pero algunas de ellas han superado con éxito la fase II de experimentación, como en el caso de la vacuna de HIV utilizando el virus vaccinia (Belshe *et al.*, 2001).
- Para el caso de agentes patógenos de difícil cultivo, los genes que codifican para proteínas antigénicas pueden ser aislados, clonados y expresados en sistemas especiales para ser empleados luego como vacuna. Este tipo se conoce como vacunas de subunidades, clasificadas como vacunas recombinantes puesto que su producción depende de la maquinaria genética de un organismo heterólogo, por ejemplo, *Escherichia coli* o *Saccharomyces cerevisiae*. La primera vacuna recombinante aprobada fue la de hepatitis B, en la cual el antígeno de superficie del virus (HBsAg) fue clonado y expresado en levaduras (Valenzuela *et al.*, 1982). Cuba produce también esta vacuna y muchas otras y es, hasta el momento, el único país del tercer mundo que exporta productos de la ingeniería genética que genera ingresos por US\$40 millones (Dieterich, 1995).
- Las vacunas de DNA desnudo representan la idea más atractiva en el desarrollo de las nuevas

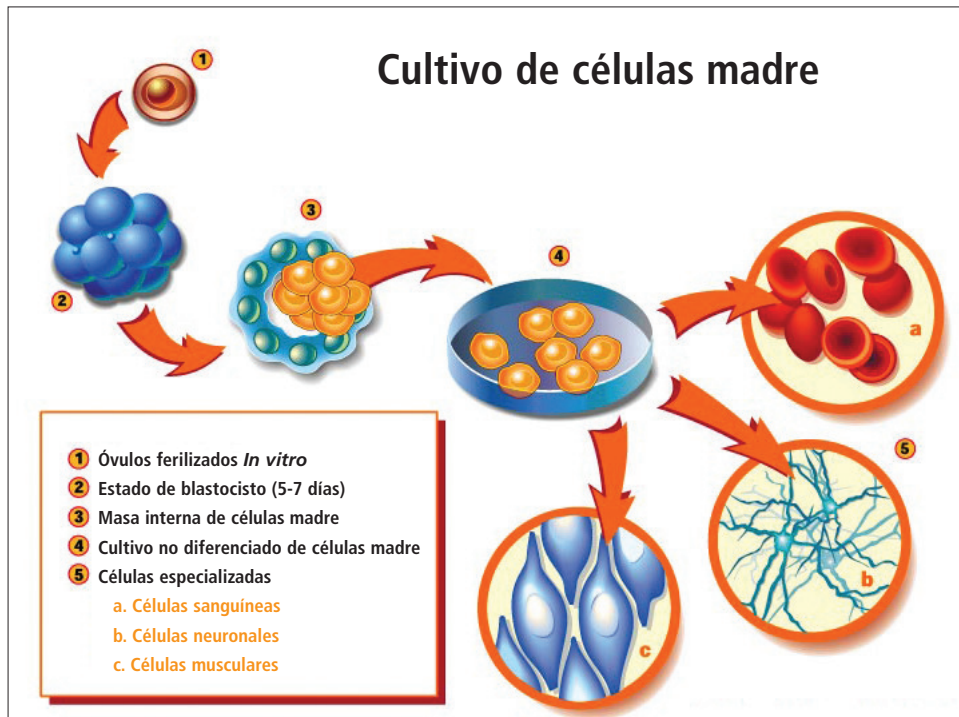
vacunas. En esta metodología, un plásmido (material genético extracromosomal) es utilizado como transportador del DNA del patógeno para ser introducido directamente dentro del huésped. La maquinaria celular se encarga de transcribir y traducir el DNA del patógeno, produciendo la proteína o antígeno, y se genera entonces la respuesta inmune contra él. Las vacunas de DNA desnudo presentarían grandes ventajas, pueden ser desarrolladas en un intervalo de tiempo más corto y a un costo más bajo que las mencionadas anteriormente, serían más seguras y, lo más importante, sobrepasarían las barreras de la cadena de frío, que las haría accesibles a sitios lejanos y donde no existe infraestructura para su manejo. Ya se han presentado aportes en este campo para el HIV: la vacuna de DNA desnudo desarrollada por Amara y colaboradores (Amara *et al.*, 2001) ha mostrado protección en monos retados con una cepa altamente virulenta del virus de la inmunodeficiencia humana adquirida.

#### - Investigación de frontera

Por último, queremos hacer mención de uno de los campos más prometedores de la biotecnología en el sector de la salud humana: el desarrollo de las células madre con fines terapéuticos. Las células madre son totipotenciales o pluripotenciales, derivadas de células embrionarias no diferenciadas y que, como su nombre lo indica, tienen la potencialidad de desarrollarse en cualquier tipo de células diferenciadas.

Como se puede observar en la figura 2, los usos terapéuticos de este desarrollo científico son inmensos: regeneración de tejidos como el nervioso para tratamiento de enfermedades limitantes como parálisis o ceguera; enfermedades metabólicas, como diabetes por falta de producción de insulina; enfermedades cardiovasculares, trasplantes de piel y órganos, que ahora son una realidad muy cercana. La tecnología para producir

Figura 2. Cultivo de células madre (modificado de www.stvolkletki.ru)



células madre avanza a pasos agigantados y dado su potencial, no es de extrañar que los países industrializados estén invirtiendo sumas enormes en su desarrollo. Para dar un ejemplo de lo anterior, vale la pena analizar el caso del estado de San Francisco, E.U., en el cual se destinó el impulso de una lotería similar a Baloto para apoyar el desarrollo de células madre.

#### Industria farmacéutica

El motor más fuerte en el desarrollo biotecnológico es, sin lugar a dudas, la industria farmacéutica, la cual tiene un mercado que se estima en cerca de US\$491.000 millones y se está aproximando rápidamente a los US\$500.000 millones (IMS Health). Diferentes técnicas biotecnológicas son utilizadas por estas industrias en el desarrollo de drogas modernas y en diferentes tratamientos médicos. En algunos casos, la ingeniería genética es la base tanto del proceso como del producto. En otros, la tecnología genética es utili-

zada simplemente como una herramienta en el desarrollo del nuevo producto. El primer producto biotecnológico aprobado para salud humana fue la insulina sintética, la cual llegó al mercado de los Estados Unidos en 1982. Desde ese momento, más de 170 drogas relacionadas con biotecnología han sido aprobadas por la FDA, de las cuales, 113 están en el mercado y otras 350 se encuentran en sus últimas etapas de desarrollo (tabla 3).

Los aportes de la biotecnología al sector farmacéutico son variados y se encuentran enfocados de distinta manera:

- Directamente en el desarrollo del producto. Éste es el caso, por ejemplo, de la insulina recombinante humana, la hormona del crecimiento y el factor VIII de la coagulación, todos ellos productos obtenidos a través de ingeniería genética.

Tabla 3. Lista parcial de drogas producidas por la biotecnología moderna

Droga	Enfermedades
Activasa	Ataque cardiaco, embolismo pulmonar
AZT	Infección por VIH
BeneFix	Hemofilia B
Celebrex	Osteoartritis y enfermedades reumáticas
Enbrel	Artritis reumatoide
Epogen	Anemia asociada con falla renal
Gleevec	Leucemia mieloide crónica
Herceptin	Ciertos tipos de cáncer de seno
Humulin	Diabetes
Protropin	Deficiencia de hormona de crecimiento
Provigil	Narcolepsia
Remicade	Enfermedad de Chron y artritis reumatoide
Rituxan	Linfoma de Hodgkin (cáncer)
Xenical	Obesidad
Zocor	Niveles altos de colesterol

Fuente: Biotechnology Industry Organization and FDA

- Identificando compuestos activos para el desarrollo de nuevos fármacos. Éste es el caso de la gran mayoría de drogas; un ejemplo clásico puede ser la búsqueda de nuevos antibióticos, productos derivados del conocimiento del mundo microbiano.
- Desarrollando sistemas de identificación de compuestos farmacológicos de alto rendimiento. Como un ejemplo de este aporte de la biotecnología, podemos mencionar la búsqueda de nuevos compuestos antimaláricos; en este caso, la búsqueda tradicional se realiza evaluando los compuestos activos en cultivos convencionales y determinando la viabilidad de los parásitos. Actualmente, mediante biología molecular se ha logrado fusionar en un gen constitutivo la proteína fluorescente verde (GFP): cuando el parásito es viable, fluoresce, y cuando el compuesto activo es efectivo contra él, no hay fluorescencia. Este sistema de búsqueda acorta el tiempo, facilita el trabajo y reduce los costos de la industria.
- Desarrollando sistemas para el diseño de compuestos activos. Estos sistemas conocidos como química combinatoria permiten ahora, mediante modelaje molecular por computador, crear un gran número de compuestos para ser analizados de acuerdo con su actividad biológica. La colección resultante de estos compuestos se conoce como librería, la cual es analizada para seleccionar el compuesto más promisorio. Este sistema de diseño de drogas es excepcionalmente eficiente, ya que permite la automatización y preparación de muchos compuestos únicos, utilizando muy pocos experimentos individuales.
- Desarrollando sistemas que permiten identificar las reacciones adversas a drogas (RAD). En 1998, el *Journal of the American Medical Association* reportó que, en 1994, las reacciones adversas a drogas fueron la causa de más de 2,2 millones de casos serios y más de 100.000 muertes, siendo RAD una de las causas líderes de hospitalización y muerte en Estados Unidos. Actualmente, no existen métodos sencillos que

nos permitan identificar cuándo un individuo responderá o no a un determinado tratamiento, o tendrá un efecto negativo al suministro de una droga. Así, la industria farmacéutica está limitada para desarrollar drogas que se ajusten a todos, y la idea es identificar los individuos que puedan sufrir reacciones adversas antes de que esto suceda. La solución parece estar cerca y es la llamada farmacogenómica.

La farmacogenómica estudia la forma en que la herencia genética de un individuo afecta la respuesta de su organismo a una droga determinada. El término viene de las palabras farmacología y genómica y es, por lo tanto, la intersección de la farmacéutica y la genética. La pregunta que surge es: ¿cómo funcionará realmente la farmacogenómica? Esto será posible cuando podamos catalogar completamente las variaciones genéticas humanas. En la actualidad, hay una carrera mundial por identificar y caracterizar los polimorfismos de nucleótido simple, más conocidos como SNP, los cuales podrán ser utilizados como herramientas diagnósticas para predecir cuándo un individuo responderá a una determinada droga. La farmacogenómica mantiene la promesa de que, en algunos años, la medicina será personalizada. El ambiente, la dieta, la edad, el estilo de vida y el estado de la salud son factores que influyen en la respuesta personal a una droga, pero al entender su composición genética se podrán desarrollar drogas personalizadas con una mayor eficiencia y seguridad. Un ejemplo de esto es la llamada enzima tiopurín-metiltransferasa (TPMT), la cual rompe una clase de compuestos terapéuticos llamados tiopurinas y juega un papel importante en la quimioterapia de un tipo común de leucemia en niños. Un pequeño porcentaje de caucásicos tiene variaciones genéticas que impiden la síntesis de la forma activa de esta enzima y, por lo tanto, no son capaces de degradar la droga, que entonces se acumula a niveles tóxicos. Actualmente, los médicos realizan un diagnóstico genético para identi-

car a pacientes con este defecto, y monitorean los niveles y dosis de la droga (Pistoi, 2002).

Tampoco podemos pasar por alto avances científicos que están en la frontera del conocimiento y que tienen un potencial inmenso en el diseño de futuras drogas. Estamos hablando del RNA de interferencia (RNAi). El silenciamiento post-transcripcional de genes, inicialmente considerado un fenómeno limitado a las petunias y a otras pocas especies de plantas, es ahora uno de los tópicos más “calientes” en biología molecular, desde que se descubrió que es un mecanismo empleado tanto por plantas como por animales. El descubrimiento de pequeñas moléculas de RNA que modulan muchas de las respuestas coordinadas en un organismo vivo fue el nacimiento de esta tecnología que se está convirtiendo en una realidad. Los avances en el RNAi han resultado en el descubrimiento de blancos de drogas que controlan enfermedades y en la capacidad para confirmar el papel que juegan estos blancos en la patogénesis de la enfermedad. Los últimos desarrollos en RNA sintético de interferencia para virus como el de la inmunodeficiencia humana (VIH) nos acercan a la posibilidad de un tratamiento más efectivo para enfermedades aún no controladas, como el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (Sida) (Shankar *et al*, 2005).

Como conclusión, podemos decir que la biotecnología es, realmente, la transformación del conocimiento científico en bienes y servicios con la intención de mejorar la calidad de vida de la humanidad, y que ofrece inmensas posibilidades para aquellos que sean capaces de transformar este conocimiento.

### Indicadores y potencialidades del sector en Colombia

Colombia está próxima a firmar un tratado de libre comercio que puede traer grandes beneficios pero que, por el otro lado, también puede traer

graves consecuencias económicas. El país tiene una posición geográfica estratégica, que debería ser una ventaja competitiva si la sabemos aprovechar. Es punto central para los mercados del norte y del sur, y tiene posibilidades marítimas por sus dos costas, pero estas ventajas sólo serán útiles si tenemos la capacidad de desarrollarnos científica y tecnológicamente.

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la principal causa de mortalidad en la población colombiana por problemas de salud la constituyen las enfermedades cardiovasculares, que son responsables de cerca de 50.000 defunciones al año. Las siguen diferentes tipos de cáncer y enfermedades infecciosas (fuente: DANE – estadísticas vitales). Entre estas últimas, la mayor causa de mortalidad se presenta por enfermedades respiratorias agudas, con 4.858 defunciones, seguida por el VIH/Sida, que cobró 2.115 vidas; enfermedades infecciosas intestinales, con 1504 muertes; tuberculosis, responsable de 1.328 muertes, y septicemia, con 1.079 casos fatales.

En cuanto a vigilancia epidemiológica, el Instituto Nacional de Salud (INS) reportó, para el año 2004, un total de 123.177 casos de malaria y aunque su mortalidad es baja, 25 muertes en el mismo año, este mal agudiza la pobreza al reducir significativamente la productividad y la estabilidad social. Con respecto al dengue, el país reportó 27.523 casos en el año 2004, de los cuales el 90% son de dengue clásico y el 10% de dengue hemorrágico. Con respecto a leishmaniasis, un problema grave de salud en nuestro país, se presentaron 10.794 casos (INS).

El mercado colombiano de medicamentos destinados a combatir estas enfermedades representó para el año 2002 una cifra cercana a los US\$1.500 millones, equivalentes a 3,75 billones de pesos, que corresponden al 36% del total del gasto en salud (Departamento Nacional de Planeación,

Cuentas Nacionales de Salud – 2002). Estas cifras muestran el potencial que tendría el país si se fabricaran más medicamentos. La industria farmacéutica y cosmética colombiana contribuye con el 3% del producto interno bruto del sector industrial colombiano (Mojica & Villamil, 2002). El país importa, en productos farmacéuticos y de cuidado personal, aproximadamente US\$213.000 millones anuales. La industria farmacéutica colombiana se ha venido consolidando con el tiempo: está conformada por la asociación de laboratorios nacionales e internacionales, que constituyen algo más de 300 firmas. La calidad de los medicamentos producidos por estas industrias registra enormes avances a partir de la creación del Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), pero muy especialmente a causa de la adopción de las Buenas Prácticas de Manufactura en la fabricación. Hoy se encuentran certificadas con estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) 170 plantas de producción local y 70 localizadas en otros países. En febrero de 2004, el Ministerio de la Protección Social coordinó un estudio para fijar la Política Farmacéutica Nacional, cuyo propósito es optimizar la utilización de los medicamentos, reducir las inequidades en el acceso y asegurar la calidad de los mismos. Algunos de los propósitos trazados dentro de esta política son:

- Los suministros e incentivos para la industria nacional y, especialmente, la aplicación de incentivos para los laboratorios de capital nacional o extranjero que tengan producción local, fabriquen medicamentos huérfanos, de interés en salud pública o preparaciones magistrales de productos no comercializables.
- El desarrollo de capacidad técnica, para investigación, producción, inspección, vigilancia y control de productos biológicos, biotecnológicos, homeopáticos, naturales y otros.

En cuanto a las enfermedades prevalentes en Colombia, podemos decir que la gran mayoría de ellas presentan potencial para el desarrollo de la biotecnología, y que el país cuenta con grupos calificados de científicos para dar respuestas que contribuyan a mejorar la calidad de vida de los colombianos. Por ejemplo, el mundo entero busca una vacuna efectiva contra la malaria. Al respecto, podemos decir que Colombia tiene tradición en este campo; de hecho, el primer candidato de una vacuna sintética contra esta enfermedad fue reportado por el grupo del Dr. Manuel Elkin Patarroyo (Patarroyo, *et al.*, 1988). Por otra parte, los trabajos realizados por el grupo de inmunología de la Universidad del Valle, liderados por el Dr. Sócrates Herrera, son otro ejemplo claro de las fortalezas del país en este campo (Herrera *et al.*, 2004). Con respecto al desarrollo de diagnósticos para enfermedades prevalentes, podemos mencionar el método basado en agar de capa delgada para la tuberculosis, liderado por el Dr. Jaime Robledo, de la Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB), y que se encuentra en fase III de evaluación (Mejía *et al.*, 2004). En este mismo campo, la prueba de reacción en cadena de la polimerasa basada en un gen específico del bacilo causante de tuberculosis y que actualmente se utiliza a nivel mundial para la diferenciación de este microorganismo fue reportada por un grupo colombiano (Del Portillo *et al.*, 1991). No sólo en el campo de vacunas o diagnósticos existen potencialidades en el sector salud que pueden ser resueltas con el uso de biotecnología; el grupo de terapia regenerativa celular del Hospital Universitario San Vicente de Paúl y la Universidad de Antioquia han realizado transplantes de células madre obtenidas a partir de médula ósea para reparar sus arterias coronarias (Medilegis) demostrando de esta manera la capacidad científica del país aun en campos que están en las fronteras del conocimiento.

Finalmente, debe mencionarse un área de investigación muy importante para el país, que involucra

los compuestos activos que puedan ser útiles para la industria farmacéutica. En este sentido, debe mencionarse, por ejemplo, la colaboración entre INVEMAR y grupos de investigación en química de productos naturales marinos, donde se han identificado compuestos antimicrobianos, antitumorales y anticancerígenos; algunos de ellos han sido caracterizados y se han realizado estudios detallados de metabolitos secundarios (Melgarejo *et al.*, 2002).

### Propuesta de prioridades para el sector salud e industria farmacéutica

En la tabla 4, se identifican las cuatro prioridades que, según concepto de los expertos, deben ser impulsadas para el desarrollo de la biotecnología en este sector.

No obstante que los expertos definieron los productos y focos del desarrollo biotecnológico, de acuerdo con la información revisada, nosotros consideramos que el país debe, a la vez, desarrollar capacidad en tecnologías como el cultivo de células madre, RNA de interferencia y nanotecnología, requeridas para desarrollos futuros en el campo de la salud.

### Sector medio ambiente y energía

#### Aporte de la biotecnología al sector

Al hablar del sector ambiental, deben considerarse dos aspectos fundamentales. Uno incluye lo relacionado con la diversidad biológica y los recursos genéticos que ésta alberga, y el segundo agrupa aquellas acciones encaminadas a su protección y uso sostenible.

La biodiversidad es la medida de riqueza de un ecosistema y se determina de acuerdo con la variedad de organismos que lo componen. Mientras mayor sea la biodiversidad, más rico será el ecosistema. De acuerdo con la Ley 165 de 1994, el

Tabla 4. Propuesta de Prioridades para el Sector Salud e Industria Farmacéutica

Producto o Servicio	Foco de Investigación	Desarrollo Tecnológico	Conocimiento Básico	Sectores de Apoyo
<b>Productos activos derivados de la biodiversidad</b>	Bioprospección con fines farmacéuticos y cosméticos. Anticancerígenos, antimaláricos, antibióticos.	Screening de alto rendimiento. Genómica. Bioinformática. Bioprocesos. Ingeniería de procesos.	Fisiología, Microbiología, Química. Bioquímica. Biología molecular y celular. Antropología. Farmacología.	Abogados especializados en propiedad intelectual - patentes, transferencia de tecnología, gestión del conocimiento. Estudios de mercado.
<b>Vacunas</b>	Desarrollo de métodos de prevención de enfermedades relevantes para el país: malaria, tuberculosis, dengue.	Capacidad de evaluación. Sistemas de bioseguridad. Sistemas de producción eficientes. Ingeniería de procesos.	Inmunología, Microbiología, Virología, Bioquímica. Biología molecular y celular, Medicina. Epidemiología. Ingeniería química.	Invima, Icontec. Disponibilidad de laboratorios certificados. Propiedad intelectual.
<b>Diagnóstico y pronóstico de enfermedades</b>	Desarrollo de métodos de diagnóstico en enfermedades relevantes para el país: malaria, tuberculosis, dengue, leishmaniasis, enfermedades respiratorias agudas, enfermedades diarreicas, cardiovasculares y cáncer.	Ingeniería de procesos. Bioinformática. Infraestructura en equipos. Plataformas de evaluación, Genómica, Proteómica, Metabolómica,	Genética, Epidemiología. Biología Molecular. Química. Microbiología. Parasitología. Virología. Medicina.	Redes de laboratorios de referencia para validación. Invima para certificaciones Icontec.
<b>Fármacos</b>	Desarrollo de capacidad en la producción de biofarmacéuticos. Desarrollo de modelos de <i>screening</i> para compuestos terapéuticos en enfermedades relevantes. Desarrollo de modelos animales.	Biología molecular, procesos de escalamiento, procesos de purificación, Química combinatoria, Farmacogenómica, Ingeniería de proteínas, Microarreglos, Bioinformática. Transformación genética.	Síntesis química. Genética. Biología molecular. Bioquímica.	Regulación para administración de drogas.



término incluye la diversidad existente dentro de cada especie (genes), entre las especies y los ecosistemas. Es el resultado de procesos evolutivos naturales y culturales desde hace más de tres mil millones de años. Por su parte, los recursos genéticos han sido definidos como todo material de naturaleza biológica que contenga información genética de valor o utilidad real o potencial.

La conservación y uso sostenible de la biodiversidad incluye, entre otros, la conservación *in situ*, a través de áreas protegidas, el establecimiento de bancos de germoplasma, la reducción y mitigación de procesos y actividades que causan pérdida o deterioro de la biodiversidad, y la recuperación de ecosistemas degradados y especies amenazadas.

El potencial económico de la biodiversidad depende en gran medida de su valorización. El desarrollo de nuevos productos e industrias usando los recursos genéticos de la flora, fauna, microorganismos y de otros recursos biológicos constituye un objetivo de la valorización de la biodiversidad. Esta valorización sostenible de la biodiversidad contribuye a movilizar mayores esfuerzos para su utilización, aumentando la capacidad negociadora, lo cual, en conjunto, contribuye a convertir la ventaja comparativa de riqueza biológica en ventaja competitiva para el desarrollo sostenible. No es posible concebir ningún aprovechamiento de la biodiversidad si no es sostenible desde el punto de vista ambiental, económico y social (CEPAL, 2005).

La diversidad biológica es considerada como la materia prima de la biotecnología. Los países megadiversos contienen una gran riqueza de diversidad biológica y endemismos (especies exclusivas de un lugar), así como centros de diversidad y domesticación de un gran número de recursos fito y zoogenéticos. Colombia ocupa el segundo lugar entre los doce países con mayor diversidad biológica

del mundo, después de Brasil. El 46% del país está cubierto de bosques. Cuenta con abundantes ecosistemas de humedales, ciénagas y zonas bajas inundables, con una alta biodiversidad e importantes para la regulación hídrica.

La biotecnología moderna ofrece la oportunidad de convertir la biodiversidad en elemento de desarrollo económico y social a través de su valoración, uso sostenible y conservación. El lazo entre la biotecnología y la biodiversidad es cada vez más fuerte, gracias al uso de los marcadores moleculares y, más recientemente, al de la genómica, con aplicaciones en la conservación, caracterización y valoración de la biodiversidad a través de la búsqueda de nuevos compuestos útiles en diversas industrias. Esto es lo que se conoce como bioprospección.

Para los países en vías de desarrollo, se espera que las oportunidades de mercado de productos biotecnológicos estén representadas por la utilización de tecnologías que permitan la mejora de procesos de producción de biofertilizantes, bioplaguicidas, biocombustibles, enzimas con aplicaciones en las industrias del cuero, textil y de papel. Sin embargo, se espera que estos países tengan mejores oportunidades en áreas donde se agrega valor mediante la transformación de la materia prima, como la conversión de carbohidratos o de desechos orgánicos en plásticos, edulcorantes, fibras, amino ácidos, combustibles y fertilizantes. Para estos procesos, la utilización de microorganismos y enzimas, naturales o mejorados con las herramientas de la biotecnología, son la clave del éxito.

#### Bioprospección

La bioprospección se puede definir como la búsqueda sistemática de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, organismos y otros productos naturales valiosos, y su desarrollo. Su objetivo fundamental es el uso sostenible y conservación de los recursos biológicos mediante la biotecnología

logía, unido esto al desarrollo científico y socioeconómico de los países de origen y las comunidades locales. Como los países megadiversos, entre los que está Colombia, poseen entre 60% y 70% de la diversidad biológica conocida en el mundo, existe sumo interés en aprovechar las posibilidades de la biotecnología y de la bioprospección para lograr el desarrollo económico sostenible de estos. Los bosques tropicales, en donde se encuentran las dos terceras partes de las plantas con flores, son una fuente muy importante de principios activos para diferentes industrias (CEPAL, 2005).

La bioprospección es un proceso complejo y de largo plazo (Sittenfeld, 2003). Sin embargo estudios en diversidad microbiana y de aplicación de la biotecnología ya han generado numerosos productos y éxito comercial. Se pueden citar algunos ejemplos, como el de la Taq polimerasa, cuyo mercado fue de US\$80 millones; aditivos de enzimas detergentes, cuyo mercado se espera crezca a US\$600 millones, y el de celulosas termofílicas, que ya se han introducido en detergentes. Lo mismo aplica para enzimas adaptadas al frío (Hunter-Cevera, 1998) o para biosensores que pueden ser utilizados en el monitoreo ambiental y para ecotoxicología (Bachmann, 2003).

Hoy en día, existen compañías dedicadas a la bioprospección. Kina Biotech S. L. inició sus operaciones en España y trabaja en la valorización comercial de la diversidad de plantas y microorganismos de la Región Andina, con fines de uso en las industrias farmacéutica, cosmética y nutracéutica. Sus métodos de investigación se basan en librerías químicas y genéticas generadas del material vegetal o microbiano. Los extractos son procesados usando técnicas innovadoras de química analítica y biotecnología (Malpica Lizarzaburu, 2004). Diversa, compañía de Estados Unidos, busca el descubrimiento de nuevos genes y vías metabólicas a partir de fuentes naturales (ecosis-

temas). A través de tecnologías patentadas, identifica rápida y fácilmente sustancias objetivo en muestras de los ecosistemas evaluados, descubriendo productos novedosos de los genes. Con la tecnología que utiliza Diversa, el DNA es aislado directamente de muestras del ambiente, sin tener que pasar por la etapa de cultivo, accediendo a microorganismos que con los métodos tradicionales sería imposible por la dificultad de su cultivo. El método permite tener acceso a magnitudes mucho mayores de microorganismos que los tradicionales.

El primer instrumento oficial que proporcionó las herramientas necesarias para que los países megadiversos pudieran beneficiarse con el aprovechamiento de sus recursos genéticos fue el Convenio sobre la Diversidad Biológica, firmado en Río de Janeiro en 1992. En el convenio, se establece que los gobiernos nacionales tienen la facultad de controlar el acceso a sus recursos genéticos. Se reconoce que la diversidad biológica es un recurso soberano de los países, cuyos beneficios económicos deben llegar tanto a los proveedores como los usuarios. Los gobiernos deberán asegurar *la conservación, el uso sostenible y la participación equitativa en el uso comercial de estos recursos*. Antes del inicio de cualquier actividad de bioprospección, es esencial tener claro el marco jurídico, político y normativo que permita preservar y utilizar los recursos biológicos del ecosistema. Aplicar la disposición del CDB, que relaciona derechos soberanos y acceso a recursos biológicos, depende de la capacidad que tenga el país de valorizar los recursos. (CEPAL, 2005).

De acuerdo con Ana Sittenfeld (2003), la bioprospección integra cuatro elementos: a) las políticas macro, b) los inventarios de diversidad biológica y los sistemas de gestión de información, c) la transferencia de tecnología y d) el desarrollo de negocios y la planificación estratégica. Así mismo, se enfatiza en que sus beneficios deberían ser diri-

gidos hacia la conservación de la biodiversidad. Como paso previo es indispensable la organización de equipos interdisciplinarios y multidisciplinarios de científicos, abogados, expertos en conservación y desarrolladores de negocios. Los cuatro elementos se describen a continuación (Foro Global de Biotecnología, 2003):

- Las políticas macro representan el punto de partida de las estrategias de bioprospección. Incluyen el conjunto de regulaciones nacionales e internacionales, leyes e incentivos económicos que determinan la propiedad de la biodiversidad, la propiedad intelectual, las pautas de utilización de la tierra, el acceso a recursos biológicos, y las normas para la promoción de la tecnología, y para el desarrollo industrial. Sin acceso, no será posible compartir beneficios.
- Los inventarios de la biodiversidad generan catálogos de recursos disponibles y su ubicación. Pueden prevenir daños a los ecosistemas, las especies y las poblaciones, indicando los recursos que están disponibles, y donde pueden ser reunidos sin dañar el ambiente.
- La falta de capacidad científica en investigación está identificada como el mayor problema y obstáculo para la implementación de la bioprospección, ya que por su naturaleza, es una actividad intensiva, científica y tecnológica. Una fuerte capacidad científica generará alianzas que pueden atraer a su vez nueva tecnología e inversión, disminuyendo los riesgos de inversión, mayor entrenamiento e información.
- La bioprospección, se debe enfocar en una escala comercial como un negocio basado en la biotecnología, que agrega valor a un recurso natural. El desarrollo de este tipo de negocio debe considerar la generación de conocimiento, los mercados, las necesidades de los mismos, sus principales actores, las capacidades nacionales en ciencia y

tecnología, así como las estrategias y metas institucionales y comunitarias.

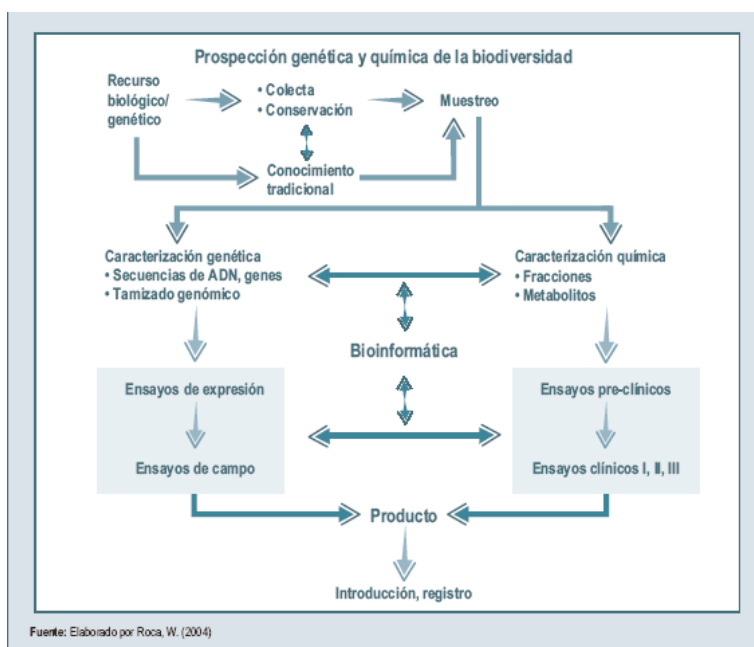
Las nuevas herramientas biotecnológicas ofrecen nuevos productos y servicios, y presentan oportunidades y desafíos derivados del uso de los recursos biológicos, pero a la vez requieren del análisis de riesgos y beneficios. Aunque el principio de bioprospección puede ser sencillo, se requiere de una estrategia diseñada adecuadamente, que permita la interacción entre diversidad y biotecnología, y que debe ser complementada con otras herramientas para la protección de la biodiversidad y el desarrollo socioeconómico (figura 4) (Foro Global de Biotecnología, 2003).

#### Biorremediación

La biotecnología ambiental es el uso de los organismos vivos, microorganismos y plantas en una gran variedad de formas, con el fin de tratar desechos peligrosos y prevenir la contaminación. Para estos fines, se utilizan algunas plantas que remueven grandes cantidades de metales tóxicos y radiactivos del suelo o del agua y los incorporan al tejido vegetal donde no son tóxicos ni ocasionan daño; bacterias que poseen enzimas que les permiten alimentarse de materiales peligrosos, transformando o degradando las toxinas en materiales no dañinos que son reciclados, y algunas algas que producen secreciones que ligan metales, de tal forma que son removidos de la cadena alimenticia (Rowley, 2002).

La reducción de la contaminación del aire o de los sistemas acuáticos y terrestres mediante la biodegradación de sustancias contaminantes, se conoce como biorremediación. Es un fenómeno común en la naturaleza, que se produce cuando en un ecosistema se presenta una alteración del equilibrio (ej. tala de árboles), que origina un aumento en la materia orgánica en el suelo, llevando al aumento en organismos saprófitos que mineralizan la materia orgánica que luego es reci-

Figura 4. Bioprospección moderna para la búsqueda, valorización y uso de productos de la biodiversidad (CEPAL, 2005)



clada y humificada. Algunas aplicaciones de la biorremediación son el tratamiento de aguas domésticas e industriales, de aguas procesadas y de consumo humano, el tratamiento de suelos y desechos sólidos (Rowley, 2002).

El fundamento bioquímico de la biorremediación se basa en que en la cadena respiratoria o transportadora de electrones de las células, se van a producir una serie de reacciones de óxido-reducción cuyo fin es la obtención de energía. La cadena la inicia un sustrato orgánico (compuestos hidrocarburos) que es externo a la célula y que actúa como dador de electrones, de modo que la actividad metabólica de la célula acaba degradando y consumiendo dicha sustancia.

Los factores que afectan la eficiencia de la biorremediación son complejos y varían dependiendo de la aplicación (*in situ* o *ex situ*). En muchos casos, es difícil distinguir entre los factores bióticos y abióticos que contribuyen con el proceso. Exis-

ten dos estrategias para ayudar a un ecosistema a remediarse: la primera es agregar nutrientes con el fin de estimular las poblaciones naturales y así aumentar su actividad, y la segunda es introducir microorganismos exógenos dentro del ecosistema como forma de remediación. En este último caso, con las nuevas técnicas de la ingeniería genética se pueden emplear microorganismos genéticamente modificados, haciéndolos más eficientes en la biorremediación.

Una de las aplicaciones más interesantes de la biorremediación es la limpieza de derrames de petróleo. Para esto, se utilizan bacterias y hongos capaces de degradar petróleo fisiológica y metabólicamente, llamados organismos hidrocarburoclásticos. Existen más de 100 especies de 30 géneros capaces de utilizar hidrocarburos como método de subsistencia. Las técnicas de biorremediación para descontaminar los suelos, las fuentes de agua y el aire, representan una herramienta fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible del país.

### Aplicaciones industriales y energía

Los microorganismos o sus productos están reemplazando procesos altamente dependientes en reactivos químicos, muchos de los cuales están implicados en grave contaminación ambiental. En el sector industrial, las principales aplicaciones se centran en la búsqueda de nuevos compuestos para reemplazar materias primas derivadas de combustibles fósiles, y de nuevas fuentes de materias primas para la producción de biopolímeros, de sistemas biológicos como células y enzimas para reemplazar métodos no biológicos y de utilización de recursos naturales renovables (biomasa) o de desechos industriales en fuentes de energía alternativa. Hoy en día, cientos de enzimas nuevas y otros productos de la biotecnología hacen más fáciles y rápidos los procesos industriales.

Las aplicaciones más prometedoras de los nuevos modelos de enzimas son los biopolímeros y los biocombustibles. Los biopolímeros descritos anteriormente utilizan muy pocos hidrocarburos en su manufactura y son biodegradables, no aumentan el calentamiento global y no producen contaminación al ser desechados (*The Economist*, 2003).

La búsqueda de la conversión de desechos agrícolas (llamados biomasa) en combustible ya empieza a tener resultados. Actualmente, con el alto precio del petróleo (más de US\$50 por barril) la investigación en este tema es una alternativa interesante para muchos países. Ya comienzan a verse los resultados en la búsqueda de petróleo crudo de carbohidratos o biocombustible de azúcares fermentables derivados de la celulosa.

Por muchos años, se ha obtenido etanol a partir de almidón de maíz y otros granos, el cual se mezcla con la gasolina utilizada en los automóviles. Ahora, si se convierte la celulosa en combustible, se abre la posibilidad de una mayor utilización de los desechos o biomasa vegetal. Los combustibles pueden producirse de árboles, residuos

forestales y desechos sólidos industriales, todos estos recursos renovables que producen menor contaminación que los derivados del petróleo. Se pueden obtener diversos combustibles como el etanol, producto de la fermentación de cebada, maíz o pulpa de desechos agrícolas, y el biodiesel producto de la fermentación de aceite de canola u otros. La producción de etanol a partir de residuos de cultivos es altamente eficiente en energía. De acuerdo con BIO, cuando se perfeccione, el proceso producirá de ocho a diez veces más energía que la que consume, y a la vez se reducirá la dependencia de petróleo importado y el volumen de gases de invernadero expelidos a la atmósfera (McGarvey, 2005). Otra fuente de energía alternativa en investigación es el hidrógeno obtenido a partir de agua y luz solar, utilizando procesos fotobiológicos naturales de la actividad fotosintética de bacterias y algas verdes.

La biotecnología puede reducir el impacto que las industrias de manufactura ocasionan tradicionalmente en el medio ambiente. Los procesos industriales tradicionales requieren de altas temperaturas y grandes cantidades de energía, generan muchas basuras y producen desechos químicos como ácidos y álcalis. La biotecnología puede crear procesos industriales más amigables con el medio ambiente, de mejor calidad y más costo-efectivos (Rowley, 2002).

Las aplicaciones de procesos biotecnológicos en manufactura están enfocadas hacia la disminución de basuras, de emisiones al aire, de consumo de energía y de químicos tóxicos en industrias como la textil y la del papel. En un estudio realizado se identificaron los siguientes efectos potenciales del uso de la biotecnología en procesos industriales (BIO, 2005):

- La utilización de nuevas enzimas que producen etanol a partir de biomasa, permitiría generar de ocho a diez veces más energía que la requere-

rida para su producción; se considera que un galón de etanol puede reemplazar 30 galones de petróleo.

- Las fábricas de textiles pueden reducir del 30 al 50% el consumo de agua usando biotecnología en sus procesos industriales.
- La utilización amplia de los biopolímeros podría reducir las basuras en corrientes de agua en más de un 80%. Así mismo, al ser elaborados a partir de ácido poliláctico, disminuiría el petróleo usado en su manufactura de 90 a 145 millones de barriles al año.
- La utilización de procesos biotecnológicos durante la producción de la riboflavina (vitamina B2 en el sector farmacéutico y nutracéutico) puede reducir las emisiones de carbono asociadas al proceso a cerca de un 80%, y la contaminación de agua a un 67%. Así mismo, los cambios en la producción del antibiótico cefalexina reducen las emisiones de carbono cerca de un 50%, la demanda de energía en un 20% y el uso de agua en un 75%.
- Los procesos biotecnológicos en las industrias manufactureras de papel pueden disminuir en un 40% los desechos de lodos tóxicos y el uso de energía para el blanqueamiento.

### Indicadores y potencialidades del sector en Colombia

#### Medio ambiente

Para nadie es desconocido que Colombia es uno de los países con mayor diversidad y endemismo del mundo, con una extensión continental de más de 114 millones de hectáreas, que constituye aproximadamente el 0,7% de la superficie continental del planeta y alberga el 10% de la biodiversidad mundial. Con respecto a los ecosistemas, su variedad es atribuida a su localización, variedad en clima

y suelos y el aislamiento de algunas regiones. Esta diversidad en ecosistemas es de tal importancia que son muy pocos los que no están representados en el país. En cuanto a diversidad de especies, Colombia cuenta con aproximadamente 35.000 plantas vasculares, cantidad muy grande para su territorio, y 3.500 especies de orquídeas (15% del total mundial). En vertebrados (excluyendo peces), Colombia posee el tercer lugar en diversidad; en aves, el primero, y en anfibios y reptiles, el segundo. En particular, nos destacamos por ser el primer país en diversidad de aves y el segundo en reptiles y anfibios (Ferreira-Miani, 2004).

La importancia que la biodiversidad y los recursos genéticos tienen para el país está relacionada con los servicios ambientales y múltiples usos que se derivan de ella como son los alimentos, los combustibles fósiles, las fibras naturales, madera, medicinas y energía, entre otros. Así mismo, el agua, el aire y la capacidad productiva de los suelos están ligados a ciclos naturales con gran dependencia en la biodiversidad, así como muchos otros servicios ambientales de los cuales depende nuestra supervivencia.

La gran importancia que el tema tiene para el país se refleja en hechos como:

- La existencia de cinco grandes institutos de investigación, adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, cuya misión es promover, coordinar y realizar investigación que contribuya a la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en Colombia (Ley 99 de 1993).
- La existencia de 34 corporaciones regionales que actúan como autoridades ambientales en el país.
- El amplio conjunto de normas legales, políticas estatales y programas de estudio, como son: la ratificación de Colombia, mediante la Ley 165

- de 1994, del Convenio de la Diversidad Biológica-CDB; la formulación de la Política Nacional de Biodiversidad de 1996; el Primer Informe Nacional del Estado de la Biodiversidad, publicado en 1998; la concertación, en 1999, de la Agenda de Investigación en Sistemática; el diseño y ejecución del Plan Estratégico 2000-2004 del Instituto Alexander von Humboldt; y la elaboración del Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera 2001-2010 (Colciencias, 2004).
- La formulación del Plan Nacional en Bioprospección Continental y Marina, acordado en 2002, donde se realiza un análisis profundo de la situación del país en términos de capacidades y potencialidades, y se formulan estrategias para desarrollar la propuesta, que involucran acciones y planes de las instituciones y sectores relacionados (Melgarejo *et al.*, 2002).
  - La identificación y valoración de la gran riqueza biológica y genética de Colombia.
  - La conservación y recuperación de nuestra biodiversidad de genes, especies y ecosistemas.
  - El reconocimiento de los saberes y prácticas tradicionales sobre la biodiversidad y los bienes y servicios que de ella se derivan.
  - El uso sostenible de nuestros recursos biológicos y genéticos con base en aplicaciones de la bioingeniería, la biotecnología, los saberes tradicionales y el desarrollo de empresas propias de la bio-economía.
  - La distribución justa y equitativa de los beneficios que resultan del aprovechamiento de la biodiversidad y los recursos genéticos del país.

El país se encuentra ante una creciente degradación de sus principales ecosistemas y, consecuentemente, una preocupante pérdida de su biodiversidad y recursos genéticos. El aumento continuo en la destrucción y alteración de la diversidad biológica amenaza el suministro de alimentos, madera, medicina y energía, altera el clima y pone en riesgo procesos ecológicos como el control de la erosión de los suelos, la purificación del agua y del aire, y el ciclo del carbón y de los nutrientes en la biosfera. Las causas de la pérdida de diversidad van desde la definición de políticas inadecuadas de uso de la tierra hasta la siembra de cultivos ilícitos y la construcción de infraestructura, pasando por la introducción de especies exóticas, la comercialización ilegal de especies, la tala de bosques y la contaminación doméstica e industrial (Ferreira-Miani, 2004).

De acuerdo con el Programa Nacional de Medio Ambiente y Hábitat (2004), los esfuerzos de investigación deberían estar enfocados hacia aspectos tales como:

#### Energía

Hoy en día, la humanidad enfrenta una crisis en la explotación de combustibles fósiles por el incremento en los precios del petróleo y su contribución al calentamiento global por la producción de gases de efecto invernadero, además de la destrucción causada por los derrames de petróleo en diversos ecosistemas, particularmente los marinos.

Esta situación ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía más amigables con el ambiente, a partir de recursos renovables. Esto incluye, adicionalmente a los biocombustibles, el resurgimiento del uso de la energía nuclear y del carbón, el incremento en el uso del gas natural y la investigación que sobre el uso del hidrógeno como fuente de combustible realiza la British Petroleum, uno de los gigantes de la industria petrolera (McGarvey 2005).

De acuerdo con el Programa de Energía y Minería (Colciencias, 2004), Colombia cuenta con reservas de petróleo y otras fuentes de energía, pero debe enfocar sus investigaciones en la generación soluciones en el mediano y el largo plazo para enfrentar el problema energético. Estas investigaciones deben orientarse hacia el aprove-

chamiento óptimo de los recursos energéticos disponibles, su optimización en la cadena productiva y el conocimiento de nuevas fuentes y formas de energía no convencionales como biomasa, biocombustibles, energía eólica y solar. Este tema es estratégico para el actual gobierno y se incluye dentro de la Política Energética Nacional debido a la incertidumbre en el abastecimiento de energía en los próximos años por la disminución en la producción de petróleo y el poco éxito en el descubrimiento de nuevos yacimientos, lo cual nos convierte en importadores, con las consecuencias económicas correspondientes. Por otro lado, el país presenta problemas de cobertura en zonas no interconectadas y de sostenibilidad en el subsector eléctrico nacional, y los indicadores de consumo de energía por unidad de producto en la pequeña y mediana industria son muy altos, comparados a escala mundial. A nivel macro, Colombia tiene la relación de consumo total con respecto al PIB más alta de la región.

En este contexto, en octubre del 2001 se promulgó la ley 697, “mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”, en donde se declara el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como asunto de interés social público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento pleno y oportuno, la competitividad de la economía nacional, la protección del consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales.

#### **Propuesta de prioridades para el sector medio ambiente y energía**

En la tabla 5, se identifican las tres prioridades que, según concepto de los expertos, deben ser impulsadas para el desarrollo de la biotecnología en este sector.

Es de resaltar que, aunque no aparece como prioritario para los expertos en la encuesta realizada,

la búsqueda de sistemas de energías alternativos como biodiesel, bioetanol, biogás, hidrógeno, oxígeno mediante la utilización de procesos e insumos biotecnológicos es esencial para el desarrollo económico y productivo del país. Lo anterior se ratifica en los documentos de política pública de diferentes países evaluados, e incluso en el Plan Nacional de Desarrollo vigente se considera como una prioridad nacional.

Finalmente, es importante mencionar que áreas como la biominería, la biolixiviación y la biocorrosión se plantean como áreas emergentes de gran importancia para el país, por lo cual, aunque de manera explícita no tuvieron protagonismo en este estudio, consideramos que deben ser fortalecidas en su desarrollo científico y tecnológico.

#### **Plataformas tecnológicas para la generación de bienes y servicios**

Al analizar las prioridades identificadas por los expertos para cada uno de los sectores analizados en este estudio, es claro que existen tecnologías que son transversales e indispensables para que el desarrollo de la biotecnología sea una realidad en Colombia. Los avances científicos y tecnológicos de los últimos años nos han permitido tener un conocimiento integral sobre el organismo completo y sus sistemas biológicos. Hoy en día, es posible tener la secuencia completa de genomas, conocer sobre la transcripción y el procesamiento del RNA, la síntesis de proteínas y sus cambios post-transcripcionales. También es posible identificar redes metabólicas y las complejas interacciones que ocurren a todos los niveles de la organización biológica y del organismo como un todo.

Todo lo anterior ha sido posible gracias a los avances en genómica funcional y estructural, y la posibilidad de obtener las secuencias completas del genoma de diferentes organismos, que en conjunto con el desarrollo de procedimientos de



Tabla 5. Propuesta de Prioridades para el Sector Medio Ambiente y Energía

Producto o servicio	Foco de investigación	Desarrollo tecnológico	Conocimiento básico	Sectores de apoyo
<b>Microorganismos y enzimas para procesos industriales y ambientalmente sostenibles.</b>	Bioprospección dirigida al sector industrial. Caracterización y conservación de la biodiversidad.	Screening de alto rendimiento. Genómica. Proteómica. Bioinformática. Ingeniería de procesos. Criopreservación. Metagenómica.	Microbiología básica. Biología. Ecología. Ingeniería sanitaria. Biología molecular. Bioquímica. Microbiología industrial.	Normatividad pertinente para el acceso a recursos genéticos. Canales y mecanismos de comercialización. Bioestadísticas.
<b>Consorcios microbianos para biorremediación.</b>	Genética de poblaciones microbianas. Ecología microbiana. Estudios y modelos metabólicos de los consorcios.	Diseño, modelamiento y montaje de biorreactores. Sistemas de inmovilización de los consorcios en soportes estables. Escalamiento y plantas piloto.	Bioestadística y modelos matemáticos. Microbiología. Microbiología industrial. Ecología.	Regulación para liberación al medio ambiente de los consorcios. Buenas prácticas de manufactura.
<b>Sistemas de diagnóstico ambiental.</b>	Identificación de bioindicadores de contaminación y de calidad ambiental.	Biosensores. Nanotecnología.	Biología molecular. Microarreglos. Química. Física.	Bioinformática. Ingeniería Sanitaria. Normas ambientales de calidad ambiental.

alto rendimiento para el análisis de la función génica, constituye lo que hoy conocemos como la era post-genómica. La genómica es esencial para el descubrimiento de nuevos genes y de la estructura del genoma, de tal forma que se puede estudiar la función de éstos y su papel en el control de diferentes caracteres de las especies.

Por su parte, la proteómica, que es el estudio de un grupo completo de las proteínas (proteoma) producidas por una célula o un organismo en particular y en un momento determinado, permite el análisis sistemático de los patrones de expresión del RNA y de las proteínas y las modificaciones post-traduccionales. Proporciona, también, información valiosa acerca de las interacciones proteína-proteína y la función génica en contextos de desarrollo complejos.

Así mismo, la metabolómica, basada en el análisis integral y cuantitativo de todos los metabolitos en una muestra, permite realizar perfiles de los metabolitos hallados en diferentes estados fisiológicos (usando cromatografía de gases, resonancia nuclear magnética o espectrometría de masas) e identificar los metabolitos asociados con cada estado fisiológico. Estos metabolitos pueden servir de guía para el descubrimiento o elucidación de nuevas rutas metabólicas involucradas en el desarrollo de enfermedades, o en la respuesta del paciente al tratamiento de las mismas; o para la identificación y cuantificación de biocompuestos o ingredientes activos aislados de la biodiversidad.

Finalmente, la bioinformática, campo interdisciplinario que involucra ciencias biológicas, ciencias informáticas, matemáticas y estadística, emplea y desarrolla tecnologías, algoritmos e interfases, entre otros, para manejar y analizar toda la información de los sistemas biológicos almacenada en las bases de datos.

Sin embargo, su utilización efectiva requiere el acceso a diferentes tecnologías, equipos especiali-

zados, recursos y conocimiento experto para su uso y aplicación. Para el caso de Colombia, sería casi imposible pensar que una sola institución pudiera tener todos los elementos indispensables para su desarrollo. En estas tecnologías, esenciales para el desarrollo futuro de la biotecnología y que se requieren para la generación de capacidades en todos los sectores, el país tiene pocos grupos con experiencia. Por lo tanto, se considera que, sin tener en cuenta el sector de aplicación, el país, como prioridad, debe implementar plataformas en genómica, proteómica y bioinformática. El desarrollo de estas plataformas permitiría compartir el conocimiento, los recursos económicos y la infraestructura, enfocando los esfuerzos nacionales a la resolución de problemas y a la producción de los bienes y servicios identificados a lo largo de este estudio. El uso articulado de las herramientas de la biotecnología moderna contribuiría a disminuir, en alguna medida, la brecha tecnológica existente.

En este sentido, Colciencias, consciente de esta necesidad, ha invitado a varios grupos de investigación para formular un proyecto conjunto para la creación de una plataforma que tendría los siguientes objetivos:

- Integrar una red de instituciones y laboratorios que, de forma planificada, desarrollen capacidades en genómica estructural, genómica funcional, proteómica, metabolómica y bioinformática.
- Adquirir una capacidad tecnológica suficiente para que el país pueda desarrollar la investigación integrada sobre los genomas de especies importantes, tanto para el sector agrícola como para el manejo sostenible de nuestra biodiversidad.
- Desarrollar investigación integrada en proyectos de genoma de especies, que por su importancia científica y económica para el país sean elementos de desarrollo científico y económico.

- Formar recurso humano con capacidad para desarrollar una investigación sobre los genomas de especies importantes, tanto para el sector agrícola como para el manejo sostenible de nuestra biodiversidad.

Por otra parte, con base en los resultados de los diferentes componentes de este estudio, particularmente los de la encuesta Delphi, es evidente que el país debe trabajar en el conocimiento y valoración de su diversidad. Esto implica desarrollar capacidades en bioprospección y, para poder enfrentar este reto, también serán necesarias la genómica, la proteómica, la metabólica y la bioinformática.

Aunque este tema es muy amplio, los principales avances y desarrollos mundiales se enfocan a la identificación de productos de la biodiversidad con aplicaciones en la industria farmacéutica, el sector agrícola y otras industrias, como la de alimentos. La búsqueda de nuevos compuestos activos debería estar dirigida a la identificación de productos para el sector farmacéutico, en especial, para enfermedades de gran interés nacional; en el sector agrícola, para el desarrollo de nuevos bioinsumos; en el sector ambiental, los esfuerzos deberían enfocarse hacia la biorremediación y la identificación de microorganismos y compuestos útiles para convertir la biomasa en nuevas fuentes de energía. También se debería impulsar la búsqueda e identificación de enzimas y proteínas con usos industriales y no industriales.

Así mismo, es esencial desarrollar capacidad en marcadores moleculares para poder caracterizar las colecciones de recursos genéticos que se identifican como prioritarias. Ésta es una herramienta que puede ser utilizada para la caracterización de todas las accesiones mantenidas en los bancos de germoplasma de la nación. Los datos obtenidos pueden proveer una identificación molecular para cada accesión, que acompañaría su descripción taxonómica, localización geográfica y lugar de colecta.

Esto permitiría, por una parte, tener una organización de la biodiversidad colombiana y, por otra, el monitoreo de las especies y su variación (introducción de nuevos genes), esencial para estudios, y el monitoreo de la biodiversidad en centros de origen y de diversificación de las especies.

Finalmente, como Cohen y colaboradores (2004) lo plantean, un factor crítico en la disponibilidad y el acceso a las innovaciones biotecnológicas para los países en desarrollo es la propia capacidad del país en investigación en biotecnología. Esta capacidad incrementa su habilidad de importar, adaptar y generar tecnologías, y garantiza que los aspectos de la investigación relacionados con bienes públicos y las tecnologías sean regulados apropiadamente. Cohen señala que las capacidades de investigación involucran un amplio espectro de elementos y actividades claves, como:

- Definición de objetivos y prioridades.
- Desarrollo e implementación de políticas claras para la biotecnología y para la regulación en bioseguridad.
- Desarrollo de capacidades de gestión de la investigación y el desarrollo.
- Promoción de la transferencia de tecnologías, conocimiento y habilidades al sector privado.
- Promoción de la colaboración internacional y la transferencia de tecnología.

Por lo tanto, la capacidad en investigación no está limitada sólo al desarrollo de proyectos de investigación; es un conjunto más amplio de recursos que incluyen los recursos humanos, financieros y la capacidad de articularse con un sistema de innovación más amplio.

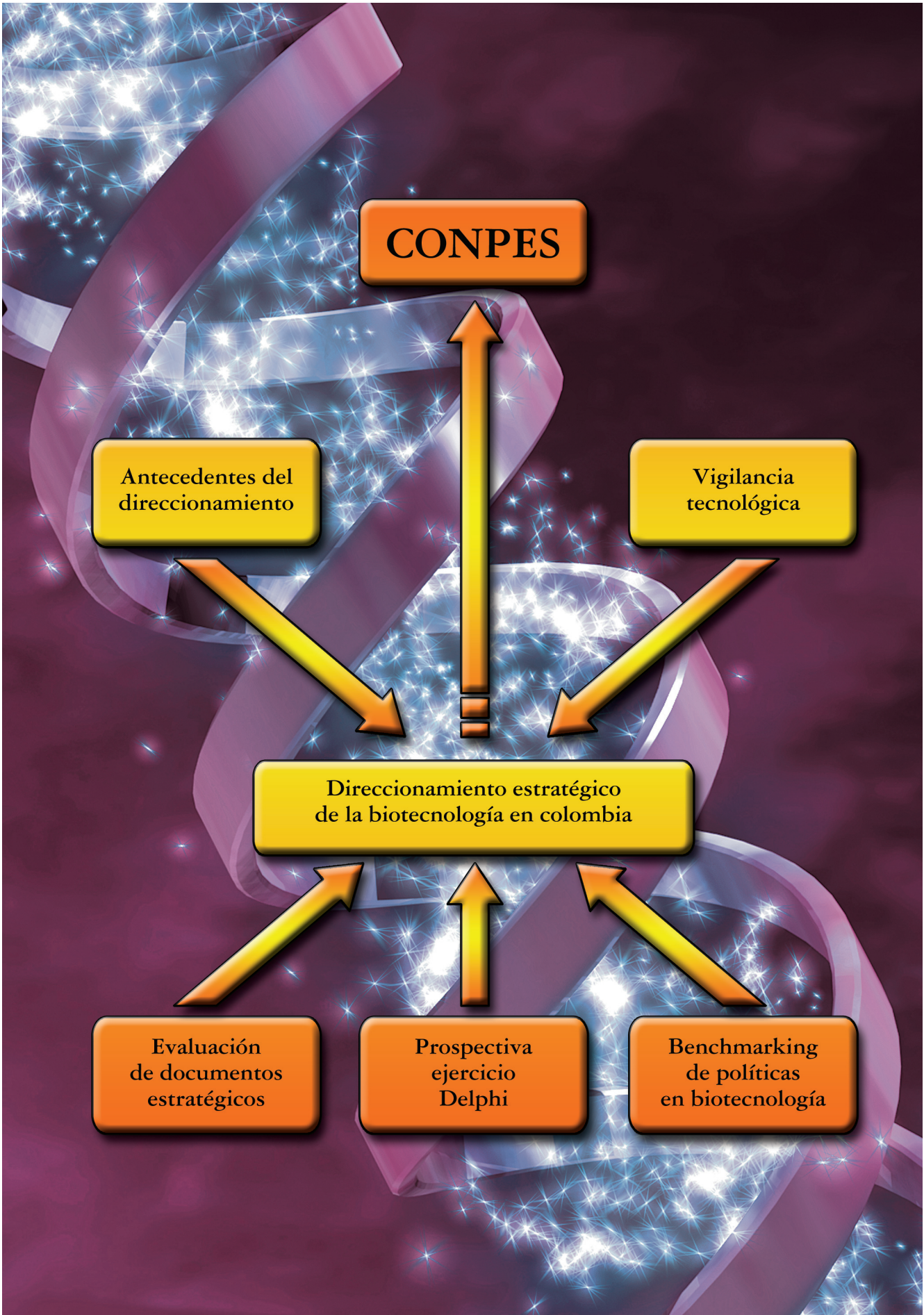
## REFERENCIAS

- Amara R. R. et al. (2001). Control of a mucosal challenge and prevention of AIDS by a multiprotein DNA/MVA vaccine. *Science* 292 (15) 1949-1955.
- Bachmann R. (2003). Industrial Biotech-product opportunities. BIO 2003 sessions. <http://www.bio.org/events/-2003/speaker/session1.asp?dt=23>.
- Belshe R. B. et al. (2001). Safety and immunogenicity of a canarypox-vectored human immunodeficiency virus type 1 vaccine with or without gp 120: A phase 2 study in higher and lower risk volunteers. *J Infect Dis.* 183(9): 1343-1352.
- BIO - Biotechnology Industry Organization (2005). New biotech tools for a cleaner environment. Industrial biotechnology for pollution prevention, resource conservation and cost reduction. Editors Judy Dickson, & Debbie Strickland, Biotechnology Industry Organization, BIO. [www.bio.org](http://www.bio.org)
- BIO - Biotechnology Industry Organization (2005). [www.bio.org](http://www.bio.org)
- Birch, R. G. (1997). Plant transformation: Problems and strategies for practical applications. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 48: 297-326.
- CEPAL (2005, febrero). Biotecnología para el uso sostenible de la biodiversidad. Capacidades locales y mercados potenciales. F. Quezada, W. Roca, M.T. Szauer, J.J. Gómez y R. López, Editores.
- Cohen, J., Komen, J. y Falck Zepeda, J. (2004). National Agricultural Biotechnology Research Capacity in Developing Countries. ESA Working Paper No. 04-14. Agricultural and Development Economics Division. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org/es/esa](http://www.fao.org/es/esa).
- Colciencias – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Plan estratégico del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria 2002 –2006.
- Colciencias. Dirección General, Subdirección de Programas de Desarrollo Científico y Tecnológico (2004). Documento Conceptual para la Creación y Apoyo de Centros de Investigación de Excelencia.
- Daar, A. S., Martin, D. K., Nast, S., Smith, A. C., Singer, P. A. & H. Thorsteinsdóttir (2003). Top 10 Biotechnologies for Improving Health in Developing Countries. Program in Applied Ethics and Biotechnology- Canadian Program on Genomics and Global Health. University of Toronto Joint Centre for Bioethics. 117 p.
- Dahlback, B. (1995). Resistance to activated protein C, the Arg-506 to Gln mutation in the Factor V gene, and venous thrombosis. *Thromb. and Haemos.* 73:739-42.
- DANE – Estadísticas vitales.
- De Peña, M. (2003, julio 22-25). La biotecnología como factor de desarrollo para América Latina y el Caribe: retos y oportunidades. En: Latin America and the Caribbean Regional Consultative Meeting. Global Biotechnology Forum. UNIDO. Brasil.
- Del Portillo, P, Murillo, L. A., Patarroyo, M. E. (1991, October 29). Amplification of a species-specific DNA fragment of *Mycobacterium tuberculosis* and its possible use in diagnosis. *J Clin Microbiol.* (10):2163-8.
- Departamento Nacional de Planeación, Cuentas Nacionales de Salud (2002).

- Dieterich H. (1995). Cuba: el milagro biotecnológico. Tierra-América. [www.tierrraamerica.org/biodiversidad/milagre.shtml](http://www.tierrraamerica.org/biodiversidad/milagre.shtml).
- Fábregas, C. J. (2003). I Curso de Formación e Información Científica en Biomedicina y Biotecnología para Especialistas en Comunicación. [www.gen-es.org](http://www.gen-es.org)
- Ferreira-Miani, P. (2004). Colombia: Access and Exchange of Genetic Resources. En: Carrizosa, S., S.B. Brush, B. D. Wright, and P. E. McGuire (eds). *Accessing Biodiversity and Sharing the Benefits: Lessons from Implementation of Convention on Biological Diversity*. IUCN, Glan, Switzerland and Cambridge, UK. 316 pp.
- FORAGRO (2000). Foro Regional de Investigación Agropecuaria. Agricultura y medio rural desde la perspectiva tecnológica: retos y oportunidades para las Américas. Encuentro anual, México.
- Forbes Medi-Tec Inc. (2005). [www.forbesmedi.com](http://www.forbesmedi.com).
- Foro Global de Biotecnología, Concepción, Chile, (2004, marzo). Reunión Consultiva Regional, América Latina y el Caribe 22 al 25 de Julio de 2003, Brasilia, Brasil. Documento Final. Buenos Aires Noviembre de 2003.
- Gerhardson, B. (2002). Biological substitutes for pesticides. *Trends Biotech* 20, 338-343.
- Global Forum for Health Research. (2003).
- Guillon, M. (2004). Current World Situation on Acceptance and Marketing of Biological Control Agents (BCAs). International Biocontrol Manufacturers' Association. [www.ibma.ch](http://www.ibma.ch).
- <http://www.medilegis.com/BancoConocimiento> para trasplante de células madre para reparación de miocardio.
- Herrera, S., Bonelo, A., Perlaza, B. L., Valencia, A. Z., Cifuentes, C., Hurtado, S., Quintero, G., López, J. A., Corradin, G., Arévalo-Herrera, M. (2004, December). Use of long synthetic peptides to study the antigenicity and immunogenicity of the Plasmodium vivax circumsporozoite protein. *Int J Parasitol.* 34(13-14):1535-46.
- Hunter-Cevera, J. C. (1998). The value of microbial diversity. *Current Opinion in Microbiology*, Amsterdam, v. 1, n. 3, pp. 278-285.
- ICA - Instituto Colombiano Agropecuario (2004). [www.ica.gov.co](http://www.ica.gov.co).
- IMS HEALTH. 200X. <http://www.imshealth.com>.
- Institute of Food Technology (2005). [www.ift.org](http://www.ift.org).
- INS - Instituto Nacional de Salud.
- International Human Genome Sequencing Consortium (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, 409: 860-921.
- Izquierdo, J., De la Riva, G. (2000, April 15). Plant biotechnology and food security in Latin America and the Caribbean. *EJB Electronic Journal of Biotechnology*, 3 (1).
- Komen, J. (2000). International Initiatives in Agri-food Biotechnology. En: Tzotzos, G.T, y Skryabin, K.G. (Eds). *Biotechnology in the developing world and countries in economic transition*. CABI Publishing, UK, Pp 15-31.
- Malpica Lizarzaburu, C. (2004). Implementing the Principles of the United Nations Convention on Biological Diversity: The Experience of Kina Biotech in Peru. *IP Strategy Today* No. 11-2004. Pp. 21-26.
- Mathur E., Costanza, C., Christoffersen, L., Erickson, C., Sullivan, M., Bene, M., Short, J. M. (2004). An Overview of Bioprospecting and the Diversa Model. *IP Strategy Today* No. 11-2004. Pp. 1-20.
- Mc Garvey, R. (2005, May). Biotechnology: The pace quickens. *Harvard Business Review HBR*. Harvard Business School Publishing Corporation. Vol 83(5): 114-122.
- Mejía G. I., Guzmán, A., Agudelo, C. A., Trujillo, H., Robledo, J. (2004). Cinco años de experiencia con el agar de capa delgada para el diagnóstico rápido de tuberculosis. *Biomédica* 24, 52-59.
- Melgarejo, L. M., Sánchez, J., Reyes, C., Newmark, F., Santos-Acevedo, M. (2002). Plan Nacional de Bioprospección continental y marino (propuesta técnica) Bogotá: Cargraphics, 122pp. (Serie de Documentos Generales, INVE-MAR # 11.)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2004, julio). El Agro Colombiano frente al TLC con los Estados Unidos. Editor: A. Espinosa Fenwarth. Primera Edición. Editorial C&B Asociados Ltda. Colombia.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005). Perspectivas del Sector Agropecuario 2005. [www.minagricultura.gov.co](http://www.minagricultura.gov.co).
- Mojica, A. M., Villamil, J. A. (2002). The patent system in the Colombian Pharmaceutical Industry. Seminar on North-South and South-South researcher partnerships. Cartagena de Indias, Colombia.
- Nutrition Business Journal (2005). [www.nutritionbusiness.com](http://www.nutritionbusiness.com).
- Patarroyo, M. E., Amador, R., Clavijo, P., Moreno, A., Guzmán, F., Romero, P., Tascón, R., Franco, A., Murillo, L. A., Pontón, G., et al. (1988, Mar 10). A synthetic vaccine protects humans against challenge with asexual blood stages of *Plasmodium falciparum* malaria. *Nature*. 332(6160):158-61.
- Pesquisa PAPESP (2002). Política Científica e Tecnológica: Elogio Inglês ao modelo da rede ONSA, No 80, p.17, Brasil.
- Pistoi, S. (2002, February 25). Facing your genetic destiny, part II. *Scientific American*.
- Plan estratégico del Programa Nacional de C&T Agropecuaria 2002–2006. COLCIENCIAS – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Stem Cells [www.stvolkletki.ru](http://www.stvolkletki.ru).
- Roche Molecular Diagnostic-Chronology of PCR Technology.
- Rodríguez, R. M. (2003, abril). Estudios de mercados de la Biodiversidad. Informe Final presentado al Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Rowley, W. R. (2002). Biotechnology overview: Applications and forecast. In: *Genomics and Social Science Research*; Ed. Bezold C. & I. Miles. *Foresight: The journal of futures studies, strategic thinking and policy*. Vol. 4 (4):4-12. [www.emeraldinsight.com](http://www.emeraldinsight.com).
- Shahidi (2004, diciembre). En *Revista Aceites y Grasas*. Tomo XIV - Vol. 4 N° 57 -[www.asaga.org.ar](http://www.asaga.org.ar)
- Shankar, P., Manjunath, N., Lieberman, J. (2005, marzo 16). The prospect of silencing disease using RNA interference. *JAMA* 293(11):1367-73. Review.
- Sittenfeld, A. (2003). Biodiversity and Biotechnology: Strategic frameworks for using bioresources. *The Economist print edition* (2003, marzo 27). Survey: Biotechnology, Climbing the helical staircase.
- University of Michigan News Services (2001, Dec. 13). Press Release: FluMist, nasal flue vaccine. Accessed July 2002-[www.sph.umich.edu](http://www.sph.umich.edu).
- Valenzuela, P., Medina, A., Rutter, W. J., Ammerer, G., Hall, B. D. (1982). Synthesis and assembly of hepatitis B virus surface antigen particles in yeast. *Nature* 298:347-50.
- Venter, J. C. et al. (2001). The sequence of the human genome. *Science*, 291: 1304-1351.
- Weinborn del Villar, J. A. s. f. Producción y comercialización de complemento alimenticio nutracéutico para la obtención de huevos de gallina fortificados con vitamina E natural y ácidos grasos omega 3 de cadena larga. [www.fondef.cl](http://www.fondef.cl).







## CAPÍTULO VIII

# Direccionamiento estratégico de la biotecnología en Colombia

### **Introducción**

Los países con economías emergentes podrán ser competitivos en la medida que asimilen para su desarrollo productivo áreas y tecnologías pertinentes y posibles en el contexto social, para transformar sus ventajas comparativas en factores de competitividad mediante la agregación de conocimiento. Este proceso debe ser planeado y prospectado, tomando como base información desde diferentes ámbitos, fuentes y enfoques que permitan, de manera holística y pragmática, concretar documentos de política pública, en los cuales todos y cada uno de los actores involucrados asuman sus responsabilidades, vean representados sus intereses y se sientan comprometidos a participar en el desarrollo social y económico.

Como fue mencionado en el primer capítulo de este documento, la biotecnología se ha ido posicionando en los últimos años como un posible generador de ventajas competitivas en Colombia, lo cual se evidencia en su aparición en los documentos de política social de los últimos gobiernos. En este sentido, debe recordarse que precisamente en el Plan Nacional de Desarrollo formulado por el actual gobierno (2002-2006) se hace explícita la expectativa referente a la biotecnología como generador de progreso social y económico. Por lo tanto, es necesario plantear unas nuevas bases de política pública para la generación de ventajas competitivas y bienestar social a partir de este tipo de tecnologías.

En este capítulo se concretan los componentes estructurales, las estrategias y las acciones para el direccionamiento de la biotecnología en Colombia, que de acuerdo con el análisis de todos los documentos y talleres presentados en este libro deberían ser formulados en el marco de una política pública, con un horizonte temporal de diez años.

### Particularidades de la biotecnología

En el capítulo inicial del presente documento, se mencionaron algunas de las definiciones de la biotecnología, de las cuales se puede concluir que en todas ellas el conocimiento es factor esencial. La biotecnología moderna es considerada hoy en día como un conjunto de actividades capaces de generar cambio tecnológico, social y económico de tal magnitud que muchos sectores productivos se han modificado drásticamente. Por ello, al momento de plantear una política pública para su desarrollo, se debe tener en cuenta sus particularidades, entre las cuales se puede mencionar:

**Carácter dinámico en el enfoque epistemológico de la biotecnología.** La biotecnología no es una simple aplicación tecnológica, sino un conjunto de disciplinas como la genética, la biología molecular, la inmunología, la bioquímica, la embriología y la biología celular, entre otros, dirigido hacia procesos productivos, acoplándose con disciplinas tecnológicas como la ingeniería química, la tecnología de la información, la ingeniería industrial y la robótica. Es de aclarar, por tanto, que no puede considerarse como canónica o cierta sólo una de las diversas definiciones, puesto que son el resultado de una visión de la biotecnología desde diferentes ángulos, todos igualmente válidos. La convergencia multidisciplinar del conocimiento, ha generado un *ethos* propio de la biotecnología, el cual se manifiesta, por ejemplo, en la existencia de programas de formación a todos los niveles específicos para su desarrollo. Lo anterior, aunado a la investigación conjunta desde diferentes ámbitos del saber, permiten plantear la biotecnología como un espacio de creación y aplicación del conocimiento interdisciplinario. Adicionalmente, su proyección dinámica hacia otras tecnologías y diferentes sectores de la economía, llevan a plantearla como una transdisciplina, por lo cual, en los países desarrollados económica y socialmente, cuenta con un sistema propio.

**Carácter institucional de la biotecnología.** Un estudio realizado recientemente y financiado por el Convenio Andrés Bello (Vacarezza, 2005), analizando las capacidades tecnológicas de cuatro países de América Latina y la región, sustentó adecuadamente la necesidad de contar con una institucionalidad definida para el desarrollo científico, tecnológico, empresarial y del impacto social de la biotecnología, lo cual coincide con la tendencia reiterativa encontrada en los países tomados como referencia en el estudio de *benchmark*, (capítulo IV). Lo anterior ratifica que el carácter transversal y multisectorial de la biotecnología no puede confundirse con una institucionalización atomizada y dispersa para su desarrollo. Esto, a su vez, conlleva a que la existencia de programas nacionales, proyectos de desarrollo científico y tecnológico, fondos de riesgo, organizaciones sin ánimo de lucro, cadenas productivas, *clusters*, redes, entre otros mecanismos de integración empresarial y productiva, y de políticas públicas en biotecnología, sea prioritaria para aquellos países que piensen construir ventaja competitiva y bienestar social a partir del desarrollo de ésta.

**La biotecnología como una tecnología intensiva en conocimiento y de procesos innovativos.** La innovación de proceso juega un papel predominante en la biotecnología, mientras que en otros sectores dicho papel le corresponde a la tecnología de producto. Los sectores de producción se pueden caracterizar a través de dos factores (Zoltán, 1993), que son: a) los elementos necesarios para definir el producto, denominado A; b) los factores de producción que transforman las materias primas en productos, denominado Z. Los productos terminados se constituyen por una cierta mezcla de estos dos factores. Así, se conforma un amplio espectro de productos. En un extremo, se encuentran los “productos tipo A”, como por ejemplo la industria textil o automotriz. En el otro extremo, se da la situación opuesta,

que origina los sectores caracterizados por la tecnología de proceso. Desde luego, no se puede decir que en uno u otro caso el sector dominante lo sea en el 100%; sencillamente, son aproximaciones a las situaciones extremas. Aunque en ambos casos existen vectores de conocimiento e innovación tecnológica en el primero, éstos se centran en la ingeniería de producto y, en el segundo, en la ingeniería de proceso.

Lo anterior implica que para el direccionamiento estratégico y la generación de mecanismos de promoción de la biotecnología se debe partir por reconocer esta especificidad y distinguirla de otros sectores productivos existentes en nuestro medio, que se han constituido en el centro de la actividad económica hasta ahora. Colombia se ha desarrollado tomando como referencia su potencial en la explotación de materias primas y la generación de productos con bajo valor agregado, lo cual no ha implicado una inversión social alta en términos de porcentajes del PIB para la ciencia y la tecnología. La biotecnología, categorizada como una tecnología emergente, compromete importantes inversiones por cuanto el valor agregado se construye en el desarrollo de conocimiento para la aplicación productiva de nuevos procesos. La política pública en biotecnología debe tener en cuenta este factor, incrementando de forma sostenible la inversión del Estado (alcanzando la meta del 1,5% del PIB en ciencia y tecnología propuesta por el actual gobierno) y de los sectores industrial y financiero, como quedó explícito en el Pacto Nacional por la Innovación Tecnológica, firmado por los diferentes actores de la sociedad en febrero de 2005, el cual ratifica en esencia este propósito.

**La heterogeneidad tecnológica y de los sectores de aplicación.** Como pudo observarse al realizar la vigilancia tecnológica y el estudio prospectivo Delphi, las múltiples tecnologías que sustentan la biotecnología moderna, que incluyen técnicas

tales como el cultivo de tejidos vegetales, la fusión celular, las recombinaciones de DNA, entre otras, presentan distintos grados de madurez, complejidad y aplicación. Esta complejidad influye sobre el riesgo de los proyectos de innovación, de tal manera que dicho riesgo aumenta con el número y dificultad de los problemas que requieren de ciencia básica, aplicada y de ingeniería, con la madurez de la tecnología, así como con la incertidumbre sobre el mercado (CONACYT, 2004). Por esto, es esencial que la política pública y los procesos de priorización en biotecnología estén articulados con procesos similares de diferentes sectores de la economía real, políticas de educación, desarrollo tecnológico, desarrollo social, etc.

**La heterogeneidad del mercado de usuarios.**

La diversidad de los productos biotecnológicos se refleja en la diversidad de sus mercados (capítulos II y III), los cuales incluyen la medicina, la agricultura, el procesamiento de alimentos, la cosmética, la descontaminación ambiental, entre otros. Cada uno de estos sectores presenta problemas característicos para la comercialización de los productos biotecnológicos destinados a ellos. Lo anterior implica que la política pública en biotecnología debe considerar la especificidad y diversidad de cada uno de los mercados a los cuales van dirigidos los productos biotecnológicos.

**La biotecnología es intensiva en inversión.**

Como tecnología emergente, la biotecnología requiere de importantes inversiones para su desarrollo. Tal como se evidenció en el estudio del *benchmark*, el liderazgo de los países en biotecnología es proporcional a la inversión tanto estatal como del sector privado. En Colombia, los grupos generadores de conocimiento no encuentran recursos suficientes ni mecanismos adecuados para transformar el resultado de sus investigaciones en productos, y los inversionistas no se comprometen a inyectar capital de riesgo para su producción. Lo anterior implica que, en la mayoría de

los casos, la academia debe conformarse casi indefinidamente con investigaciones en ciencias básicas, limitando su aplicación en el sector productivo. Por lo tanto, es indispensable fortalecer la inversión, tanto pública como privada.

**La heterogeneidad de la organización empresarial.** La innovación biotecnológica puede surgir: a) como proyecto de empresas dedicadas sólo a biotecnología; b) de actividades integradas a empresas o compañías de un perfil productivo diferente; c) de laboratorios o grupos científicos investigadores que tratan de valorizar los resultados de sus investigaciones, constituyéndose formalmente en un grupo empresarial a raíz de ello. Para obtener desarrollos biotecnológicos adecuados, con base en estas características, es indispensable contar, entre otros, con científicos altamente calificados, capital de inversión y riesgo, y una apropiada infraestructura. Por lo tanto, se requiere fortalecer diferentes mecanismos para el desarrollo empresarial, que tomen en cuenta estas características y las articulen al mercado.

### Bases de direccionamiento estratégico en biotecnología

El direccionamiento estratégico en biotecnología debe garantizar la fijación de lineamientos comunes y claros para el largo plazo, capaces de incrementar la productividad y abrir nuevas oportunidades económicas, cuyas bases sean la innovación, la calidad integral y la constante transformación del conocimiento científico, que creen valor agregado en todos sus campos de aplicación. En este sentido, la estrategia debe permitir llevar a cabo la misión de la biotecnología en Colombia, planteada en los siguientes términos: *consolidarse como motor de desarrollo del país a partir de la generación de conocimiento y del fortalecimiento de su impacto social y económico, mediante el adecuado aprovechamiento de las capacidades científico-tecnológicas disponibles. A mediano*

*plazo, constituirse como una de las áreas de mayor competitividad para Colombia y aquella que mayores aportes haga al desarrollo tecnológico, el mejoramiento de la calidad de vida y la preservación del ambiente”.*

### Objetivos del direccionamiento estratégico en biotecnología

Con la generación y la implementación de una política de Estado para incentivar un área específica, se pretende garantizar incentivos claros, inversión sólida e instituciones transparentes y eficaces en un ambiente de cooperación y concertación entre los sectores público y privado. El direccionamiento estratégico tiene como primera función constituirse en la base de una posible y muy necesaria política pública en el tema, la cual, a su vez, debe minimizar los costos de transacción y la incertidumbre, siendo el papel del Estado concertar y orientar, ser promotor de actividades privadas, impulsor de la competencia y estimulador de la innovación.

El uso de diferentes herramientas de gestión y el análisis integrado de sus resultados han permitido, en este nivel del documento, proponer la formulación de estrategias claras e identificar las acciones y resultados que definirán el futuro a corto, mediano y largo plazo de la biotecnología en Colombia. De igual forma, podrá facilitar la ejecución posterior y continuación del direccionamiento, mediante la implementación de un mecanismo dinámico, flexible y participativo.

Teniendo en cuenta lo anterior, así como los antecedentes mencionados en la introducción y el capítulo de *benchmark* sobre política en biotecnología, se pueden definir los objetivos del presente ejercicio de direccionamiento en los siguientes términos:

- Promover una adecuada implementación de la biotecnología en el país, con el fin de contribuir

- a mejorar la competitividad, la calidad de vida y el bienestar de la población.
  - Generar procesos de innovación en diversos sectores industriales, basados en aplicaciones biotecnológicas, que conlleven al desarrollo tecnológico y sostenible.
  - Promover la motivación y compromisos de los actores de los diferentes subsistemas involucrados en el desarrollo de la biotecnología.
  - Dinamizar la articulación de procesos y mecanismos planteados en las estrategias de este ejercicio, buscando la continuidad del direccionamiento, y garantizar el logro de impactos tangibles y sostenibles.
- Como base de la estrategia, se puede retomar el aprendizaje que en otros países se ha logrado, mediante la experiencia, resumida en los siguientes términos:

#### Estrategias de las políticas en biotecnología en otros países

Éxitosas	Poco exitosas
Se estructuraron mecanismos eficientes para el desarrollo de la gestión tecnológica aplicada a la biotecnología (estudios de ingeniería de mercados, instrumentos de impulso a la competitividad, planeación y prospectiva tecnológica).	Se trataron de corregir defectos macroeconómicos por medio de intervención microeconómica, en lugar de realizar reformas estructurales.
Se reconoció la importancia de las Pymes para el desempeño económico general.	Se agravaron las distorsiones existentes entre la asignación de recursos y la competencia.
Se propició la integración y formación de redes en investigación para incentivar la transferencia de tecnología entre empresas transnacionales y locales.	No se asignaron los instrumentos de apoyo más adecuados.
Se fortalecieron diferentes mecanismos de integración a nivel industrial y académico, así como en el desarrollo de proyectos compartidos.	No se introducían cláusulas para establecer un límite temporal a la ayuda financiera de las empresas en decadencia.
Definición de prioridades en investigación, desarrollo e innovación.	

#### Rol de los actores en el desarrollo del direccionamiento estratégico en biotecnología

Los resultados del ejercicio de direccionamiento estratégico deben comprometer a diferentes entes y actores, quienes de una u otra forma tienen la capacidad de influir mediante sus decisiones para lograr un mayor desarrollo de la biotecnología. Como se mencionó, la biotecnología se basa estructural y funcionalmente en procesos de innovación, por lo cual, para analizar a los actores involucrados, se toma como referencia el sistema nacional de innovación (SNI). Este sistema, a su vez, está conformado por los siguientes subsiste-

mas, que en el caso de la biotecnología se pueden analizar así:

**Subsistema productivo.** Constituido fundamentalmente por las empresas, agrupadas en cámaras de comercio, agremiaciones y asociaciones empresariales. Prácticamente, aún no existen en Colombia empresas de base biotecnológica, que cuenten con estabilidad financiera por su capacidad de producción y abastecimiento a mercados definidos. De otro lado, hay empresas que emplean procesos biotecnológicos en sus sistemas productivos, y que han sido exitosas en diversas industrias, como la textilera, la alimenticia,

la farmacéutica, de bebidas, etc. Lo anterior sugiere que aún no están dadas las condiciones para la conformación y consolidación de una asociación o gremio que agrupe las empresas de base biotecnológica. En este sentido, sin embargo, debe destacarse la iniciativa promovida por la Cámara de Comercio de Bogotá en torno a Bioprogreso, y las iniciativas del Valle del Cauca y Antioquia.

**Subsistema financiero.** Se incluye la banca de primer y segundo piso, así como los fondos parafiscales, internacionales, de capitales de riesgo y de garantía. Si bien este tipo de actores y mecanismos formalmente se comprometen con el desarrollo de la ciencia y la tecnología, como lo demostró su participación en el Pacto Nacional por la Innovación tecnológica, en la realidad son los grandes ausentes, particularmente en el desarrollo de procesos de escalado industrial, comercialización e internacionalización de la biotecnología desarrollada en Colombia.

**Subsistema científico.** En éste se incluyen las universidades, los centros de investigación, los centros de desarrollo tecnológico, los grupos de investigación y los centros de formación avanzada. En el país, el crecimiento en el número de los grupos de investigación en la última década ha sido exponencial. La biotecnología es percibida por los otros subsistemas como un problema que atañe prioritariamente a la comunidad académica-científica, como lo demostró el estudio Delphi. Aún persisten distanciamientos entre los científicos y los otros subsistemas, con excepción de los CENIS, que responden a las necesidades de un sector.

**Subsistema tecnológico.** Se pueden mencionar los centros de productividad, centros de desarrollo tecnológico, los parques tecnológicos, las incubadoras, así como los centros de formación. De los anteriores, los primeros tres tipos, relacionados con la biotecnología a partir de la demanda

de un sector productivo específico o algún criterio diferenciador, prácticamente no existen en el contexto nacional. Debe destacarse los esfuerzos del Sena y de algunas universidades por crear programas específicos involucrados en procesos biotecnológicos. Igualmente, la incubadora INBio, promovida recientemente, puede llegar a constituirse en una opción de desarrollo empresarial en biotecnología.

**Subsistema facilitador.** Este subsistema incluye actores como Proexport, Sena, Ministerios, Colciencias y el Departamento Nacional de Planeación. Una política de Estado que promueva la biotecnología, como ha sido propuesto en países analizados en capítulos anteriores, debe ser inicialmente liderada por los entes decisorios del Estado. Debe subrayarse que, en gran parte, los avances de la última década en el país, en este tema, se debieron al Programa Nacional de Biotecnología liderado por Colciencias. Sin embargo, entre los actores de este subsistema, debe generarse cada vez mayor interacción, como sucede en países como Canadá y Argentina. Lo anterior se puede formular en acuerdos interinstitucionales, que permitan la optimización del gasto público en ciencia y tecnología en biotecnología, mayor pertinencia a los desarrollos productivos a partir de las necesidades del país y mejor asimilación de las necesidades sociales.

Por último, se identifica un conjunto de actores que constituyen el soporte para la implementación, socialización y apropiación social de la biotecnología y de las estrategias para su desarrollo. Dentro de estos actores, podemos mencionar las academias y sociedades científicas, los medios de comunicación y las organizaciones no gubernamentales. Todos requieren ser involucrados de manera más activa por cuanto su distanciamiento ha generado interpretaciones y análisis erróneos y descontextualizados sobre el desarrollo social y científico de la biotecnología.

La dinámica de interacción entre los actores de cada subsistema y, a su vez, de todo el sistema, requiere ser estimulada de forma consciente y permanente por los mecanismos que se generen en la política pública. Es fundamental para el éxito de una inversión de Estado que la comunidad receptora esté fortalecida, generando un tejido social basado en la credibilidad mutua y el reconocimiento del papel e importancia de todos y cada uno de los actores. Lo anterior se plantea tomando en cuenta que, precisamente, al ser consultados más de 200 expertos en biotecnología durante el ejercicio Delphi (capítulo IV), se evidenció que la mayoría de los actores de todos los subsistemas plantean que el desarrollo de tecnologías, bienes y servicios, así como la generación de nuevas empresas, depende fundamentalmente de la academia y de Colciencias. Aunque tímido, se reconoce un protagonismo del sector privado. Llama la atención que no se identifica el aporte que podrían dar entes como los Ministerios, los centros de desarrollo tecnológico, centros de competitividad y otros. En este sentido, prácticamente se desconoce el papel que deben jugar los actores del subsistema financiero en el desarrollo de la biotecnología.

### Componentes estructurales del direccionamiento estratégico de la biotecnología en Colombia

Los componentes fundamentales son:

- Desarrollo empresarial e industrial.
- Marco legal: fortalecimiento e implementación adecuada.
- Capacidad científica y tecnológica del país.
- Desarrollo de mercados en biotecnología .
- Percepción y apropiación social de la biotecnología.
- Gestión de recursos.

Estos componentes deben ser complementados con sus respectivas estrategias, acciones, responsables y resultados esperados.

### Desarrollo empresarial e industrial

Al analizar la situación de la biotecnología en Colombia, se observó que aún es incipiente el desarrollo empresarial logrado en este campo y que persiste una marcada división entre la investigación y la industria, evidenciándose el contraste existente entre la gran cantidad de desarrollos a nivel investigativo y la baja oferta de nuevos productos biotecnológicos. Así mismo, en el análisis

de los documentos de política en biotecnología de Australia, Canadá, Corea y Argentina, como parte del componente de *benchmark* de este ejercicio, quedó clara la marcada orientación de estas políticas hacia el desarrollo industrial de la biotecnología, lo cual constituye uno de los principales factores de éxito en los países líderes en este campo, al lograr a través de ello el aumento de la competitividad a nivel internacional.

Estrategia 1: <i>desarrollar capacidades e infraestructura para realizar bionegocios</i>	Acciones
El paso de la investigación a la generación de bienes y servicios comercializables resulta fundamental para el desarrollo industrial de la biotecnología, por lo cual, debe considerarse como estratégico promover el fortalecimiento de capacidades en bionegocios, entendidos como la implementación de técnicas y herramientas de gestión para generar rentabilidad a partir de producción de origen biotecnológico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Promover procesos de transferencia y adaptación de tecnología junto a procesos de distribución y comercialización de productos biotecnológicos.</li> <li>2. Capacitar profesionales afines a la biotecnología y que se desempeñan en este campo, en temas de <i>marketing</i> y comercialización de productos biotecnológicos.</li> </ol>
<b>Resultados esperados:</b> contratos y acuerdos comerciales entre empresas privadas y grupos de investigación para transferencia tecnológica y desarrollo de productos.	



Estrategia 2: <i>fomentar las empresas innovadoras de base biotecnológica</i>	Acciones
<p>Los incentivos tributarios y los mecanismos para la creación de empresas biotecnológicas son considerados como los principales factores que debe contemplar la política en biotecnología como apoyo al desarrollo empresarial, como se evidenció en este estudio.</p>	<p>1. Definir y promover incentivos de carácter tributario para investigación y desarrollo que conduzca a la generación de productos biotecnológicos o a la aplicación de la biotecnología a procesos productivos.</p>
	<p>2. Promover rigurosos estudios de factibilidad técnica y económica, como base para la financiación de proyectos de creación de nuevas empresas.</p>
	<p>3. Fortalecer mecanismos para promover empresas biotecnológicas como los capitales semilla y el capital de riesgo.</p>
	<p>4. Promover la implementación de mecanismos de <i>spinoff</i> y <i>startup</i>, semilleros e incubadoras de empresas biotecnológicas.</p>
	<p>5. Realizar estudios de inteligencia de mercados como punto de partida para el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos.</p>
	<p>6. Generar capacidad en procesos de escalamiento para procesos y productos biotecnológicos.</p>
	<p>7. Fomentar la creación de empresas con bienes y servicios ya establecidos, a través de mecanismos como Fomipyme y Sena.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> aumento en el número de empresas de base biotecnológica.</p>	
Estrategia 3: <i>consolidación de alianzas estratégicas</i>	Acciones
<p>Conformación o existencia de foros biotecnológicos como en Chile y Argentina, que promuevan la financiación en torno al desarrollo de la biotecnología.</p>	<p>1. Financiar proyectos presentados de manera conjunta por varias entidades para desarrollar productos o servicios biotecnológicos.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> incremento en el número de proyectos interinstitucionales que conlleven a la elaboración de productos biotecnológicos o la prestación de servicios en biotecnología.</p>	

Estrategia 4: formación y fortalecimiento de clusters, cadenas productivas y otros mecanismos de integración orientados al mercado interno y a la exportación	Acciones
<p>En los documentos estratégicos en biotecnología que se han formulado en el país, se detectó la necesidad de la integración a través de esquemas como las cadenas productivas y los <i>clusters</i> en busca de la generación de proyectos de innovación y desarrollo tecnológico. De igual forma, se observa en las políticas de biotecnología de otros países que ha resultado fundamental la participación de asociaciones y foros empresariales para su implementación.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Promover la conformación de asociaciones industriales en biotecnología.</li> <li>2. Inclusión del componente biotecnológico en las principales cadenas productivas del país.</li> </ol>
<p><b>Resultados esperados:</b> creación a mediano plazo de la Asociación Colombiana de la Industria Biotecnológica. Intervención de empresas biotecnológicas en alguno de los eslabones de las cadenas productivas.</p>	

**Marco legal: fortalecimiento e implementación adecuada**

El estado del arte de la biotecnología en Colombia y los resultados del ejercicio Delphi señalan que la normativa relacionada con el tema, aunque suficiente, requiere revisión en algunos aspectos, para adecuarse a desarrollos que permitan una manera más ágil y eficiente de realizar la investigación, el desarrollo tecnológico y la inversión. Especialmente, se deben revisar las normas vigentes relacionadas con el acceso a recursos genéticos y bioseguridad de los productos de la biotecnología, con el propósito de adecuarla al con-

texto actual del país, en consonancia con el entorno internacional.

Por otro lado, la propiedad intelectual es un factor de éxito para el desarrollo de este sector; de allí que exista la permanente inquietud de los empresarios y expertos en cuanto a su protección, buscando salvaguardar sus conocimientos e investigaciones. La claridad en la regulación normativa del sector industrial favorecerá a las empresas de base biotecnológica en innovación, selección de tecnologías adecuadas y calidad de productos y procesos.

<b>Estrategia 1: fortalecimiento de mecanismos jurídicos para facilitar el desarrollo empresarial e industrial de la biotecnología</b>	<b>Acciones</b>
<p>Si bien el marco legal del país contempla mecanismos e incentivos para el desarrollo y aplicación industrial de la biotecnología, en muchas ocasiones son desconocidos o no han generado el impacto suficiente, debido, posiblemente, a que no son específicos para este sector. Adicionalmente, en el análisis del estado del arte de la biotecnología en Colombia, se identificó la necesidad de establecer otros mecanismos que faciliten el desarrollo de iniciativas comerciales.</p>	<p>1. Establecer marcos normativos que ofrezcan garantías y facilidades para la importación de insumos, zonas francas y disminución de trámites.</p>
	<p>2. Desarrollar mecanismos que estimulen y agilicen la certificación de empresas y laboratorios para el control de calidad en producción y comercialización de productos biotecnológicos.</p>
	<p>3. Crear estímulos tributarios como disminución en el impuesto de retención en la fuente o reteIVA para las empresas que demuestren productividad a partir de la generación de conocimiento y para equipos destinados a la investigación en el sector.</p>
	<p>4. Establecer garantías en los trámites de importación de insumos para procesos y productos biotecnológicos.</p>
	<p>5. Fomentar la gestión y desarrollo de Pymes de base biotecnológica en el marco de la normatividad vigente para este tipo de empresas.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> normas claras que fomenten el desarrollo de empresas en biotecnología.</p>	

Estrategia 2: <i>revisión, fortalecimiento y apropiación social de la legislación en acceso a recursos genéticos, propiedad intelectual y bioseguridad</i>	Acciones
<p>Los resultados del ejercicio Delphi en biotecnología muestran que uno de los principales factores dentro de la política en biotecnología debe ser el fortalecimiento del marco regulatorio en cuanto a acceso a recursos genéticos y bioseguridad.</p> <p>Es prioritario para el país promover y consolidar el marco legal con relación a la propiedad intelectual, dentro de lo cual es fundamental definir criterios básicos para los procesos de transferencia de tecnología e interacción de las empresas colombianas con multinacionales.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capacitar sobre la protección de los derechos de propiedad intelectual en biotecnología a todos los actores del sistema.</li> <li>2. Revisar la reglamentación sobre acceso a recursos genéticos y bioseguridad, actualizándola de acuerdo con las tendencias mundiales.</li> <li>3. Fortalecer la capacidad tecnológica de los entes de control para el cumplimiento y articulación de las normativas vigentes.</li> <li>4. Capacitar legisladores en temas de biotecnología.</li> </ol>
<p><b>Resultados esperados:</b> contar a mediano plazo con un marco legal en propiedad intelectual, bioseguridad y acceso a recursos genéticos, adecuado para el país y compatible con las tendencias internacionales, así como una masa crítica de formadores en estos temas.</p> <p>Incremento en el número de patentes nacionales solicitadas y concedidas.</p>	

### Capacidad científica y tecnológica del país

Las capacidades actuales del país para la investigación y desarrollo en biotecnología han ido consolidándose, lo cual se ha visto reflejado en el notable aumento de grupos de investigación, en especial en los campos agrícola y de salud humana. Es evidente que dichas capacidades se han concentrado principalmente en las universidades (cerca de un 80% del total de grupos). En Colombia, se detecta una brecha significativa en la formación de especialistas de diversas áreas relacionadas con

la biotecnología, en comparación con los países líderes. De igual forma, el estudio de *benchmark* muestra que un factor prioritario en la definición de políticas públicas es la formación de recursos humanos y la consolidación de capacidades en I&D. Otra brecha existente que debe ser abordada en el direccionamiento estratégico de manera explícita, está relacionada con la comunicación inadecuada e interacción insuficiente entre científicos y empresarios en nuestro contexto.

Estrategia 1: <i>consolidación de capacidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación</i>	Acciones
<p>A lo largo de este estudio se observó que la mayoría de la investigación científica en el país se desarrolla en la academia (95%), y son muy pocas las empresas de base biotecnológica y la investigación en la industria.</p>	1. Fomentar convenios de intercambio científico y cooperación técnica con países líderes en biotecnología.
	2. Abrir convocatorias dirigidas específicamente a la generación de productos biotecnológicos.
	3. Propiciar la vinculación de todos los investigadores a grupos de investigación y su participación en la Red ScienTI.
	4. Exigir a las empresas transnacionales cuya permanencia en el país sea mayor a tres años, que adelanten procesos de transferencia de investigación y desarrollo con empresas nacionales.
	5. Financiar estudios de mercado a los grupos de investigación que quieran desarrollar un producto en el mercado.
	6. Repatriación de los investigadores colombianos formados en el exterior y con experiencia, garantizándoles condiciones apropiadas para el ejercicio de su profesión, así como la infraestructura adecuada.
<p><b>Resultados esperados:</b> fortalecimiento de la comunidad científica, medible por cienciometría.</p>	

Estrategia 2: fortalecimiento de capacidades regionales en ciencia, tecnología e innovación	Acciones
<p>Este aspecto surge del análisis de resultados del ejercicio Delphi, que indican que en muchas de las tecnologías, focos, bienes y servicios biotecnológicos relevantes para el país actualmente y en el futuro, se piensa que las regiones son inferiores al promedio del país. Además, se puede observar que existe una gran concentración en Bogotá, Antioquia y el Valle del Cauca de los principales centros de investigación e investigadores, que conlleva a que la mayoría de los desarrollos biotecnológicos provengan de estas regiones.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar diagnósticos a nivel regional sobre capacidades en ciencia y tecnología y sobre las necesidades sociales, económicas e industriales que comprometan procesos y productos biotecnológicos.</li> <li>2. Desarrollar proyectos biotecnológicos estratégicos con base en necesidades regionales.</li> <li>3. Integrar desarrollos biotecnológicos en cadenas productivas y en planes de desarrollo locales y regionales.</li> <li>4. Fomentar acciones para incrementar el nivel académico en las regiones.</li> <li>5. Destinar presupuesto para fortalecimiento de las iniciativas regionales.</li> </ol>
<p><b>Resultados esperados:</b> iniciativas regionales consolidadas que cuenten con financiación, orientadas a la realización de investigación y desarrollo tecnológico con vocación regional. Aumento de grupos de investigación reconocidos e infraestructura para I&amp;D en las regiones.</p>	

Estrategia 3: fortalecimiento de las relaciones universidad-sector productivo	Acciones
<p>La comunidad biotecnológica está creciendo y cada vez hay más grupos y mejores capacidades; sin embargo, aún no hay iniciativas claras de vínculos entre la industria y la investigación.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incentivar la realización de pasantías y tesis de grado en empresas del sector biotecnológico.</li> <li>2. Conformar unidades eficientes de transferencia de tecnología entre la universidad y la industria, y favorecer el desarrollo de mecanismos de <i>spinoff</i> y <i>startup</i>.</li> <li>3. Establecer convenios y alianzas especiales para asistencia técnica y capacitación entre la academia y el sector productivo.</li> </ol>
<p><b>Resultados esperados:</b> conformación de unidades de transferencia de tecnología. Incremento en el número de proyectos conjuntos universidad-empresa.</p>	

Estrategia 4: modernización y fortalecimiento de programas académicos y formación pertinente de recursos humanos	Acciones
<p>En el estudio de <i>benchmark</i>, se observó que la formación de recursos humanos es uno de los lineamientos estratégicos dentro de las políticas de los países líderes en biotecnología. Así mismo, el Delphi mostró la necesidad de fortalecer la formación en las áreas prioritarias para el país.</p>	<p>1. Evaluación periódica y actualización de los programas de pre y posgrado afines a la biotecnología, para garantizar su pertinencia con las necesidades del país.</p>
	<p>2. Fortalecimiento de la formación en ciencias básicas a través de la revisión de currículos y la inclusión de componentes de pertinencia para la biotecnología.</p>
	<p>3. Formación de técnicos para empresas biotecnológicas.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> aumento de profesionales en ciencias básicas. Programas académicos a nivel de pregrado, posgrado y doctorado en biotecnología o disciplinas relacionadas.</p>	

Estrategia 5: formación y fortalecimiento de redes de investigación y articulación de grupos	Acciones
<p>Los grupos de investigación presentan un crecimiento exponencial, mientras que el presupuesto para investigación no ha aumentado. La cantidad de proyectos financiados por Colciencias se ha mantenido prácticamente estable. Es necesario el trabajo conjunto entre diferentes grupos para que los grupos estructurados jalonen a los nacientes.</p>	<p>1. Articular los grupos de investigación en torno a redes temáticas para compartir información y conocimiento.</p>
	<p>2. Favorecer la formulación de proyectos producto de redes de ciencia y tecnología.</p>
	<p>3. Fomentar proyectos de investigación con grupos internacionales.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> conformación de redes temáticas en áreas prioritarias para el país. Incremento en el número de proyectos conjuntos con grupos internacionales.</p>	

Estrategia 6: <i>fortalecer capacidades doctorales del país</i>	Acciones
<p>El análisis del contexto nacional de la biotecnología muestra que existen aún pocos investigadores con título doctoral. Sin embargo, pueden retomarse casos exitosos como los de la Universidad de Antioquia o la Universidad Industrial de Santander, que han traído investigadores formados en el exterior, ofreciéndoles condiciones apropiadas para prolongar su estadía. Así mismo, se observa en el estudio del contexto internacional y en el <i>benchmark</i> de políticas públicas, que los países líderes tienen estrategias continuas de formación de recursos humanos al más alto nivel.</p>	1. Garantizar una remuneración apropiada para los doctores formados en el exterior y reintegrados al país.
	2. Invertir en mejoramiento de la capacidad logística y de infraestructura del país para recibir nuevos doctores.
	3. Fortalecer y ampliar la oferta de los programas de doctorado afines a la biotecnología y crear nuevos programas en áreas necesarias para su desarrollo.
	4. Establecer redes con investigadores de doctorado y postdoctorado de otros países.
<p><b>Resultados esperados:</b> aumento del número de doctores que se reintegran al país. A mediano plazo, incremento de la cantidad de doctores formados en Colombia.</p>	



### Desarrollo de mercados en biotecnología

Los resultados de la actividad biotecnológica deben derivar en el desarrollo y mejoramiento de procesos o productos para la industria, y en bienes y servicios para elevar la calidad de vida de la sociedad en general, compitiendo de manera sostenible en el mercado. Esta tecnología debe insertarse en el desarrollo económico del país con criterios de competitividad y beneficio social, tal

como lo expresa la visión del Programa Nacional de Biotecnología. Por ello, requiere la precisión en la definición de estrategias de mercado, las cuales atendiendo las definiciones que surjan de estudios de prospectiva tecnológica y comercial, deben buscar el fortalecimiento del aparato productivo nacional y los vínculos con países vecinos, preparándose para hacer frente a mercados más exigentes y difíciles.

<b>Estrategia 1: diseñar estímulos para acelerar la comercialización de los productos generados a partir de la aplicación de la biotecnología</b>	<b>Acciones</b>
El ejercicio Delphi muestra que los procesos de innovación deben promoverse a partir de la articulación de la política de biotecnología con la política y el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, con el propósito de contar con soportes adecuados para generar impactos reales.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Articular diferentes instituciones que ejecutan programas de apoyo al sector empresarial.</li> <li>2. Promover ruedas de negocios en biotecnología.</li> </ol>
<b>Resultados esperados:</b> incremento en el número de productos o procesos generados a partir de biotecnología. Incremento en ventas en las empresas de base biotecnológica. Incremento en el número de empresas de base biotecnológica.	

### Percepción y apropiación de la biotecnología

La percepción y aceptación de la sociedad es esencial para el posicionamiento de los productos de la biotecnología. Para Colombia, éste es un factor clave, pues aún existen grandes vacíos en el

conocimiento de los beneficios y riesgos de estos productos. Por ello, es necesario generar procesos de difusión de información clara y veraz a todos los componentes sociales, y de apropiación de los desarrollos biotecnológicos.

<b>Estrategia 1: evaluación de la percepción pública y promoción de la apropiación social de la biotecnología</b>	<b>Acciones</b>
<p>Para los países líderes, es una prioridad dentro de su política en biotecnología la difusión de información clara, pertinente y veraz hacia la sociedad. En los estudios de percepción del tema realizados en algunos países se evidencia que la comunidad científica es la que tiene mayor credibilidad para la sociedad en general. En Colombia, podría decirse que la situación es similar, pero en realidad no se han establecido mecanismos para evaluar la percepción pública de los productos de la biotecnología.</p>	1. Aplicar encuestas periódicas para evaluar la percepción de los diferentes sectores de la sociedad sobre la biotecnología y sus productos.
	2. Destinar una parte del presupuesto de los proyectos para difundir los desarrollos logrados.
	3. Crear programas radiales o televisivos para educar a la comunidad en general sobre riesgos y beneficios de los productos de la biotecnología.
	4. Incluir dentro del currículum de educación básica cursos en biotecnología.
	5. Capacitar a periodistas y comunicadores en temas de biotecnología, con el fin de que informen al público de manera acertada.
	6. Exigir que se destine el 2% de los recursos de proyectos financiados por recursos del Estado a fortalecer la apropiación social de la biotecnología.
<p><b>Resultados esperados:</b> implementación de las mejores prácticas de evaluación de la percepción pública de diferentes sectores de la sociedad. Aumento en el conocimiento de diferentes sectores de la sociedad acerca de los beneficios y riesgos de los productos de la biotecnología.</p>	

### Gestión de recursos

La política pública y el direccionamiento estratégico debe promover la inversión, el desarrollo, la ingeniería y la gestión en el sector, de acuerdo con lineamientos que garanticen: facilidades para el acceso a los recursos, disminución de los impuestos para la transferencia de tecnología, incentivos para las inversiones nacionales y extranjeras de capital de riesgo para la creación y fortalecimiento de empresas del sector biotecnológico, y la gestión de recursos en el ámbito internacional para su utilización en investigación, desarrollo y producción de bienes biotecnológicos innovadores y articulación de fuentes de financiación de los diferentes entes del Estado.

Sin embargo, el aporte del sector privado deberá crecer rápidamente. Lo anterior se podrá lograr a través de estrategias precompetitivas para cadenas productivas y otros sistemas de integración productiva, en las que se identifiquen los requerimientos biotecnológicos de todos los agentes involucrados, que permita a su vez elaborar carteras de proyectos, mostrando las ventajas comparativas que se lograrían al incorporar procesos y productos de origen biotecnológico. Adicionalmente, se deberán sumar los recursos de capitales de alto riesgo privados e institucionales, que invierten en proyectos de alta innovación.

<b>Estrategia 1: <i>posicionar la biotecnología como una de las prioridades del gobierno nacional</i></b>	<b>Acciones</b>
<p>Con relación al desarrollo biotecnológico, se observa que el compromiso de los gobiernos de los países analizados es alto. Los procesos de definición de políticas involucran gastos importantes en funcionamiento, soporte y desarrollo de las áreas prioritarias.</p> <p>En el caso colombiano, resulta fundamental la definición del presupuesto para la ejecución de la política en biotecnología, lo cual permitirá que los diferentes proyectos tengan continuidad a pesar de los cambios de gobierno.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formular un documento CONPES para asignación de recursos a la biotecnología.</li> <li>2. Garantizar estabilidad en cuanto a cantidad y asignación de recursos para biotecnología.</li> <li>3. Destinar capital de riesgo por parte del Estado.</li> </ol>
<p><b>Resultados esperados:</b> incremento en la asignación de recursos para el desarrollo de la biotecnología.</p>	

<b>Estrategia 2: fortalecer los incentivos económicos para el desarrollo de la biotecnología</b>	<b>Acciones</b>
<p>El desarrollo biotecnológico de los países líderes requirió una intensiva inversión de capital sostenida a través del tiempo.</p>	<p>1. Desarrollar mecanismos para la promoción de exportaciones de bienes y servicios biotecnológicos.</p>
	<p>2. Generar incentivos para las inversiones nacionales y extranjeras de capital de riesgo para la creación y fortalecimiento de empresas del sector biotecnológico.</p>
	<p>3. Articular las diferentes fuentes de financiación que en el momento destinan recursos para la biotecnología.</p>
	<p>4. Promover la creación de un fondo privado de capital de riesgo y capitales ángel, para la promoción y generación de negocios de base biotecnológica.</p>
	<p>5. Realizar la proyección del gasto en el sector biotecnológico en los próximos años, con base en la ejecución de los recursos asignados desde entidades del Estado y ejecutados en los últimos cinco años, que garanticen la asignación sostenible de recursos por parte del Estado.</p>
	<p>5. Gestionar recursos en el ámbito internacional para su utilización en investigación, desarrollo y producción de bienes biotecnológicos innovadores.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> incremento en la inversión en biotecnología en el país.</p>	

### Gestión eficiente del direccionamiento estratégico de la biotecnología

El impacto de las estrategias propuestas en cada uno de los componentes del direccionamiento podrán llevarse a cabo teniendo como base elementos claves para su gestión. Inicialmente, resulta fundamental definir responsabilidades, para lo cual es necesario contar con una estructura que las asuma.

Lo anterior involucra aspectos como:

- La conformación de un órgano interministerial con participación de otras entidades, para lo cual podría emplearse la figura del convenio interinstitucional.

- Conformar un comité en biotecnología que sea, a la vez, asesor del gobierno e interlocutor de la sociedad.
- Impulsar las empresas de biotecnología en el país y su organización en asociaciones, que posteriormente permitan la conformación de un foro colombiano de biotecnología.

A continuación, se proponen estrategias para viabilizar el direccionamiento estratégico, logrando resultados sostenibles e impactos medibles en el tiempo.

<b>Estrategia 1: articulación de los actores de la biotecnología con el Sistema Nacional de Innovación y el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología</b>	<b>Acciones</b>
<p>El ejercicio Delphi muestra que los procesos de innovación deben promoverse a partir de la articulación de la política de biotecnología, con la política y el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, con el propósito de contar con soportes adecuados para generar impactos reales.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Articular diferentes instituciones que ejecutan programas de apoyo al sector empresarial.</li> <li>3. Creación de unidades de asesoría en diferentes técnicas de gestión, con el fin de que los grupos de investigación formulen adecuadamente sus proyectos y los sustenten con estudios de vigilancia tecnológica y competitiva, entre otros, atendiendo a las necesidades y prioridades del país.</li> </ol>
<p><b>Resultados esperados:</b> conformación de un ente de carácter nacional, que integre diferentes actores relacionados con la biotecnología, gestione esfuerzos en este sentido y se articule con el SNI y el SNCyT .</p>	

Estrategia 2: <i>promoción y aplicación de la gestión tecnológica y del conocimiento en biotecnología</i>	Acciones
<p>La biotecnología genera su valor en la permanente dinámica de la generación, asimilación y aplicación del conocimiento. Por ello, se deben promover mecanismos de apropiación de métodos y herramientas de la gestión del conocimiento y de la tecnología.</p>	1. Incluir componentes de gestión de tecnología en los programas de formación en pregrado y posgrado, en ciencias básicas y otras áreas afines a la biotecnología.
	2. Formación de profesionales en gestión tecnológica y gestión del conocimiento, con énfasis en tecnologías emergentes, como la biotecnología.
	3. Creación de unidades de asesoría en gestión para grupos de investigación.
	4. Incluir componentes de gestión de tecnología en los programas de formación en pregrado y posgrado, en ciencias básicas y otras áreas afines a la biotecnología.
	5. Consolidación de procesos de observación y vigilancia en ciencia, tecnología, mercados y apropiación social de biotecnología.
<p><b>Resultados esperados:</b> implementación de diferentes herramientas y técnicas de gestión para la formulación de proyectos en biotecnología, así como para su direccionamiento en diferentes niveles. Participación de profesionales en gestión tecnológica en los grupos de investigación registrados ante Conciencias.</p>	

Estrategia 3: <i>priorización de áreas de desarrollo biotecnológico</i>	Acciones
<p>La encuesta Delphi permite ver que quienes respondieron consideran necesario enfocar los esfuerzos hacia áreas prioritarias, para lo cual es importante la integración de la investigación con el sector productivo y la identificación de las necesidades del país con el fin de formular proyectos para darles atención. Una primera aproximación al respecto se realizó en el capítulo anterior.</p>	1. Realización de ejercicios continuos de vigilancia tecnológica y comercial, junto con estudios de previsión, medición y evaluación de las dinámicas en biotecnología.
<p><b>Resultados esperados:</b> estudios de tendencias e identificación de prioridades como base para la formulación de proyectos.</p>	

<b>Estrategia 4: seguimiento a la ejecución del direccionamiento estratégico</b>	<b>Acciones</b>
<p>Con el fin de garantizar la ejecución de las actividades propuestas en el direccionamiento estratégico y dar continuidad a las estrategias planteadas, debe realizarse un continuo seguimiento para medir los avances y logros, así como para realizar los ajustes pertinentes.</p>	<p>1. Realización periódica de la evaluación del grado de ejecución del direccionamiento estratégico propuesto, analizando sus impactos, retos futuros, nuevas coyunturas y factores críticos.</p>
	<p>2. Socialización y divulgación del proceso de la acción anterior.</p>
<p><b>Resultados esperados:</b> ejecución eficiente del direccionamiento, pertinencia de los resultados e impactos; apropiación social de la biotecnología, retroalimentación amplia de la sociedad.</p>	

## REFERENCIAS

- Castellanos, O., Ustate, E., De Peña, M. (2002). Fundamentos para una política nacional en biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*. V3, N2.
- Colciencias, Programa Nacional de Biotecnología (1999). *Plan estratégico – Biotecnología*. Bogotá. Colombia.
- Colciencias, Dirección General, Subdirección de programas estratégicos. (2004). *Direccionamiento estratégico 2004-2006: una visión a 2020*. Bogotá. Colombia.
- CONACYT (2004). *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: retos y oportunidades*. México.
- Torres, R. (2002). *Bases para una política nacional de biotecnología*. Informe Final presentado al Departamento Nacional de Planeación – DNP, Dirección de Desarrollo Agrario. Bogotá. Colombia.
- Vacarrezza, L. (2005). La dinámica social de la producción en biotecnología. En: *Construcción de indicadores en biotecnología*. Editado por: Observatorio de Ciencia y Tecnología. Bogotá. Colombia.
- Zoltán, S. (1993). *La gestión de la innovación tecnológica en la biotecnología*. Biotecnología: legislación y gestión para América Latina.







UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ  
FACULTAD DE INGENIERÍA