



## BIOTECNOLOGÍA FORESTAL

### El mejoramiento forestal

¿Cuánto tiempo demanda el mejoramiento de árboles forestales? Si se toma en cuenta el ritmo vertiginoso de los avances científicos y tecnológicos en los últimos años, el tiempo que debe esperar un investigador desde la germinación de una semilla hasta que el ejemplar alcance su plenitud de adulto es, sin dudas, mucho tiempo. Los años que impone la genética forestal dependen de la especie que se desee mejorar pero requiere mucho más tiempo que otras plantas en las que, según la especie y el método de cultivo, se puede tener una o más generaciones por ciclo anual. A pesar de sus dificultades, el mejoramiento genético de árboles forestales es un desarrollo que avanza y rinde sus frutos.

Entre las características de interés que se busca mejorar en un árbol comercial se encuentran el crecimiento, la forma del tronco y la calidad de la madera. En definitiva, se busca un aumento de la productividad y de la calidad del producto. Además, estos desarrollos constituyen una alternativa que permitiría disminuir la presión de extracción de productos derivados de los bosques nativos.

Originalmente, el mejoramiento de los árboles se realizaba teniendo en cuenta sólo sus características agronómicas. En la actualidad, gracias al avance de las técnicas de biología molecular, se incluye en la evaluación, el estudio de ADN de los árboles de interés. El proceso de mejoramiento genético consiste en desarrollar poblaciones de árboles con una o varias características modificadas y su propagación por medio de la clonación o reproducción asexual (Ver Cuaderno N° 56), o por medio de sus semillas.

Siendo que la mayoría de las características de interés económico por mejorar están determinadas por el genotipo (constitución genética del individuo), la clave del éxito se basa en el correcto manejo de los recursos genéticos disponibles. Con los árboles seleccionados por sus buenas características, se pueden construir “huertos semilleros”: plantaciones en donde se producen y extraen semillas de alta calidad genética que se producen por el cruzamiento de los árboles mejorados.

### La biotecnología en el sector forestal

Las biotecnologías modernas que se utilizan actualmente en el sector forestal pueden clasificarse en tres grandes categorías:

#### 1. Tecnologías de multiplicación vegetativa

Estas técnicas tienen como objetivo la producción de materiales uniformes a gran escala (Ver Cuaderno N° 35 y N° 56). El cultivo de tejidos vegetales en condiciones de laboratorio también puede utilizarse para seleccionar características como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a herbicidas, a metales, a la sal y a las bajas temperaturas. La micropropagación (propagación clonal por cultivo *in vitro*) ya se utiliza en las especies agrícolas y hortícolas, y existen técnicas para aplicarla a un cierto

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

número de especies forestales. Esta técnica proporciona numerosas ventajas, entre ellas:

- ü Evita el riesgo de que proliferen agentes patógenos porque la micropropagación se realiza en medios esterilizados.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN N° 76 – 2005

- ü Permite estudiar diversos procesos fisiológicos.
- ü Se pueden obtener gran cantidad de individuos en espacios reducidos.
- ü Permite la obtención de individuos uniformes.
- ü Facilita el transporte del material.

Si la propagación de árboles con miras al mejoramiento genético se hace a partir de semillas, no es posible saber cómo será ese árbol hasta su estado adulto, ya que los árboles tienen ciclos de vida largos. Es por eso que los investigadores comenzaron a usar nuevas técnicas para propagar árboles que han mostrado tener buenas características: se eligen los ejemplares que mejor representan la característica deseada y a partir del cultivo de sus células, se obtiene individuos genéticamente idénticos al original (clones). Los clones se obtienen mediante técnicas de organogénesis (se induce la formación de órganos o tallos) y de embriogénesis somática o asexual (en el cultivo se reproducen todas las fases de desarrollo de un embrión, hasta generar la nueva planta).

Con estas técnicas se pueden obtener árboles con un sello genético característico, genéticamente diferenciados, también llamados “elite”.

Las actividades de micropropagación se están desarrollando en al menos 64 países en todo el mundo, aunque los mayores desarrollos se concentran en Asia, Europa y Norteamérica. Estas actividades incluyen a más de 80 géneros de especies forestales, entre las que se encuentran: *Pinus*, *Picea*, *Eucalyptus*, *Acacia*, *Quercus*, *Tectona*, *Populus* y *Larix*.

## 2. Biotecnologías basadas en marcadores moleculares

Los marcadores moleculares (ver Cuaderno N° 69) son fragmentos de ADN que pueden corresponder o no a una secuencia que se expresa (gen), y pueden usarse en la biotecnología forestal con los siguientes fines:

- i) *Identificación genética de árboles*: los marcadores moleculares son capaces de detectar diferencias entre individuos a nivel del ADN, proporcionando el perfil genético preciso de cada organismo estudiado ("DNA fingerprint" o huella dactilar del ADN). En una población de mejoramiento, esta huella dactilar permite diferenciar a los árboles y determinar si hay errores dentro de los cultivos de campo que serían difíciles de reconocer visualmente. Estos errores son frecuentes y pueden tener serias consecuencias económicas.
- ii) *Medir la diversidad genética dentro de las poblaciones*: la aplicación de marcadores moleculares sobre individuos de una misma población permite analizar cuán distintos son a nivel de ADN, aún cuando no se detecten diferencias fenotípicas, estimando así la riqueza y variabilidad genética de las especies.
- iii) *Localizar genes que determinan características cuantitativas*: por ejemplo es posible localizar genes que determinan cualidades económicamente importantes, como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad, la forma del tronco y la calidad de la madera (densidad y cantidad de lignina), entre otras. Una vez que se conocen esos genes, se pueden seleccionar aquellos árboles que posean los alelos deseados sin

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

necesidad de esperar años hasta que el árbol sea adulto. Este procedimiento se denomina Selección Asistida por Marcadores (MAS) y permite elegir en las primeras etapas del

crecimiento, a aquellos árboles que tendrán buenas características de adultos, permitiendo al productor ahorrar tiempo y trabajo.

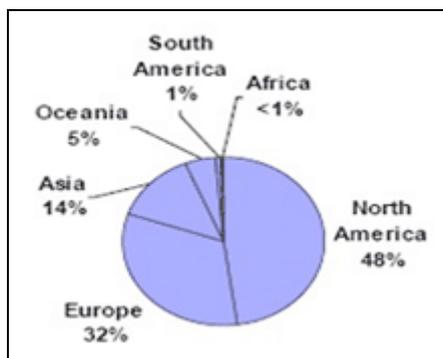
Los marcadores moleculares pueden además, proporcionar información sobre los patrones migratorios (hacia dónde y cuánto se dispersa el polen o las semillas), los sistemas de reproducción (si hay autofecundación y reproducción cruzada), paternidad y grado de parentesco entre árboles, por lo que constituyen instrumentos útiles para la formulación y seguimiento de programas de conservación de árboles forestales.

### 3. Modificación genética de especies forestales (árboles transgénicos)

Así como se le insertan nuevos genes a plantas de soja o maíz para conferirles nuevas características (por ejemplo, tolerancia a herbicidas), a las especies forestales se le pueden incorporar genes que mejoren su crecimiento y la calidad de su madera. Las nuevas características otorgadas a los árboles transgénicos les permiten resistir a los virus e insectos, tolerar a herbicidas y contener menos lignina (el menor contenido de este polímero en la madera permite su mejor remoción en el proceso de fabricación de papel).

Un reporte de la FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations- realizado en Diciembre de 2004 indica que las investigaciones con árboles transgénicos se están desarrollando en por lo menos 35 países, 16 de los cuales poseen experimentos a campo, mientras que en los restantes, la experimentación se restringe a los laboratorios o a los invernaderos. Hasta la fecha, solamente China ha divulgado el establecimiento de plantaciones aprobadas para su comercialización de álamos genéticamente modificados que ocupan algo menos de 500 has.

Figura 1:



**Epígrafe:** Investigación en modificación genética de árboles forestales, por continente

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

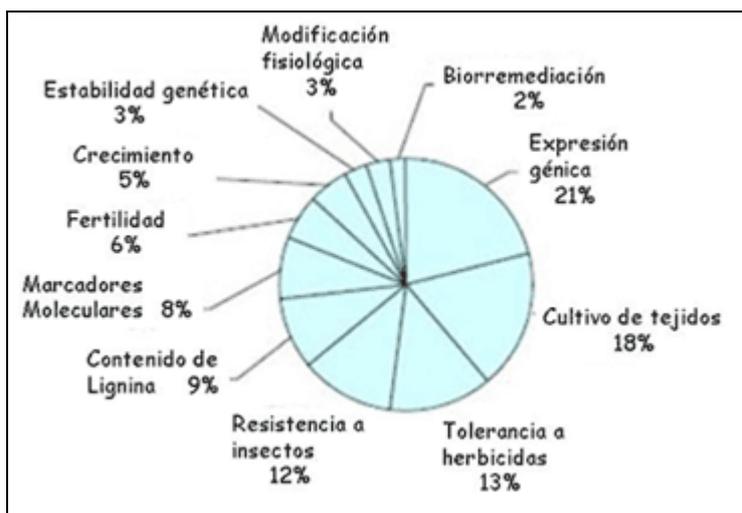


Fuente: FAO, 2004. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae574e/ae574e00.pdf>

Las investigaciones se realizan en 35 países y en 29 géneros de árboles. América del Norte es la región que lidera con el 48% de las modificaciones genéticas en especies de árboles forestales, seguida por Europa (32%), Asia (14 %), Oceanía (5 %) y África y América del Sur (menos del 1%).

El primer árbol transgénico desarrollado en 1986 fue del género *Populus* (álamo) y es en gran medida el más utilizado en este tipo de investigaciones (47% de los árboles transgénicos desarrollados pertenecen a este género) debido a la facilidad con que se pueden transformar genéticamente y propagar vegetativamente. Los otros géneros mayormente estudiados son los *Pinus* (19%), *Eucalyptus* (7%), *Liquidambar* (5 %) y *Picea* (5%).

Figura 2:



**Epígrafe:** Principales objetivos de la investigación en modificación genética de árboles forestales. Fuente: FAO, 2004. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae574e/ae574e00.pdf>

Aproximadamente la mitad de las actividades de modificación genética en árboles se relacionan con métodos de estabilidad genética y expresión genética, genómica funcional y cultivo de tejidos. Del resto de las actividades, las más dominantes son la tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, contenido de lignina, y fertilidad.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

Hasta la actualidad, las nuevas características incorporadas a los árboles mediante modificación genética son las siguientes:

- Tolerancia a herbicida: se desarrollaron árboles de distintos géneros tolerantes al herbicida glifosato.
- Resistencia a insectos: Se obtuvieron árboles “Bt” que contienen un gen que codifica para una endotoxina, proveniente de *Bacillus thuringiensis* lo cual les permite resistir al ataque de insectos lepidópteros, coleópteros y dípteros (ver Cuaderno N°43).
- Modificación de la cantidad y calidad de lignina: La lignina es un polímero complejo que forma parte de la pared celular vegetal, y junto con la celulosa forman la madera. Los cambios en la composición química de la lignina pueden hacerla más fácilmente extraíble. Esta característica resulta ventajosa, debido a la disminución del empleo de agentes químicos, en su mayoría contaminantes del medio ambiente, utilizados por la industria papelera para la remoción de la lignina. La supresión de alguno de los genes que codifican para las enzimas de la ruta metabólica de la lignina en plantas transgénicas de *Populus* (álamo), mostraron reducción de la cantidad de lignina, aumento del porcentaje de celulosa en las paredes celulares y rápido crecimiento en condiciones de invernáculo, todas características apreciadas a la hora de obtener pulpa para la fabricación de papel.
- Modificación de la floración: Se desarrollaron árboles transgénicos estériles para prevenir la posible dispersión del polen. Este estudio se realizó en individuos del género *Poplar* (álamo), en donde se suprimió la actividad de genes involucrados en la floración.
- Otras características: se desarrollaron en menor medida árboles con resistencia a enfermedades, otros que se utilizan para biorremediación (ver Cuaderno N° 46) ya que reducen contaminantes altamente tóxicos; árboles con mayor eficiencia en la asimilación de nitrógeno; y árboles modificados para la síntesis de las hormonas giberelinas.

### El futuro de los árboles GM

El proceso de mejoramiento es dinámico, ya que responde a cambios permanentes que aparecen en las plantaciones, como la aparición de nuevas plagas, enfermedades, cambios climáticos y demandas por desarrollo de nuevos productos del sector forestal. Entre los beneficios obtenidos se pueden mencionar: la reducción de los costos al reducir el tiempo de corte de los árboles (debido al mayor crecimiento de los mismos); el mayor aprovechamiento industrial (debido a la mejor forma de los árboles) y el incremento de la productividad (debido a la mejor calidad de la madera obtenida).

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

Pero, la biotecnología moderna avanza más allá. Los próximos pasos a dar en materia de árboles transgénicos, incluyen el mejoramiento o agregado de varias características:

- ü Resistencia a virus
- ü Resistencia a insectos u hongos
- ü Tolerancia a heladas o al frío
- ü Tolerancia a sequías
- ü Tolerancia a temperaturas extremas
- ü Tolerancia a la salinidad
- ü Mejoramiento de la calidad de fibra
- ü Mayor capacidad de captura de CO<sub>2</sub>
- ü Menor contenido de lignina
- ü Mayor producción de celulosa
- ü Rápido crecimiento
- ü Producción de compuestos de interés farmacológico
- ü Detoxificación de sitios contaminados (fitorremediación)

### **Un desafío en beneficio del ambiente**

El éxito de los programas de mejoramiento forestal durante los últimos 50 años indica que hay posibilidades de intensificar la productividad y los rendimientos de forma sostenible utilizando el mejoramiento convencional de los árboles forestales. En este objetivo, también el uso de árboles genéticamente modificados podría resultar ventajoso en un futuro. Por ahora, la obtención de árboles GM para mejorar características de interés, como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad, y la calidad del tronco y de la madera, no es una tarea sencilla. Esto sucede debido a que estas características dependen de una gama de genes y aún son escasos los conocimientos disponibles sobre el control molecular de estas características.

Sin embargo, la única manera de conservar los bosques nativos es acelerando el crecimiento de las especies cultivadas, para tener montes más productivos. Y eso se logrará incorporando a los programas de mejoramiento genético, las nuevas herramientas biotecnológicas. El desafío está en marcha.

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN N° 76 – 2005

## ACTIVIDADES

### Objetivos:

1. Revisar los conceptos explicados en el texto.
2. Interpretar la información del texto a partir del análisis y el diseño de diferentes representaciones gráficas.
3. Comprender las posibilidades y beneficios que ofrecería la biotecnología de árboles forestales.
4. Conocer y analizar novedades acerca de desarrollos nacionales e internacionales en el campo de la biotecnología.

**Destinatarios y conceptos relacionados:** Las actividades que se sugieren se adaptan preferentemente al nivel Polimodal, particularmente a los contenidos vinculados con el hombre y el medio ambiente, el desarrollo sustentable, los recursos naturales: uso y conservación, y la ingeniería genética: aplicaciones y beneficios, la reproducción sexual y asexual, y la clonación. También podrían aplicarse a EGB 3 en referencia a las plantas, sus características y funciones, formas de reproducción, los ecosistemas y el impacto de la actividad humana sobre el ambiente.

### Consideraciones metodológicas

Como se ha dicho en otras oportunidades los temas vinculados con la biotecnología ofrecen la posibilidad de integrar conceptos de las ciencias naturales, e incluso de diferentes áreas de estudio. En el caso particular de la biotecnología forestal, es interesante incorporar, en conjunto con docentes de Ciencias Sociales, temas referidos a la conservación de recursos y el desarrollo sustentable, y al impacto ambiental de las actividades humanas. Se sugieren algunas ideas a partir de las cuales trabajar estos conceptos:

- Es importante y se sugiere a partir de este Cuaderno, trabajar con los alumnos conceptos tales como “impacto ambiental”, “desarrollo sustentable, y “conservación de recursos”.

Aunque, habitualmente se asocia el término *impacto ambiental* con los efectos indeseables que ocasionan las actividades humanas sobre el medio ambiente, el impacto ambiental también se refiere a las consecuencias favorables que puede acarrear una acción humana, como la reforestación de un bosque.

- La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo define el Desarrollo Sustentable como “aquel que satisface las necesidades actuales de la humanidad sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. En este sentido, el aprovechamiento de los bosques debe contemplar la protección de los árboles en crecimiento contra incendios, insectos y enfermedades; la tala en ciclos adecuados y la reforestación para lograr una producción sostenida en el tiempo.

- En 1992 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo realizada en Río de Janeiro, se firmó el Convenio sobre Diversidad Biológica,

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



EDICIÓN N° 76 – 2005

# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

el primer acuerdo global para abordar todos los aspectos de la diversidad biológica: recursos genéticos, especies y ecosistemas. Entre los proyectos propuestos se encuentra la conservación ex situ de especies animales, vegetales y los bancos de germoplasma que almacenan en forma de semillas la diversidad de recursos genéticos de las plantas

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN N° 76 – 2005

(*recursos fitogenéticos*) ya sea de especies cultivadas o silvestres. Estos recursos son la materia prima para conservar y desarrollar nuevas variedades de cultivos.

Como se destacó en el texto del Cuaderno, la biotecnología podría hacer un aporte interesante a esta tarea de conservación de recursos y de biodiversidad, y de reforestación en tiempos más cortos a los que ofrece el ciclo vital de estos organismos. Otro aspecto a destacar en estas actividades se refiere a lo procedimental, más específicamente al análisis de las representaciones gráficas o textos, que se pueden aplicar a EGB y/o Polimodal, con diferente intervención y acompañamiento del docente según el nivel escolar de los alumnos.

Las representaciones gráficas (mapas, gráficos, etc.) pueden resultar una herramienta útil para la comprensión de ideas y conceptos ya que permiten comprimir información, fijar ideas y establecer relaciones entre ellas. Es recomendable dedicarle un tiempo al análisis de esquemas para favorecer su interpretación y, en consecuencia, la comprensión de los conceptos que se pretende transmitir a través de su utilización. Se sugiere trabajar en forma integrada con las áreas de matemática y Ciencias Sociales o Geografía el diseño y análisis de gráficos y mapas que se presentan en las actividades. Se sugiere analizar qué tipo de gráfico es conveniente utilizar en cada caso según la información que se quiere representar. Por ejemplo, responder y justificar si sería posible representar mediante una curva la proporción en que los diferentes países contribuyen al desarrollo de árboles GM; o si se puede representar la variación de un cultivo en el tiempo mediante un gráfico de torta.

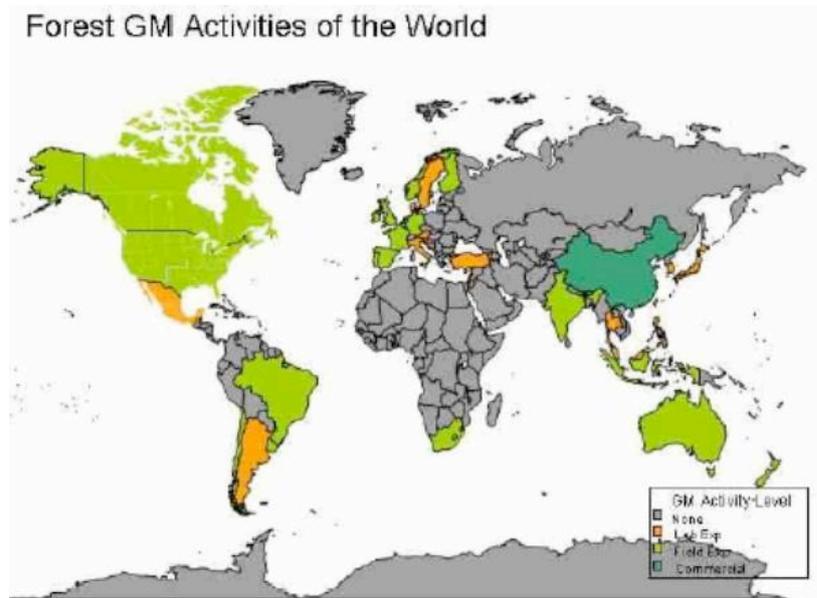
En cuanto a las actividades de análisis de Novedades, no pretende ser una mera lectura y repetición de conceptos, sino que se propone relacionar con los conceptos trabajados en este Cuaderno y en Cuadernos anteriores, integrar contenidos, repasar, investigar o profundizar en conceptos que aparecen en el texto, entre ellos: *germoplasma*, *micropropagación*, *clonación*, *polinización*, *fotoperíodo*. Se puede trabajar en clase las ideas previas que tienen los alumnos respecto de estos conceptos o pedir que averigüen y realizar una puesta en común.

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



### Actividad 1: Árboles transgénicos en el mundo. Análisis de la información

Observar y analizar la información suministrada en la siguiente figura:



Fuente: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae574e/ae574e00.pdf>

En el mapa se muestra la actividad de modificación genética forestal a nivel mundial. Con distintos colores se indica el grado de avance de las investigaciones desarrolladas hasta el momento (gris: sin árboles GM; anaranjado: experimentación en laboratorios; verde claro: ensayo a campo y verde oscuro: plantaciones comerciales)

Luego de analizar el mapa, responder a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles son las etapas de ensayo de un nuevo cultivo que se representan en el mapa? Ordenarlas de menor a mayor según el grado de avance en la investigación.  
Rta. Sin árboles, experimentación en laboratorio, ensayo a campo, plantaciones comerciales.
- 2) ¿Qué país posee plantaciones de árboles GM a nivel comercial? ¿Cuántas hectáreas se encuentran plantadas hasta la actualidad? Rta: China, con una superficie sembrada de menos de 500 has.
- 3) Mencionar al menos cinco países con ensayos a campo de árboles GM. Rta: algunos de ellos son: Brasil, Chile, Uruguay, Estados Unidos, Canadá, Australia, India, Portugal, España, Inglaterra, Irlanda, Francia, Alemania, Nueva Zelanda, Noruega, Finlandia.
- 4) Mencionar al menos cinco países con desarrollo de árboles GM en etapa en laboratorio. Rta: algunos de ellos son: Argentina, México, Italia, Austria, Corea, Japón, Suecia, Turquía.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

5) ¿Cuál es el género más utilizado en ingeniería genética? ¿A que se debe? ¿En qué otras especies se está experimentando? Rta: el género más utilizado en este tipo de investigaciones es el *Populus* (álamos), debido a que la transformación genética es más sencilla que en los otros y es más fácil de regenerar. Además hay estudios de árboles transgénicos de otros géneros: *Pinus*, *Eucalyptus*, *Liquidambar* y *Picea*..

6) ¿Qué relación se puede establecer entre la información que aporta este mapa y la que está representada en la figura 1 del texto (gráfico de torta). Rta: a diferencia del mapa que aporta información cualitativa acerca de qué países investigan y en qué etapa de la investigación se encuentran, el gráfico de torta aporta información cuantitativa acerca del porcentaje que representa la actividad de investigación de cada región en relación con la investigación mundial. Es decir que, aunque en el mapa la proporción que ocupan Brasil y Argentina por su superficie sea superior a toda Europa, esto no significa que aporten en esa misma proporción a la investigación mundial en el tema de árboles GM, tal como refleja el gráfico de torta.

### Actividad 2: Posibles beneficios de los árboles GM. Representaciones gráficas, diseño e interpretación

A continuación se representan en una tabla los resultados de una encuesta realizada entre productores del sector forestal, acerca de los beneficios que otorgarían los árboles GM. Luego, se proponen consignas para analizar esta información.

Beneficios	Número de respuestas
Incremento en la producción de madera	15
Aumento de la calidad	12
Resistencia a parásitos	9
Resistencia a enfermedades	7
Reducción del costo de producción	5
Reducción de productos químicos en elaboración del papel	4
Desarrollo de nuevos productos	3
Mejorar la adaptabilidad	1
Uso para biorremediación de sitios contaminados	1
Esterilidad	1
Aumento del valor del producto	1
Nuevos rasgos actualmente no disponibles	1

Fuente: FAO, 2004.

1. Construir, a partir de la tabla, un gráfico que represente qué porcentaje del total de beneficios representa cada una de las características enumeradas.

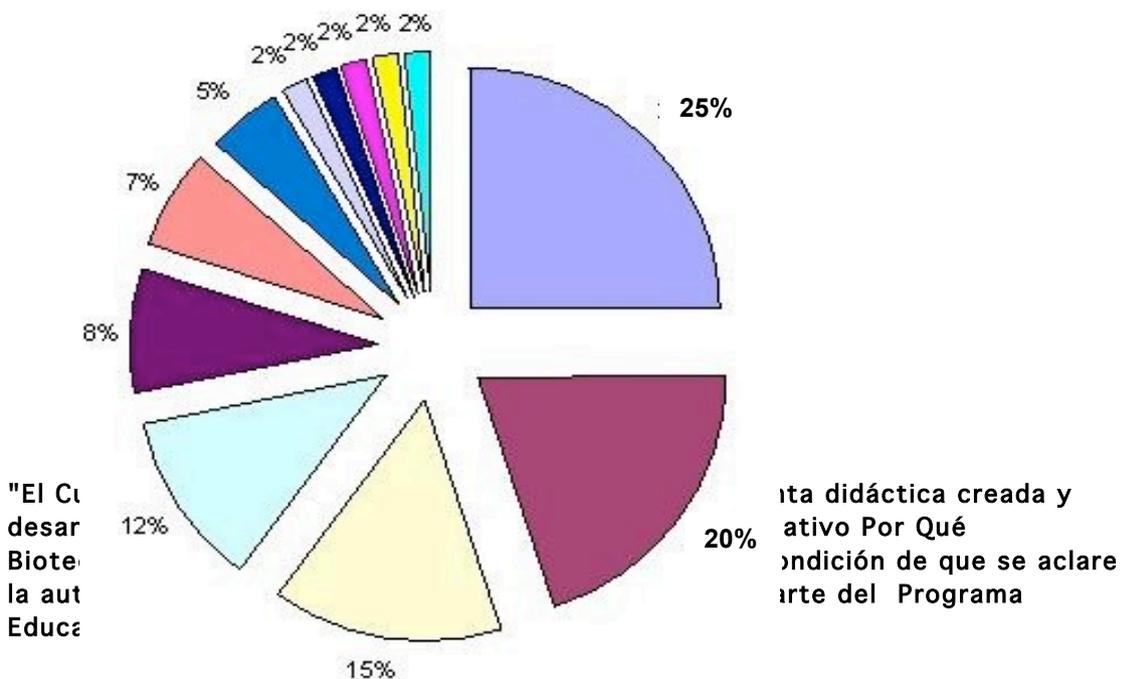
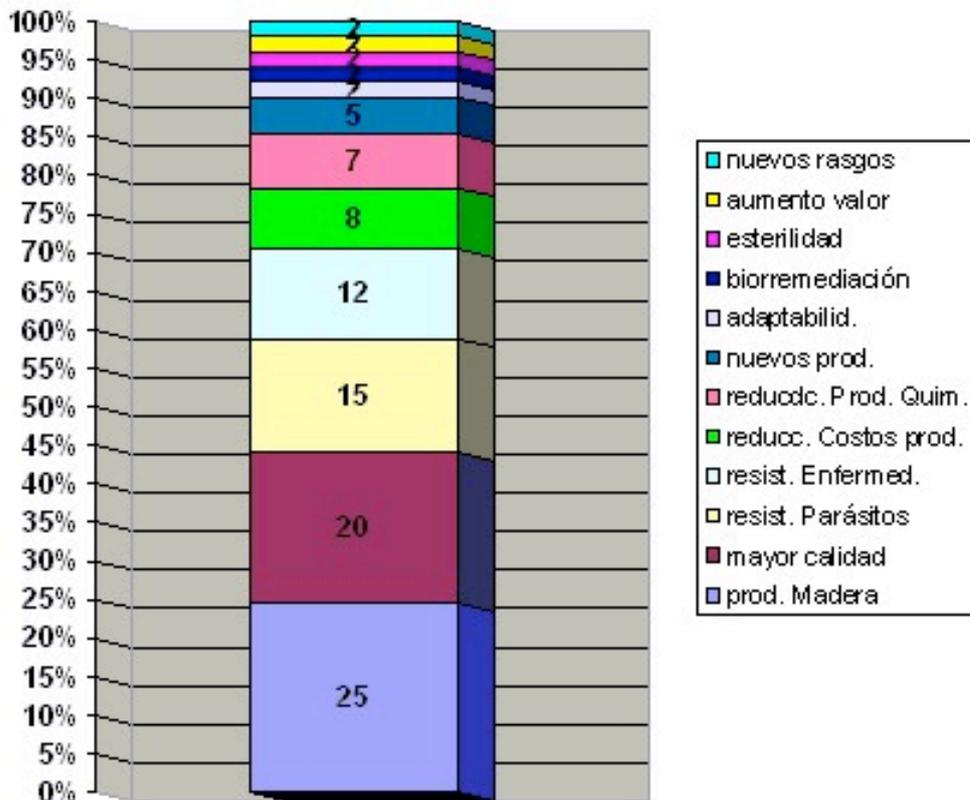
Nota: Se sugiere analizar con los alumnos qué gráfico sería más útil para representar esta información (gráficos de curvas, histogramas, tortas, barras, etc.) y justificar en cada caso las ventajas y/o desventajas para cada tipo de representación, qué

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



tipo de datos se representan en cada caso (variables continuas o discontinuas, proporciones, variaciones en función del tiempo, etc.), la claridad en la lectura de los datos, etc. Podrían trabajar con docentes de informática y de matemática en el ingreso de datos y en la elaboración de los diferentes tipos de gráficos en la computadora, y analizarlos luego en clase. A continuación se muestran dos representaciones posibles para esta información y se sugiere trabajarlo en clase.

Tomando en cuenta el total de respuestas (60), los porcentajes para las distintas categorías pueden representarse en un gráfico de torta o en otro de columnas 3D de la siguiente forma:



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" desarrollado por la autora de este artículo.

Esta didáctica creada y desarrollada por la autora de este artículo, en condición de que se aclare el arte del Programa



- Incremento en la producción de madera (25%)
- Aumento de la calidad (20%)
- Resistencia a parásitos (15%)
- Resistencia a enfermedades (12%)
- Reducción del costo de producción (8%)
- Reducción de productos químicos en elaboración del papel (7%)
- Desarrollo de nuevos productos (5%)
- Mejorar la adaptabilidad (2%)
- Uso para biorremediación de sitios contaminados (2%)
- Esterilidad (2%)
- Aumento del valor del producto (2%)
- Nuevos rasgos actualmente no disponibles (2%)

Se sugiere analizar con los alumnos, entre otros aspectos:

- qué representan los gráficos. Si ambos representan lo mismo.
- cómo lo interpretan, cuál les resulta más claro.
- qué representa el total de la torta o el total de la columna.
- qué representa cada porción.
- Cuál sería el 100% en este caso.
- Proponer un título para las representaciones gráficas (Nota: es importante este punto ya que el título refleja la comprensión de la representación gráfica. Es decir, que puedan interpretar que el gráfico representa una distribución, proporciones o porcentajes de un total de respuestas acerca de posibles beneficios).

Responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué características se podrían mejorar en los árboles para aumentar la calidad y producción de madera?. Rta: se podrían desarrollar árboles con mayor densidad de madera, mayor crecimiento y volumen. Estas características mejoradas permitirán que los árboles crezcan más rápido, produzcan más cantidad de madera en menos tiempo.
2. ¿Qué características se podrían mejorar en los árboles para reducir el uso de productos químicos contaminantes empleados en la elaboración del papel? Rta: Se podrían obtener árboles con menor contenido de lignina y con lignina más fácilmente extraíble, disminuyendo los costos de producción de papel.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

3. ¿Qué ventajas proporciona la biotecnología a la remediación de medio ambientes contaminados? Rta. el desarrollo de árboles GM que sean mejores agentes de biorremediación, permitirán que los mismos transformen compuestos altamente tóxicos (metales pesados o hidrocarburos) en compuestos más amigables con el medio ambiente.

### Actividad 3: Análisis de textos

Se reproducen dos artículos extraídos y adaptados de la Sección Novedades en [www.porquebiotecnologia.com.ar](http://www.porquebiotecnologia.com.ar) y se sugieren preguntas para su análisis. Se puede acceder al sitio y buscar otras Novedades a partir de las cuales trabajar en clase estos y otros temas.

#### **TEXTO 1: Clonación de vegetales en la UNLP**

Adaptado de Novedades, publicado el 09/10/2003

***Científicos de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales lograron clonar y desarrollar numerosas especies vegetales. Buscan conservarlas ya que tienen propiedades medicinales. También sirven para combatir plagas y cuidar el medio ambiente. Los sorprendentes desafíos de la biotecnología.***

*Un grupo de profesionales de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) alcanzó significativos logros en uno de los campos de la ciencia que más avanzó en los últimos 20 años: (la)...biotecnología. Concretamente, lograron clonar y mejorar numerosas especies de vegetales que son potencialmente beneficiosas para mejorar el medio ambiente, combatir plagas, desarrollar alimentos con alto valor nutricional y hasta producir medicamentos para combatir enfermedades. “...Nosotros comenzamos con la clonación de plantas forestales, y luego continuamos con especies medicinales y aromáticas. También nos hicimos fuertes en la conservación de germoplasma”, afirmó Sandra Sharry, del Centro de Propagación Vegetal (CeProVe), dependiente de la mencionada unidad académica. En el laboratorio del Centro existe un banco de conservación de germoplasma de especies forestales nativas. Consiste, básicamente, en la disponibilidad de genes que luego pueden ser usados en distintas situaciones que así lo requieran. Este banco es el primero que se fundó en la Argentina, y el único del mundo que conserva especies que se desarrollan en los talaes y selvas de nuestra región. Según informó la especialista, en el CeProVe se concretó la clonación de ceibos, acacias, talas, coronillos, sombras de toro, sarandíes, cinacinas, espinas corona, entre otros. Muchos de los ejemplares mencionados son de uso medicinal y tienen un valor estratégico. “Casi todas estas especies han sido usadas por los indígenas como remedios. Y actualmente las empresas multinacionales realizan una terrible búsqueda de plantas que permitan curar enfermedades...” explicó Sharry. Actualmente en el centro de la UNLP también se trabaja en el desarrollo de paraísos para que sean tolerantes tanto a la sal como al frío. El objetivo es que puedan crecer en la depresión de la Cuenca del Río Salado y sean una*

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

alternativa a la explotación del cedro, una especie muy degradada por la actividad del hombre. Otro de los proyectos, que se encuentra avanzado, es el mejoramiento genético de los álamos para hacerlos más tolerantes a las plagas que lo afectan....

“Nosotros clonamos con una técnica que se llama micropropagación, que consiste en sacar una parte del vegetal, que puede ser desde una célula o una porción. Luego, bajo condiciones *in vitro*, se le introducen hormonas y se genera un nuevo vegetal que es exactamente igual al primero”, explicó Sharry... directora del CeProve, quien además es Licenciada en Biología, profesional principal de Comité de Investigación de Científica (CIC) y coordinadora nacional de la Red de Laboratorios de Biotecnología de la ONU.

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



Preguntas para el análisis del texto:

1. ¿Dónde se desarrolla la investigación a la que hace referencia el texto? Rta. Centro de Propagación Vegetal (CeProVe). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
2. ¿En qué consiste básicamente el trabajo realizado en este Centro? Rta. clonación y mejoramiento de especies de vegetales, y conservación de germoplasma de especies forestales nativas que se desarrollan en los talares y selvas de la región.
3. ¿Cuál es la técnica empleada? Rta. Clonación mediante micropropagación y cultivo in vitro con el agregado de hormonas.
4. ¿Cuáles son los beneficios que se podrían obtener de estos trabajos? Rta. disponibilidad de genes que luego pueden ser usados en distintas situaciones que así lo requieran, mejoramiento de especies vegetales potencialmente beneficiosas para el medio ambiente, conservar recursos genéticos, combatir plagas, desarrollar alimentos con alto valor nutricional, producir medicamentos, entre otros.

**TEXTO 2: Encuentran molécula clave para la floración**

Publicado en Novedades el 19/08/2005.

*Investigadores del Centro de Botánica de Umeå, Suecia, informaron que encontraron una pequeña molécula que sería clave para entender cómo las plantas controlan la floración. En un artículo publicado el 11 de este mes en la revista Science, mostraron cómo esta molécula se fabrica en las hojas de las plantas y es transportada hacia el extremo de los brotes, donde induce la floración. Este hallazgo puede llevar al desarrollo de nuevas herramientas que permitan modificar el tiempo de floración de las plantas, un tema muy importante tanto en agricultura como en el área forestal. Todos sabemos que las plantas florecen en diferentes momentos a lo largo del año: los narcisos en primavera, las rosas en verano y otras plantas en otoño. Es absolutamente vital para la supervivencia de la planta florecer en el momento justo para poder polinizar, o ser polinizada por otras plantas de la misma especie. Pero ¿cómo sabe la planta cuándo debe florecer? Ya a principios del siglo XX los científicos sabían que las plantas usaban a las hojas para sentir la longitud del día (fotoperíodo), y demostraron que las hojas fabricaban una sustancia que viajaba hasta la punta de los brotes para inducir la formación de las flores. Los científicos rusos llamaron a esta sustancia misteriosa "florigen". Durante los 70 años siguientes investigadores de todo el mundo trabajaron para descubrir la verdadera naturaleza del florigen, pero sin éxito. El grupo liderado por el Dr. Ove Nilsson de la Universidad de Suecia identificó ahora una "molécula mensajera" que cumple con las propiedades descritas para el florigen. La molécula es sintetizada a partir del gen "FT", que se activa en las hojas y esta actividad es a su vez controlada por la longitud del día (fotoperíodo). Cuando el gen se activa, se produce esa molécula mensajera, la que es luego transportada a la punta de los brotes. Allí induce una serie de genes que controlan la formación de las flores. Estos datos, juntos con otros publicados, muestran que esta molécula mensajera o bien es florigen, o un importante componente del florigen. Según Ove Nilsson, "este descubrimiento*

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.**



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

ayudará a los fitomejoradores a controlar la floración en las plantas, algo que es de vital importancia para el mejoramiento de cultivos comerciales y especies forestales”.

### Preguntas para analizar el texto:

1. ¿En dónde se realizó la investigación y en que revista fueron publicados los resultados de la misma? Rta: la investigación fue realizada en el Centro de Botánica de Umeå, Suecia, y los resultados se publicaron 11 de Agosto de 2005 en la revista Science.
2. ¿Qué descubrieron los científicos? Rta: Descubrieron una pequeña molécula que parecería estar involucrada en el proceso de floración de las plantas.
3. ¿Qué es el “florigen”? Rta: es el nombre que le pusieron los científicos rusos a la sustancia que viajaba de la hoja a las puntas de los brotes e induce la floración.
4. ¿Qué relación tiene el florigén con la nueva sustancia descubierta? Rta: la “molécula mensajera” recientemente descubierta cumple con las propiedades descritas para el florigen. Esta sustancia es sintetizada a partir del gen "FT" y se activa en las hojas. Cuando el gen se activa, se produce esa molécula mensajera, la que es luego transportada a la punta de los brotes. Allí induce una serie de genes que controlan la formación de las flores.
5. ¿Qué importancia tiene este descubrimiento para la biotecnología forestal? Rta: los árboles, al ser de crecimiento lento, tardan mucho tiempo en llegar a la edad reproductiva (desarrollo de flores). Si se cuenta con información sobre el gen responsable de este proceso, se puede controlar la floración en los árboles.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



### MATERIAL DE CONSULTA

1. Documento “Mejoramiento y Genética Forestal”. Agosto 2003. Equipo Forestal, Estación Experimental INTA Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria -INTA-.  
[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)
2. Documento de la FAO realizado en Diciembre de 2004: Estudio preliminar de la Biotecnología forestal (en ingles).  
[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/008/ae574e/ae574e00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/008/ae574e/ae574e00.htm)  
Version en pdf: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/ae574e/ae574e00.pdf>.
3. Informe de la FAO sobre la situación de los bosques en el mundo 2005. Esta sección informa sobre conservación y desarrollo sostenible de los bosques.  
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5574s/y5574s05.pdf>
4. Página de la Red de biotecnología forestal, en donde se pueden encontrar los últimos desarrollos de biotecnología forestal en el mundo.  
<http://www.rebiofor.org/content.php?content.12>
5. El futuro de la industria forestal...hoy. La página muestra un reportaje sobre algunos desarrollos biotecnológicos en Chile.  
[http://www.bioplanet.net/magazine/bio\\_enefeb\\_2000/bio\\_2000\\_enefeb\\_reportaje.htm](http://www.bioplanet.net/magazine/bio_enefeb_2000/bio_2000_enefeb_reportaje.htm)
6. Página: “Explora la biotecnología”, en donde se explican en forma sencilla algunos procesos biotecnológicos en forestales.  
<http://www.explora.cl/otros/metro/metrobio/forestal.html>
7. Página de la FAO sobre Silvicultura y La biotecnología en el sector forestal. Incluye links a documentos sobre biotecnología en bosques.  
<http://www.fao.org/biotech/sector5.asp?lang=es>

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.