

# Prospectiva de la biotecnología aplicada en el sector forestal en Colombia<sup>1</sup>

Francisco Torres Romero<sup>2</sup>  
Guillermo Andrés Buitrago<sup>3</sup>

Recibido: 04 ago/08 • Aprobado: 08 sep/08

## Resumen

El sector forestal representa una de las oportunidades prometedoras para Colombia, dado que puede aprovechar todo su potencial geoestratégico en la generación de valor agregado. Para identificar tendencias y generar discusión en torno al tema, se consultó a 24 expertos de diversas entidades, identificando consensos que proyectan las decisiones empresariales, académicas y gubernamentales para los próximos años. Se abordaron los siguientes ejes temáticos: importancia de la biotecnología para el sector forestal en los ámbitos nacional y global, utilización de transgénicos en forestales en Colombia, productos y procesos a desarrollar en los próximos veinte años; mejoramiento genético de especies forestales, productos forestales con potencial de negocio, acciones a emprender por los actores públicos y privados,

<sup>1</sup> Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Administración de Empresas MB A – Universidad de La Salle, División de Formación Avanzada, Bogotá, Colombia, Mayo de 2008

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal, Magíster en Administración de Empresas, Gerente de Producción Semicol Ltda. Correo electrónico: ftorres@semicol.com.co

<sup>3</sup> Ingeniero de Sistemas, Magíster en Administración de Empresas, Consultor Asociado Visión–Universidad de la Sabana, Vicedecano Académico Escuela de Logística–Ejército Nacional. Correo electrónico: guruclef82@etb.net.co

medidas regulatorias para el uso de la biotecnología en forestales; áreas de formación necesarias para la biotecnología forestal. A partir de dichos consensos, una revisión bibliográfica y la experiencia de los autores, se construyeron tres posibles escenarios para el sector forestal nacional en el año 2028, titulados de acuerdo con la competitividad de diversos automóviles en la Fórmula 1.

## **Palabras clave**

Biotecnología forestal, Colombia, mejoramiento genético, formación en biotecnología, prospectiva.

## **Prospective of Biotechnology Applied to Forestry Sector in Colombia**

### **Abstract**

Forestry sector represents one of the promising opportunities for Colombia, since it can take advantages of all its geostrategic potential in added value generation. In order to identify trends and generate discussion on the topic, 24 experts from different entities were consulted, recognizing consensuses that change business, academic and government decisions for the next few years. These topic-themes were analyzed: importance of biotechnology for forestry sector at national and international levels, use of forest transgenic in Colombia, processes and products to be developed in the next twenty years; genetic improvement of forest species, forest products with potential business, actions to be implemented by public and private sectors, regulating norms to use forest biotechnology; education areas necessary for forest biotechnology. Three possible scenarios for forestry sector in 2028 were constructed based on consensuses, a literature review and authors experience, entitled in accordance with the competitiveness of various cars in Formula 1.

### **Keywords**

Forest biotechnology, Colombia, genetic improvement, education in biotechnology, prospective.

## Introducción

Colombia se ha orientado a la firma de tratados de libre comercio como apuesta a futuro, el gobierno ha señalado a la biotecnología como soporte a la reconversión tecnológica de la agricultura, partiendo de la base que la biotecnología es uno de los campos con mayor potencial para el país en términos de competitividad, dado el incipiente avance en el área, las ventajas comparativas geoestratégicas y la vocación agrícola que ha acumulado capital intangible durante generaciones.

(Cristancho P, 2004) afirma que

La biotecnología es un paradigma tecnológico y como tal afecta toda la estructura productiva desde la producción de insumos y productos agrícolas, pasando por la industria de alimentos, la extracción y transformación de minerales hasta la salud humana y animal. Si antes se habló del chip como factor clave en la revolución informática, ahora esta nueva revolución tiene como factor clave los recursos genéticos.

La relevancia del campo biotecnológico empieza a vislumbrarse y, en consecuencia, las bases para la prospectiva son clave para ampliar la información disponible para la toma de decisiones, lo que mejora cualitativamente el desempeño de los planes relacionados. Para este caso, esta clase de análisis prospectivo presenta óptimas posibilidades de uso en el contexto de la planificación y gestión de las cadenas productivas, tanto para las organizaciones de Investigación & Desarrollo (Gomes de Castro y Valle Lima, 2003).

En 2003, se planteó un Programa Nacional de Prospectiva con el respaldo de Colciencias, el Sena, el Ministerio de Comercio y la CAF,

buscando desarrollar las capacidades nacionales de prospectiva y vigilancia tecnológica, abriendo la posibilidad de realizar un análisis sistemático y permanente con los objetivos de: a) establecer el estado del arte, b) buscar soluciones a problemas tecnológicos, c) identificar tendencias tecnológicas y d) ayudar a quienes toman decisiones sobre programas de ciencias y tecnología (Colciencias, 2007).

En este campo, la tendencia actual busca el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, logrando materia prima homogénea, barata y mitigando la presión al bosque natural. Además, los incentivos fiscales y la investigación han favorecido la reforestación exitosa tal como en Brasil, Chile y Costa Rica (Ladrach, 2005). Según Visión Colombia 2019, el país debe incrementar la inversión en investigación y desarrollo hasta 1,5% del PIB e impulsar el conocimiento en áreas estratégicas para el desarrollo competitivo del país (Planeación, 2005).

## Objetivos

### *Objetivo general*

Generar bases para el análisis prospectivo de la biotecnología aplicada al sector forestal en Colombia mediante la construcción de escenarios con base en las opiniones de expertos y una consolidada revisión bibliográfica.

### *Objetivos específicos*

1. Identificar elementos de convergencia entre expertos tomadores de decisión en cuanto a áreas de interés relacionadas con el futuro de la biotecnología aplicada al sector forestal en Colombia.

2. Desarrollar una revisión de bibliografía sobre las tendencias y perspectivas del sector para los próximos 20 años.
3. Determinar la relevancia de la aplicación biotecnológica al sector forestal para el fortalecimiento competitivo del país frente al mercado global.
4. Identificar estrategias, áreas de investigación y productos estratégicos útiles a los sectores académico, público y privado en el planteamiento de estrategias a mediano y largo plazo.

## Estrategia metodológica

Se encuestó a expertos tomadores de decisión en los sectores académico, público, productivo y gubernamental, utilizando un conjunto de cuestionamientos en torno al futuro del sector en Colombia. De acuerdo con los puntos de convergencia se aplicó nuevamente el instrumento para obtener nuevos resultados cualitativos<sup>4</sup>. Paralelamente, se efectuó una detallada revisión bibliográfica y a partir de ambas fuentes se construyeron tres escenarios posibles para el objeto de estudio<sup>5</sup>.

## Contexto: Biotecnología aplicada al sector

### *Biotecnología en el mundo*

Según la OECD (van Beuzekom y Arundel, 2006), Estados Unidos tiene la mayor cantidad de firmas dedicadas a la biotecnología (2.196),

<sup>4</sup> Con base en la aplicación de una encuesta Delphi, que para el caso de la investigación tuvo dos iteraciones.

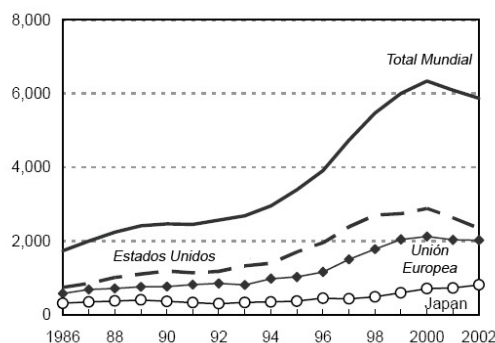
<sup>5</sup> El instrumento de recolección de información está basado en el utilizado por el gobierno de Chile (Ministerio de Economía de Chile, 2005).

seguido por Japón (804) y Francia (755). En cuanto al número de empleos relacionados, se estima que entre 2003 y 2004, Estados Unidos cuenta con 75.320 empleados, el Reino Unido con 9.644 y Alemania con 8.024. En cuanto a empleos en firmas de base biotecnológica, Estados Unidos cuenta con 172.391 empleados, y Alemania con 24.131 empleados.

### *Patentes en biotecnología*

Con mayor crecimiento frente a otros tipos de patente, según la EPO<sup>6</sup>, entre 1991 y 2002, crecieron al 8,3% al año, mientras que los usos de patente crecieron por 5,7%. El coeficiente de incremento en patentes de la biotecnología se ha acelerado desde 1994.

**Gráfico 1.** Variaciones en patentes de biotecnología.



Fuente: OECD.

En 2002, más de 5.800 de las patentes en biotecnología fueron tramitadas en la EPO, generadas por Estados Unidos (39,9%), la Unión Europea (34,5%) y Japón (13,8%).

<sup>6</sup> Oficina Europea de Patentes.

### *Biotecnología en agricultura*

Datos internacionalmente comparables para los usos de la biotecnología en agricultura son limitados a las variedades de cultivos de plantas genéticamente modificadas, GM. Dos tipos de los datos están disponibles: hectáreas (ha) plantadas con GM, cosechas y pruebas en práctica de las nuevas variedades del GM.

Entre 2002 y 2005, las ha plantadas con cosechas de GM crecieron en Argentina (27%), Estados Unidos (28%), Canadá (53%), China (57%) y Brasil (169%). Argentina tiene el mayor porcentaje en tierra de labranza plantada con plantas GM, para 2005 cosechaba el 61%, seguido por Estados Unidos (el 29%), Brasil (el 16%) y Canadá (13%). Las especies que se cosechan hasta la fecha principalmente son: sojas, maíz, algodón, y canola.

### *Comercio en biotecnología*

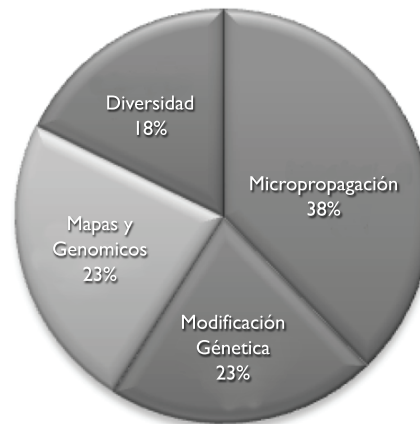
Para Estados Unidos, las ventas de productos y servicios de biotecnología ascendían en 2001 a US\$ 50.472 millones y las ventas totales en trece países analizados fueron US\$ 82.852 millones. Las ventas en el campo agroalimentario son 45% en Canadá, comparable las ventas de salud. También figuran Israel (30%) y Noruega (27%).

### *Biotecnología en el sector forestal*

El término biotecnología, se define como "cualquier uso tecnológico que utilice sistemas biológicos, organismos vivos, o derivados de eso, hacer o modificar productos o procesos para el uso específico" (FAO, 2001). "La biotecnología es más que la ingeniería genética". De hecho, la mayoría (81%) de las actividades de la biotecnología en el sector de la silvicultura

en los últimos años no fue relacionada con la modificación genética.

**Gráfico 2.** Actividades en biotecnología  
(Proporciones mayores 90%)



Fuente: FAO, 2004.

La investigación y las aplicaciones de la biotecnología en el sector forestal avanzan rápidamente. El uso de la biotecnología forestal se concentra 70% en países desarrollados, con Estados Unidos, Francia y Canadá como protagonistas. Mientras que la investigación y uso de la biotecnología del bosque se ha utilizado en al menos 140 géneros, la actividad (62%) se ha centrado en solamente seis géneros (Pinus, Eucalyptus, Picea, Populus, Quercus y Acacia, en orden descendente de actividad).

Según la FAO, la manipulación genética en el sector forestal se realiza en al menos 35 países, aunque en la mayoría de casos se trata de experimentos de laboratorio, con tan sólo algunas pruebas sobre terreno. Para 2004, se llevaban a cabo más de 210 ensayos de árboles genéticamente modificados en un total de 16 países, aunque la mayoría de estas pruebas tuvieron lugar en Estados Unidos, limitados esencialmente a las especies Populus, Pinus, Liquidambar y Eucalyptus. China ha señalado la

distribución comercial de árboles transgénicos, cerca de 1,4 millones de plantas en una superficie de 300 a 500 ha.

### *Usos de la biotecnología en el sector forestal*

La biotecnología moderna aplicada en el sector forestal puede clasificarse en tres grandes categorías:

**1. Multiplicación vegetativa:** pretende la producción de materiales uniformes a gran escala. También permite seleccionar características clave como la resistencia a enfermedades, tolerancia a herbicidas y bajas temperaturas. Entre sus ventajas, evita que proliferen agentes patógenos; el estudio de procesos fisiológicos, la obtención de más individuos en espacios reducidos, la obtención de individuos uniformes y facilidad de transporte del material.

La propagación de árboles mejorados a partir de semillas se limita por la longitud de su ciclo de vida. Es posible obtener árboles con un sello genético característico, genéticamente diferenciados, también llamados "élite".

**2. Biotecnologías basadas en marcadores moleculares:** los marcadores son fragmentos de ADN que pueden corresponder a un gen y pueden usarse en identificación genética de árboles, localización de genes asociados a características cuantitativas.

**3. Modificación genética de especies forestales** (árboles transgénicos): así como se le insertan genes a plantas de maíz para conferirles nuevas características, las especies forestales pueden incorporar genes que mejoren su crecimiento y la calidad de su madera.

El primer árbol transgénico desarrollado en 1986 fue del género *Populus* (álamo) y es el más utilizado en este tipo de investigaciones (47% de los árboles transgénicos pertenecen a este género). Las características incorporadas mediante modificación genética son: tolerancia a herbicidas; resistencia a insectos; modificación de la cantidad y calidad de lignina; modificación de la floración (Galetti, 2003).

Este proceso es dinámico, responde a cambios permanentes que aparecen en las plantaciones, como la aparición de nuevas plagas, enfermedades, cambios climáticos y demanda de nuevos productos del sector forestal. Los beneficios pueden ser: reducción de costos en tiempo de corte de árboles, mayor aprovechamiento industrial e incremento de la productividad (FAO, 2004). Los próximos pasos a dar en materia de árboles transgénicos incluyen el mejoramiento de resistencia a virus, insectos u hongos; tolerancia a climas y temperaturas extremas, tolerancia a salinidad; mejora en la calidad de fibra, capacidad de captura de CO<sub>2</sub>; producción de compuestos de interés farmacológico y detoxificación de sitios contaminados (fitorremediación).

### *Biotecnología forestal en Colombia*

La aplicación de la biotecnología en la reproducción y el mejoramiento es reciente a nivel nacional (Presidencia de la República, 2002). En 2004 se estableció Rebiofor<sup>7</sup>, promoviendo el intercambio de información entre diferentes organismos.

La Universidad Tecnológica de Pereira, UTP, ha trabajado en la caracterización molecular de aliso (*Alnus acuminata*), nogal cafetero

<sup>7</sup> Red colombiana de Biotecnología Forestal.

(*Cordia alliodora*), guadua (*Bambusa guadua*), ocobo (*Tabebuia rosea*) en la zona cafetera colombiana. En la Unidad de biotecnología de la Pontificia Universidad Javeriana se desarrollaron y aplicaron herramientas biotecnológicas para la caracterización, conservación, manejo, y mejoramiento de especies forestales de interés ecológico y económico. Además, se diseñaron estrategias para la capacitación y transferencia de tecnología. De forma paralela, esta unidad ha trabajado en la identificación de microorganismos benéficos para especies forestales, favoreciendo la producción de árboles sanos con tolerancia al trasplante a condiciones de campo. Durante los últimos años se ha avanzado en la estandarización de protocolos iniciales para la micropropagación de teca (*Tectona grandis*), eucalipto (*E. globulus* y *E. tereticornis*), aliso (*Alnus acuminata*), Pino romeron (*Decussocarpus rospigliosii*) y ocobo (*Tabebuia rosea*) (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, 2003).

Smurfit Kappa Cartón de Colombia incorporó hace más de siete años la silvicultura clonal a escala comercial en sus nuevas plantaciones, aprovechando tecnologías desarrolladas en Brasil. De la misma forma, Pizano–Monterrey Forestal inició en 2005 su programa de hidroponía en viveros con *Gmelina arborea*. Posteriormente, en el Vivero 3F del Grupo Kanguroid se iniciaron proyectos en tecnificación de enraizamiento adventicio de *Acacia mangium*. Refocosta inició la construcción de una planta piloto de producción de mini estacas de Teca en 2006. Igualmente, en Villanueva, Casanare, se iniciaron dos proyectos de tecnificación de viveros para la propagación clonal de *E. pellita*.

En la actualidad, el desarrollo de la silvicultura clonal ha dado excelentes resultados en campo. Inicialmente los géneros trabajados con esta

tecnología son: *Eucalyptus*, *Pinus*, *Tectona*, *Gmelina* y *Acacia*.

## **Biotecnología, competitividad y prospectiva**

### *Competitividad*

Ser competitivo hoy en día significa tener características especiales que nos hacen ser escogidos dentro de un grupo de empresas que se encuentran en un mismo mercado. Para un país, el posicionamiento competitivo se encuentra relacionado con la infraestructura que le dé capacidad de generar valor agregado intensivo, explotando ventajas comparativas y competitivas.

### *Competitividad en biotecnología*

Un generador clave de valor competitivo es el área de investigación y desarrollo, en la que se destaca la biotecnología. En el ámbito forestal global, desempeña un papel clave en los costos de generación de bosques, ya que permite mayores rendimientos y mejor calidad de la madera obtenida. En los últimos años, la biotecnología ha multiplicado veloz e inesperadamente el potencial de aprovechamiento para la biodiversidad y el desarrollo de innovaciones tecnológicas en la actividad productiva.

En los países emergentes, persisten carencias en sus políticas de desarrollo tecnológico, déficit que se vislumbra en el área de la investigación y desarrollo, conducida en gran medida por universidades, contrario a los países desarrollados, donde la participación de la industria es activa y significativa. Igualmente, la escasa cantidad de patentes adjudicadas a investigadores de países emergentes es reflejo de ello. Paradójicamente,

la biotecnología como tal es considerada por éstos como una herramienta prioritaria y necesaria (Gabriel, 2006).

Es clave diferenciar la biotecnología agroalimentaria de la relacionada a la salud, esta última es sumamente particular en el contexto financiero y de desarrollo. Desarrollar una molécula derivada de la biotecnología para salud humana conlleva en promedio unos diez años de experimentación, y de USD\$ 500 a 800 millones de inversión. En contraste, la biotecnología agroalimentaria, silvícola, minera o ambiental resulta menos onerosa, con inversiones cercanas a USD\$25 millones y menor tiempo para la obtención de un producto, con riesgo aleatorio inferior.

### *Prospectiva y tecnología*

En el marco prospectivo, se procura sondear la orientación de las tecnologías que más convienen a un país, a fin de articular esfuerzos para proveer lo necesario para apropiárselas, posibilitando la construcción del futuro deseado (Mojica, 2006).

La prospectiva tecnológica es una de las herramientas más utilizadas, consiste en reunir opiniones de científicos, ingenieros, tecnólogos, industriales, responsables de las políticas científicas, tecnológicas y representantes civiles para identificar las tecnologías futuras que proporcionen los mayores beneficios económicos y sociales. Este proceso pretende crear una visión consensuada del desarrollo tecnológico a mediano y largo plazo, para identificar las líneas de investigación y desarrollo tecnológico a seguir para afrontar los acontecimientos que se produzcan.

Se debe precisar que la prospectiva no pretende servir a cálculos científicos. Se trata únicamente de apreciar de la forma más objetiva posible las múltiples realidades desconocidas (Godet, 2000). Para llevar a cabo un estudio sobre el futuro de la tecnología se puede emplear: exploración del entorno; análisis de tendencia; análisis morfológico; árboles de pertinencia; encuestas Delphi; planeamiento de escenarios; matriz de impacto cruzado; método de probabilidad de Bayes.

Para la aplicación práctica de los conceptos y la aplicación metodológica se toma el modelo utilizado por Chile, referente competitivo de Suramérica (26 en el escalafón mundial) con serias estrategias de desarrollo forestal.

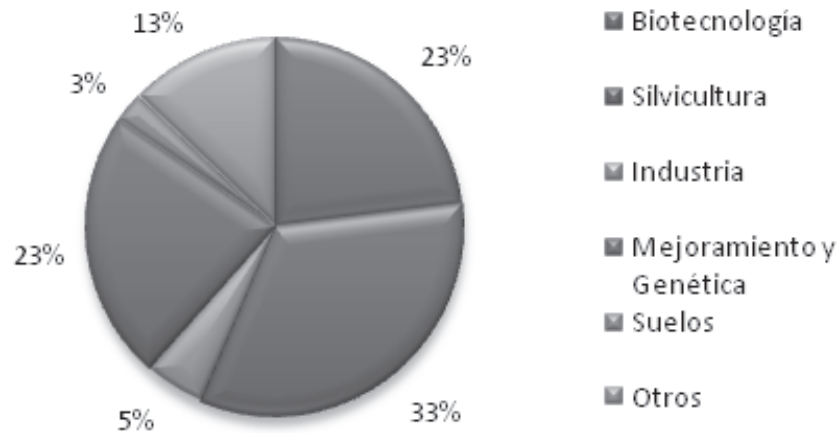
## **Desarrollo de la investigación**

### *Grupo de expertos*

Entre noviembre de 2007 y enero de 2008, se contactó un grupo de 40 de expertos previamente seleccionados con base en el nivel de experticia en el sector forestal y contacto con temas de biotecnología, de los cuales se obtuvo la participación de 24, representando 6 universidades, 8 empresas privadas, 2 centros de investigación, una institución gubernamental y 3 ONG. En cuanto a experiencia, la muestra reflejó 74% con más de 20 años y 13% entre 15 y 20. Sus áreas de trabajo cubren cinco áreas predominantes del sector (gráfico 3).



**Gráfico 3.** Áreas de trabajo de los expertos participantes.



Fuente. Investigación de los autores.

### *Relevancia de la biotecnología aplicada*

Al consultar sobre la importancia de la biotecnología en el sector, para el contexto global, 70% de los expertos la considera muy alta y el 30% la considera alta. En contraste, para el caso nacional se ponderó 40% alta, 30% muy alta, 17% media y 9% baja importancia.

La diferencia de Colombia respecto al globo obedecería a una postura conservadora en vista a las desventajas actuales frente a una optimista de desarrollo biotecnológico a nivel internacional, sin embargo hay consenso en que la biotecnología va a desempeñar un papel importante o muy importante en la producción forestal.

Al consultar si la biotecnología es indispensable para ganar competitividad en el mercado global, el 65% de los expertos lo considera un factor absolutamente indispensable y el 35% la considera importante, mas no indispensable, no hubo respuestas de sin importancia.

Sobre si el país cuenta con ventajas para el desarrollo de técnicas biotecnológicas aplicadas al sector, hay consenso para el 91%; Colombia entre ellas, aunque el 9% opina lo contrario. Entre las respuestas obtenidas, cabe destacar la reiterativa mención a las ventajas agroecológicas obtenidas por su privilegiada posición geográfica, biodiversidad, riqueza en recursos genéticos, existencia de especies de gran valor comercial, disponibilidad de talento humano, grupos de investigación reconocidos y el reconocimiento por parte del sector privado de la importancia de la biotecnología y las alianzas entre sector público, centros de investigación y universidades.

### *Transgénicos en especies forestales*

Este tema divide la opinión sobre si se deben impulsar en el contexto nacional: 57% de los expertos se manifiesta a favor y el 43% en contra. A continuación se presentan algunas transcripciones de los argumentos:

#### Argumentos a favor<sup>8</sup>:

- Los transgénicos son parte de una agenda internacional de competitividad. Aquellos países que se decidan a desarrollar estas tecnologías se insertarán más rápido en una silvicultura de mercados internacionales. Los prejuicios se irán poco a poco eliminando, en ese momento se lamentará no haber iniciado la carrera del desarrollo de estas tecnologías vs. países como Brasil (proyecto del genoma de eucaliptos) y Chile y Argentina habrán avanzado a grandes pasos para entonces.
- Los transgénicos son la vía más rápida para producir material resistente a plagas, enfermedades, bajo contenido de lignina, mayor productividad, etc. Con los transgénicos, las evaluaciones de comprobación en campo serán mucho más cortas, los ciclos de mejoramiento se acortarán, las generaciones de mejoramiento avanzarán más rápido, acercándose al concepto de líneas puras, aplicado hoy día, solamente en plantas de producción anual.
- La ola transgénica ya es un hecho en los cultivos agrícolas, y va a suceder lo mismo en los árboles cultivados de rápido crecimiento, Brasil y Chile estarán a la vanguardia, Colombia no debe quedarse atrás.
- Para introducir especies de alto valor económico al mercado internacional y hacerlas competitivas, se deben implementar manipulaciones genéticas que permitan la utilización de suelos con algunas limitaciones con la introducción de especies con alguna resistencia a suelos ácidos y al ataque de plagas y enfermedades, limitantes

<sup>8</sup> Fuente: Resultados de la investigación.

de la producción de estas especies o elevar la producción por hectáreas y acortar los turnos de producción.

- Aspectos como resistencia a plagas y enfermedades, reducción del contenido de lignina y estudio de genes se realizarán eficientemente sólo con el uso de transgénesis.
- Sí se debe impulsar, pero con políticas definidas y con la propuesta de logros o resultados reales y apoyado en programas de mediano a largo plazo. No se trata de adaptar técnicas simplemente, sino de desarrollar las investigaciones en casos y especies previamente definidas.
- El desarrollo y consumo de productos agrícolas transgénicos en el sector agrícola es una realidad, y la transferencia de la tecnología con sus beneficios al sector forestal depende del tiempo requerido para evaluar las hipótesis propuestas, desarrollar políticas de bioseguridad e informar la sociedad de sus riesgos y beneficios ambientales y económicos para el desarrollo del País.

#### Argumentos en contra:

- La investigación básica es aún incipiente en Colombia, no se ha trabajado suficiente en mejoramiento convencional de especies forestales y este aspecto dificulta el avance en desarrollo de transgénicos, por relación costo-beneficio aún no se justifica.
- Primero se deben implementar los programas de mejoramiento genético de las especies de mayor comercialización en el país y luego pensar en establecimiento de plantaciones a través de silvicultura clonal y, por último, pensar en productos transgénicos.

- Aún falta mejorar muchas técnicas básicas, la transgénesis se hace necesaria cuando se agoten otros métodos y sea la única opción viable.
- El desarrollo tecnológico que posee el país aún no permite que esta tecnología sea la prioritaria, se pueden desarrollar otras áreas de investigación que hoy son muy deficientes.
- Los recursos en Colombia deben estar enfocados en mejorar otros aspectos, el desarrollo de OGM requiere de investigación básica que requiere gran cantidad de recursos.
- No es prioritario, no se ha avanzado lo suficiente en lo básico para poder pasar a algo más complejo.
- La biodiversidad en el campo forestal es tan amplia y compleja que en veinte años no lograremos conocerlo en su totalidad, por eso la prioridad debe estar enfocada al conocimiento básico que permita competitividad, aprovechando la enorme variabilidad natural existente, la cual es muy compleja y aún desconocida.

Contrastando los resultados y argumentaciones, tanto a favor como en contra, es posible determinar que la transgénesis tendría impacto sobre la competitividad de la industria forestal en el país a largo plazo. Sin embargo, resulta imprescindible el establecimiento de normas y protocolos de bioseguridad que garanticen una mínima afectación de ecosistemas naturales y especies nativas, patrimonio clave en la identificación de nuevas oportunidades en el sector.

Las opiniones en contra manifiestan preocupación por la necesidad de una infraestructura de

conocimiento y tecnología que sirva como base a desarrollos realmente determinantes frente a la vanguardia global y que a su vez garanticen su sostenimiento sin perjudicar el desarrollo integral de la nación. En ningún momento se desechó como área clave. En una perspectiva hipotética de uso de transgénicos se identificó como área principal de aplicación práctica la generación de árboles con resistencia a insectos u hongos, seguido de árboles tolerantes a sequía y, en tercer lugar, árboles tolerantes a acidez.

### *Productos y procesos a desarrollar*

Acerca de los productos y procesos a desarrollar en las próximas dos décadas, la puntuación acumulada arrojó resultados sobresalientes en su orden para: identificación clonal, clones, bancos de germoplasma, mejoramiento de especies introducidas, mejoramiento para el aumento de la productividad, mejoramiento de especies nativas, mejoramiento para resistir plagas y enfermedades. Los resultados podrían interpretarse de la siguiente manera:

- **Identificación clonal-clones:** el desarrollo actual de la silvicultura clonal da gran relevancia a este tema para el sector forestal. Al establecer clones de los mejores individuos, puede garantizarse continuidad de la calidad genética, exigiendo identificar y certificar cada clon para una plantación, ahorrando significativamente en costos de pérdida por incertidumbre. En Brasil, Chile y Costa Rica, ya se comercian clones certificados, mientras que en Colombia no existe aún este modelo de mercado, significando un preocupante rezago tecnológico.
- **Bancos de germoplasma:** por la naturaleza de muchas especies nativas, es complicado mantener germoplasma almacenado du-

rante largos periodos de tiempo, ya que sus semillas tienen poca viabilidad y su material vegetal posee bajo nivel de supervivencia. Con la biotecnología es posible mantener material disponible para programas de propagación.

- **Mejoramiento de especies introducidas:** dado que los mercados internacionales demandan un grupo específico de especies independiente de su origen y que Colombia posee potenciales industriales que, con mejoramiento genético, impactarán la competitividad nacional.
- **Mejoramiento de especies nativas:** existen especies nativas de buena demanda y valor comercial, que con su propagación mediante nuevas técnicas de mejoramiento mejorarían sustancialmente su productividad.
- **Mejoramiento genético:** hay consenso de los expertos en considerar absolutamente necesario el desarrollo de programas de mejoramiento genético para el aumento de la competitividad de la industria forestal en los próximos veinte años. De las especies a mejorar, se eligieron: *Tectona grandis*, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla*, *Cordia alliodora*, *Cariniana pyriformis*.

### Productos con potencial de negocio

Consultando sobre productos no representativos que tendrían ventajas competitivas para el país, se destacaron los segmentos de biocombustibles, madera libre de nudos, semillas seleccionadas y mejoradas, maderas duras de pequeñas dimensiones, fibra para papel de mejor calidad y semillas de especies endémicas. Colombia no puede ser ajena a la emergente

tendencia mundial de crecientes mercados para biocombustibles. Existen varias alternativas con potencial de respuesta como el Inchi (*Caryodendron orinocence*), *Jatropha* (*Jatropha curcas*) y algunas especies de palma nativa de las que se puede producir biodiesel. La madera libre de nudos constituye materia prima clave en la cadena productiva de muebles y productos de la madera, disminuyendo desperdicios y mejorando la calidad.

### Acciones a emprender por los actores

Al consultar sobre las iniciativas a emprender por el sector privado y el sector público, así como en su conjunto, acerca de las acciones a desarrollar para fomentar el uso y aprovechamiento de la biotecnología en el área forestal.

**Tabla 1.** Áreas recomendadas de formación para promover la biotecnología.

Tecnólogo	Profesional	Posgrado
Mejoramiento genético		
Biotecnología		
Biología Molecular		
Captura de material plus (Seleccionado)	Genética y biotecnología aplicada	Economía y administración de empresas
Cultivo de tejidos		Ingeniería genética
Clasificación de plantas en vivo	Bioinformática	
Técnicas de laboratorio	Bioestadística	
	Fisiología vegetal	

Fuente: Resultados de la investigación.

Sobre las entidades públicas, se obtuvieron en su respectivo orden: definición de políticas de

investigación a largo plazo, aumento de fondos a programas de posgrado, establecimiento de una estrategia nacional para el desarrollo de la biotecnología forestal, establecimiento de convenios de cooperación internacional para capacitación e investigación, fomento de alianzas estratégicas internacionales para el fomento de la biotecnología, beneficios tributarios para empresas que inviertan en biotecnología; exigencia de uso de material mejorado genéticamente en todos los planes financiados por el gobierno.

Para la contraparte privada, los principales resultados fueron: articulación entre las empresas para participar en proyectos para convocatorias del Ministerio de Agricultura, Colciencias y otras oportunidades de origen internacional; definición de políticas y desarrollo y prioridades del sector a largo plazo; destinación de fondos que promuevan el desarrollo de investigaciones; asociación del sector privado con las instituciones que hacen investigación; coordinación del sector privado con su contraparte pública y las universidades.

Sobre las actividades a desarrollar en conjunto, se resaltan: definición de políticas de desarrollo y prioridades del sector a largo plazo; formación de recursos humanos en biotecnología forestal; creación de un fondo público-privado para el desarrollo de la biotecnología; creación de mecanismos de incentivo para el desarrollo de la biotecnología; fortalecimiento de la cooperativa de mejoramiento genético; realización de actividades de investigación y desarrollo.

Frente a lo expuesto, se evidencia la necesidad de definir las políticas de desarrollo y prioridades de investigación a corto, mediano y largo plazo, también se resalta la necesidad de formación de talento humano en la biotecnología aplicada al

sector, la mayoría de académicos relacionados con el área ha tenido contacto con la biotecnología agronómica, pero no específica para el manejo de especies forestales.

### *Medidas regulatorias*

Vistas las inquietudes generadas por el tema, se consultó acerca de las medidas regulatorias necesarias para minimizar eventuales impactos negativos, promover su empleo y aprovechamiento adecuado. Entre las prioridades de relevancia, se destacan: creación de incentivos tributarios para el desarrollo de la biotecnología forestal; acreditar laboratorios dedicados a este tema; establecer un marco regulatorio para la producción, adquisición y uso de organismos genéticamente modificados, OGM, en el área forestal; definición de normas para la utilización de la biotecnología forestal con base en un marco ético consensuado; establecimiento de normas que protejan la biodiversidad; establecimiento de normas que apoyen la sustentabilidad forestal; establecimiento de una evaluación permanente del impacto ambiental de las acciones biotecnológicas.

### *Formación para la biotecnología forestal*

Respecto a este tema, es fundamental definir los campos de formación a impulsar para fortalecer las nuevas generaciones de expertos en el campo forestal. De acuerdo con las instancias de profesionalización en educación superior, se consultó a los expertos sobre las áreas de conocimiento necesarias para cada una de ellas: tecnológica, profesional y posgradual. Los resultados se muestran en la tabla 1.

La importancia de incluir y fortalecer este tipo de áreas en los programas curriculares relacionados con el área forestal resulta imperativa si

se desea aprovechar el potencial de talento humano en función de la competitividad nacional durante los próximos años.

## Escenarios prospectivos

Como base de referencia al análisis prospectivo, se construyeron tres escenarios al año 2028 en torno al objeto de estudio. Los escenarios planteados corresponden a uno tendencial y dos de ruptura. Nombrados de acuerdo con las características de diversos autos compitiendo en la Fórmula 1<sup>9</sup> como una carrera de carácter global.

Aunque los títulos sugieren implícitamente de la deseabilidad de cada escenario, resultaría imprudente sugerir una propuesta objetivamente ideal, ya que se trata de una temática aún en desarrollo con muchas variables adicionales a las mencionadas, que tienen incidencia directa e indirecta en el sector. La construcción de los escenarios procura abrir escenarios para la toma constructiva de decisiones en beneficio del sector y el país en el marco de un debate que aún se encuentra en desarrollo.

Para contextualizar, se visualizará el año 2029 y se leerá el informe anual de la FAO sobre el estado de los bosques en el mundo desde un escenario tendencial hipotético, que podría darse de continuar con las directrices y prácticas identificadas actualmente.

### *Informe de la FAO*

Roma, junio 25 de 2029, situación de los bosques en el mundo 2028. La deforestación y la degradación de los bosques continúan en la mayoría de los países en desarrollo. En los países

<sup>9</sup> La F1 es la competencia automovilística más importante del mundo, mayor información en [www.formula1.com](http://www.formula1.com).

tropicales, las tierras agrícolas y ganaderas empleadas tanto para la subsistencia como para producciones comerciales han continuado aumentando, por lo que se han seguido perdiendo bosques. En contraste, la deforestación se ha detenido en aquellos países desarrollados donde las tierras agrícolas y ganaderas han disminuido, se presenta una expansión continuada y sostenida de los bosques en partes de Asia y el Pacífico, Europa y América del Norte. Las repercusiones del cambio en la dependencia de los combustibles fósiles a los biocombustibles han dado lugar al incremento de la superficie boscosa en algunos países, mientras que en otros se ha continuado la deforestación.

Los efectos del cambio climático han provocado aumento en la incidencia y fuerza de los incendios forestales, así como la ocurrencia de mayores ataques de plagas y enfermedades. La preocupación mundial por los efectos del cambio climático ha volcado la atención mundial al papel de los bosques en la fijación, retención de carbono y en la sustitución del uso de los combustibles fósiles. Los bosques son valorados más cada día por sus servicios ambientales. La protección de la biodiversidad, la detención de la desertificación y la degradación de las tierras han asumido mayor importancia.

El aprovechamiento ecoturístico de los bosques recibe mayor atención, lo que ha generado cambios fundamentales en el enfoque de la ordenación forestal. Los avances en biotecnología y tecnología de materiales han contribuido a mejorar significativamente la productividad de las plantaciones forestales y la industria, que ha reducido sustancialmente las necesidades de materia prima.

En varios países en desarrollo, la madera sigue siendo la fuente de energía más importante. El

aumento del precio del petróleo y la preocupación por el cambio climático han hecho que aumente la utilización de la madera como combustible. El desarrollo de nuevas tecnologías de conversión combustible ha aumentado la eficiencia energética, favoreciendo especialmente este cambio.

El mercado de la captura de CO<sub>2</sub> ha contribuido a la dinámica del incremento en las áreas de bosques tanto nativos como de plantaciones comerciales.

El mercado de biocombustibles a partir de celulosa, gracias a los avances en costos de producción, se ha constituido en eje estratégico de desarrollo para los mercados antes dependientes de la importación de petróleo.

### *Escenario tendencial—un auto familiar en la Fórmula 1*

Colombia cuenta con 600.000 hectáreas plantadas, de los 20.000.000 con potencial. El área total de cobertura boscosa se ha visto reducida al 35% del territorio nacional. La presión sobre el bosque natural sigue siendo intensa, principalmente por el aumento de áreas ganaderas, cultivos ilícitos y aumento de incendios forestales, especies nativas valiosas como el comino crespo yacen extintas.

El país aún no logra aprovechar efectivamente su vocación forestal natural, los indicadores de competitividad para el sector forestal se encuentran bajo los de países líderes en el mundo, reflejando con rendimientos promedio inferiores a Brasil y Chile.

La biotecnología en el campo forestal no es importante para Colombia, las prioridades se han concentrado en procesos de industrialización, transformación y mercadeo de productos que

se han exportado desde el siglo pasado. El mejoramiento genético es utilizado únicamente en especies introducidas tales como Pino, Eucalipto y Teca. Las presiones tipo radical ambientalista han afectado el desarrollo de transgénesis en especies forestales. Los planes y políticas de desarrollo sectorial han sido escritos y almacenados en los archivos muertos, sin haberse implementado en el contexto nacional.

Las empresas del sector ejercen esfuerzos aislados con altísimos costos de producción debidos a baja innovación, desestímulo a la inversión y ausencia de alianzas estratégicas.

La educación superior cuenta con algunos programas de pregrado aislados sin mayor impacto en el sector productivo, los planes curriculares aún siguen desajustados a las necesidades de la industria forestal. En posgrado, no hay programas específicos relacionados con el mejoramiento genético y la biotecnología aplicada al sector forestal, los interesados en el tema deben acudir a programas de agronomía o explorar espacios académicos en países con oferta al respecto.

### *Escenario positivo—un auto deportivo en la Fórmula 1*

Colombia cuenta con indicadores favorables en el sector forestal frente a la comunidad andina, Centroamérica y el Caribe, se generan empleos y divisas para el país. El sector forestal aporta 4% del PIB. La exportación de muebles y productos relacionados con alto valor agregado es atractivo para diferentes países.

El mejoramiento genético ha incidido en el aumento de la productividad de las especies introducidas y nativas de interés comercial, se han alcanzado rendimientos promedio de 60 metros cúbicos/hectárea/año, existen 1.500.000

hectáreas plantadas con especies forestales de manejo intensivo. La transgénesis en especies forestales como la caoba y el cedro avanza en los laboratorios y hay ensayos preliminares en campo.

El Consejo Nacional Forestal, creado en la primera década de este siglo reúne los intereses del estado y los particulares frente a las políticas relacionadas, lo que ha permitido establecer planes de investigación a largo plazo y gestionar recursos para su ejecución, el mejoramiento genético se realiza en gran medida mediante cooperativas con este fin, conformadas por alianzas entre empresarios, productores, universidades y centros de desarrollo tecnológico.

La biotecnología forma parte integral del sector en todos sus eslabones, en el país se comercian clones probados regionalmente y certificados de las principales especies comerciales, se utilizan microorganismos especializados que ayudan a la absorción de nutrientes y al manejo integrado de plagas y enfermedades.

Los programas de pregrado y posgrado se sintonizan, mediante el apoyo de diferentes organismos, con la realidad competitiva del sector en dinámico crecimiento, apalancado por fuerte transferencia tecnológica y desarrollo de innovaciones. Se cuenta con una masa crítica de profesionales bien formados y con experiencia en el desarrollo de las nuevas tecnologías.

### *Escenario competitivo—un novato sobresaliente en la Fórmula 1*

Colombia es un país competitivo en el mercado forestal mundial, se exporta buena cantidad de productos a Europa, Estados Unidos, Centroamérica, el Caribe y la Región Andina. Éstos son diferenciados y de alta calidad, logrando

buenos precios en el mercado, las maderas valiosas son muy apetecidas, aportan 7% al PIB y generan más de un millón de empleos directos en diferentes regiones. Las plantaciones forestales comerciales han reducido la explotación del bosque natural y han permitido recuperar una buena cantidad de bosques nativos, se ha reducido la destrucción y quema del bosque para establecer cultivos ilícitos y nuevas áreas ganaderas.

Hay 2.500.000 hectáreas con plantaciones forestales comerciales intensivas, con rendimientos promedio de 75 metros cúbicos/hectárea/año, contribuyendo notablemente a la captura de CO<sub>2</sub> y a mitigar el cambio climático, la mayoría de las plantaciones se encuentran manejadas técnicamente, certificadas y utilizan material clonal de alta calidad genética, la silvicultura clonal de precisión ha sido desarrollada para todas las especies comerciales.

Existen fuertes alianzas entre la industria, universidades y centros de desarrollo tecnológico para implementar técnicas biotecnológicas en los diferentes procesos de la cadena, el nivel de educación y capacidad técnica es alto, la masa crítica de científicos y empresarios en el campo forestal cuenta con talla mundial.

## **Conclusiones**

- El trabajo permitió identificar consenso sobre la relevancia de la biotecnología para el sector forestal en el mundo y entender que en el caso colombiano, aunque hay algunos avances, aún falta bastante para lograr un nivel aceptable de competitividad en el mercado global.
- Aunque existen preocupaciones ambientales sobre la pertinencia del desarrollo



biotecnológico en el área forestal colombiana, el país está a tiempo de desarrollarla mediante los productos de la biotecnología para evitar la pérdida de las ventajas comparativas que han sostenido a Colombia en una posición de favorabilidad frente a sus competidores.

- Entre los argumentos sobre la importancia de la biotecnología en el sector forestal, se destaca la necesidad de preservar ventajas frente a competidores directos como Chile y Brasil, quienes están haciendo desarrollos tecnológicos significativos en esta temática. Se trata de “una simple manera de mantener competitividad frente a las tendencias que marcan los países industrializados”.
- Es imperativo orientar esfuerzos en la consolidación de un sistema interconectado y articulado de actores socioeconómicos que gestionen el conocimiento biotecnológico como generador de alto valor agregado para el sector, traducido en más y mejores intercambios con el resto del mundo.
- En los argumentos a favor del desarrollo de los transgénicos en especies forestales, se reconoce que los cultivos transgénicos desempeñan un papel importante en la producción global y en ocasiones constituye la única manera de resolver constricciones de carácter tecnológico. Se destaca que los productos forestales en su mayoría no son comestibles, por lo que no habría efectos negativos potenciales directos sobre la salud humana, respecto a los prejuicios culturales cabe anotar que se estima su desvanecimiento con el paso de los años. Es clave el impulso de la transgénesis con un sólido respaldo institucional, traducido

en “políticas y regulaciones claras y con resultados a mediano y largo plazo”.

- Para quienes consideran que no deben impulsarse esta clase de tecnologías en el país, se menciona que en Colombia la investigación básica aún se encuentra en desarrollo para que pueda constituir una base sólida a desarrollos de mayor complejidad. Por otra parte, en perspectiva frente a las necesidades, condiciones y prioridades actuales del país, aún no se considera justificable en términos de la relación costo–beneficio. Adicional a lo expuesto, se argumentó que “el campo forestal es muy amplio y complejo, por lo que resulta impredecible el impacto ambiental que se pueda generar con la utilización de estas técnicas”.
- Contrastando los resultados y argumentaciones, es posible determinar que la transgénesis tendría impacto a largo plazo sobre la competitividad de la industria forestal en el país. Sin embargo, resulta imprescindible el establecimiento de normas y protocolos de bioseguridad que garanticen un mínima afectación de los ecosistemas naturales y de las especies nativas, patrimonio clave en la identificación y generación de nuevas oportunidades en el sector.
- El sector educativo, como formador de competencias en los profesionales del sector, debe incorporar éstas nuevas áreas de conocimiento relacionadas con la biotecnología mediante actividades de intercambio académico<sup>10</sup> y articulación universidad–empresa–Estado, traducido en: creación de nuevas estructuras curriculares en todos los niveles, pasantías nacionales e

<sup>10</sup> No sólo se limitan al espacio del aula de clase, sino que contemplan la conformación de comunidades de aprendizaje.

internacionales, intercambios y desarrollo de proyectos productivos con alto componente de innovación, investigación y transferencia de conocimiento.

- Partiendo del impulso institucional al emprendimiento y la tendencia mundial de comercio de productos y servicios basados en la biotecnología en términos de patentes y generación de empleo, Colombia debe entrar como protagonista en este momento, completamente oportuno en un negocio de expectativas prósperas que aún atraviesa las primeras fases de su crecimiento.
- El análisis realizado en este proyecto coincide en gran medida con los planteamientos expuestos por el ejecutivo en su análisis específico de puntos destacados (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007).
- La selección o recomendación de escenarios futuros para la biotecnología en el sector forestal (en el marco del análisis realizado) resulta (a juicio de los autores) precipitado, ya que por la complejidad y la cantidad de variables que afectan el sector, aún no se cuenta con suficientes elementos de referencia, que resultarían de una discusión más amplia por parte de los actores relacionados con el tema, al punto de determinar con mayor claridad la probabilidad de ocurrencia de los mencionados escenarios.

## Recomendaciones

Este documento debe ser conocido, discutido y aprovechado como referencia para los actores

del sector privado, educativo e institucional en relación a los siguientes aspectos:

- Como insumo para el desarrollo de una planeación estratégica del sector forestal en Colombia desde la perspectiva de los diferentes actores. Por lo anterior, se considera que este documento debe ser ampliamente divulgado y discutido en cada una de los eslabones de la cadena forestal para que sirva como referencia para otros estudios, toma de decisiones empresariales, académicas e institucionales.
- Generación de planes de negocio que canalicen los recursos económicos hacia el desarrollo de emprendimientos de alto valor agregado en este sector clave en el desarrollo nacional.
- La estructuración de la agenda prospectiva de investigación de la cadena forestal, identificada en el documento del gobierno (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007), ya que la temática abordada en este documento coincide con algunos puntos acerca de demandas tecnológicas necesarias para el sector forestal.
- La estructuración de programas académicos nuevos o existentes en función al desarrollo de competencias necesarias para la aplicación de la biotecnología en cada una de las fases de la cadena forestal, incluyendo principalmente áreas como mejoramiento genético, biotecnología, biología molecular, bioinformática entre otras ya mencionadas.

## Bibliografía

- Colciencias. (2007). *Cadena productiva forestal: Tableros aglomerados y contrachapados–muebles y productos de madera*. Bogotá: Ministerio de Agricultura.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. *Reporte sobre avances técnicos 2002*. (2003). Bogotá: Cooperativa Colombiana de Mejoramiento Genético Forestal.
- Cristancho, E. (2004). *“Herramientas para la competitividad a partir del uso de la biotecnología”*. Economía y Desarrollo.
- FAO. (2001). *Glosario de la biotecnología para el alimento y la agricultura*. Roma,
- FAO. (2004). *Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification*. Roma.
- Gabriel, T. (2006). *“Políticas sustentables de desarrollo para el fomento y la competitividad tecnológica de países emergentes de América”*. Journal of Technology Management & Innovation.
- Galetti, M. A. (2003, agosto). *Mejoramiento y genética forestal*. Recuperado en julio de 2008, de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forest\\_genetica.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forest_genetica.htm)
- Godet, M. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. París: Gerpa.
- Gomes de Castro, A. M., y Valle Lima, S. M. (2003). *Análisis prospectivo de cadenas productivas agropecuarias*. Brasil: Embrapa.
- Ladrach, W. E. (2005). *Conferencias sobre reforestación*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2007). *Transición de la agricultura para la cadena forestal*. Bogotá.
- Ministerio de Economía de Chile. (2005). *Prospectiva 2010 Chile: Biotecnología aplicada a la industria forestal*. Santiago.
- Mojica, F. J. (2006). *“Origen y pertinencia de la prospectiva”*. Revista Colciencias Colombia, Ciencia y Tecnología. pp. 11-15.
- Planeación, D. N. (2005). *Visión Colombia 2019*. Bogotá.
- Presidencia de la República. (2002). *Plan de Desarrollo 2002-2006*. Bogotá.
- Van Beuzekom, B., y Arundel, A. (2006). *OECD Biotechnology Statistics*. Organisation for economic co-operation and development.

