



منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة	联合国 粮食及 农业组织	Food and Agriculture Organization of the United Nations	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
--	--------------------	--	--	---	--

Conferencia Técnica Internacional de la FAO

Bioteecnologías Agrícolas en los Países en Desarrollo: Opciones y oportunidades en los sectores agrícola, forestal, ganadero, pesquero y agroindustrial para hacer frente a los desafíos de la inseguridad alimentaria y el cambio climático

Guadalajara (México), 1 – 4 de marzo de 2010

Síntesis: Estado actual y opciones para las bioteecnologías forestales en los países en desarrollo

Introducción

Los bosques y otras zonas forestales desempeñan funciones económicas y ecológicas fundamentales. No sólo proporcionan bienes y medios de subsistencia sino que también protegen los suelos, regulan el flujo de agua y absorben el carbono. Los bosques cubren una gran parte de la biodiversidad mundial. En todo el mundo hay poco menos de 4 mil millones de hectáreas de bosques, que abarcan alrededor del 30 por ciento de la superficie terrestre. La producción de productos forestales madereros y no madereros es la función primaria del 34 por ciento de todos los bosques. Más de la mitad se usa para la producción de leña y productos no madereros, en combinación con otras funciones como la protección de suelos y aguas, y la conservación y recreación de biodiversidad. Sólo el 5 por ciento de los bosques se encuentra en plantaciones, y el resto en rodales naturales o seminaturales, en gran parte no explotados ni domesticados. Los bosques artificiales se están expandiendo, y su contribución a la producción mundial de leña se acerca al 50 por ciento del total. Más de la mitad de la biomasa forestal consumida en el mundo – en los países en desarrollo mucho más del 80 por ciento – se usa como combustible. Alrededor de 1,6 mil millones de personas dependen de los recursos forestales para su subsistencia. Los 60 millones de indígenas que viven en las selvas pluviales de América Latina, Asia sudoriental y África occidental dependen en gran medida de los bosques. Otros 350 millones de personas que viven en o cerca de bosques densos dependen de ellos para subsistencia o ingresos, mientras que 1,2 mil millones de personas de países en desarrollo utilizan los árboles de granja para generar alimentos y dinero.

Para minimizar los efectos de los métodos de trabajo de la FAO en el medio ambiente y contribuir a la neutralidad respecto del clima, se ha publicado un número limitado de ejemplares de este documento. Se ruega a los delegados y observadores que lleven a las reuniones sus copias y que no soliciten otras. La mayor parte de los documentos de reunión de la FAO está disponible en Internet, en el sitio www.fao.org

Los recursos forestales y arbóreos se ordenan en diferentes tipos de sistemas que se caracterizan por una explotación de intensidad variada que va de los bosques naturales primarios a las plantaciones industriales productivas. Por lo que se refiere a la biotecnología forestal, la convergencia de algunos factores configura una oportunidad mundial, condiciona las decisiones sobre las inversiones y determina las prioridades de la investigación (subrayando las diferencias entre el uso de las biotecnologías en la silvicultura y su uso en la agricultura o la ganadería). Los factores son los siguientes: los árboles forestales son fuertemente heterocigóticos, perennes, con una maduración sexual tardía y un ciclo de regeneración prolongado, lo que confiere a la retención de la diversidad genética un alto grado de prioridad como póliza de seguro contra los cambios rápidos; la mayor parte de las especies de árboles forestales tiene una adaptación regional restringida, de suerte que los números de las especies utilizadas para plantar son órdenes de magnitud mayores que para los cultivos alimentarios; los árboles forestales constituyen la piedra angular en los ecosistemas dinámicos, de manera que la lucha contra las pérdidas se traduce en algo más que en la supervivencia de los árboles; los árboles forestales son en gran parte árboles no domesticados, aunque la población de algunas especies ha experimentado algún mejoramiento durante una a cuatro generaciones.

En el presente documento se sintetizan los elementos principales del documento ABDC-10/4.1, en el que se evalúa el uso de las biotecnologías forestales en los países en desarrollo y se examina el alcance de su uso actual, las razones que determinaron su éxito o fracaso en el pasado, los problemas emergentes y las opciones futuras tanto para los países en desarrollo como para la comunidad internacional (la FAO, las organizaciones de las Naciones Unidas, las ONG, los donantes y los organismos de desarrollo).

Balance y enseñanzas del pasado

En los últimos decenios la biotecnología forestal se ha ido transformando en una cartera dinámica de herramientas que le ha permitido trascender la mera investigación para pasar al ámbito del comercio mundial y el desarrollo. Históricamente, la biotecnología forestal se había desarrollado en beneficio de los bosques artificiales. Pero hoy en día se siguen plantando bosques con material reproductivo no domesticado. Unas pocas especies de árboles forestales se encuentran en las primeras fases de domesticación pero, a lo sumo, están semidomesticadas. En cuanto a las tecnologías convencionales, la idea de mejorar los árboles forestales se difundió mucho después de la llegada de la genética cuantitativa, y su objetivo primario era identificar y seleccionar fuentes de semillas silvestres aptas para bosques artificiales. A partir de ello no se desarrollaron más que unos pocos programas de reproducción recurrente. Los ciclos de reproducción eran largos, en parte a causa de que era esencial el mejoramiento de las poblaciones. La reproducción recurrente de los árboles se refiere a la aplicación de los principios genéticos mendelianos dentro de un determinado sistema silvícola a efectos de mejorar la calidad genética del bosque. Su objetivo es *mejorar el valor genético de la población manteniendo al mismo tiempo la diversidad genética*. La diversidad genética se considera como una póliza de seguro contra la pérdida catastrófica de más de una generación. Este programa de generación avanzada o reproducción recurrente se refiere al mejoramiento de la población, no al desarrollo de variedades o de líneas endógamas (no híbridas). Algunas de las muchas especies de árboles forestales que se plantan hoy han sido sometidas incluso al mejoramiento de una sola generación. Éste es un punto sutil pero importante cuando se comparan los avances de la biotecnología forestal con la agrícola o ganadera. Los mejoradores de árboles forestales comparan la importancia de la ganancia genética con la importancia que representa el contar con una diversidad genética suficiente y evitar la depresión endogámica y una incertidumbre a largo plazo.

Ordenación de bosques regenerados naturalmente: para un número cada vez mayor de especies tropicales se cuenta con marcadores basados en el ADN y marcadores bioquímicos. Hoy se dispone de conclusiones que sirven para orientar los planes operacionales de ordenación forestal, pero sólo para un número muy limitado de los cientos de especies arbóreas explotadas en bosques tropicales regenerados naturalmente. Esta esfera de la biotecnología forestal continúa expandiéndose, pasando del desarrollo de instrumentos a una mayor adquisición de conocimientos basados en hipótesis. Tales investigaciones son una fuente poderosa de conocimientos pertinentes para la protección de los bosques tropicales. Además, la investigación se está desplazando desde los marcadores moleculares a la genómica. La disponibilidad de datos de secuencias de ADN aporta una evidente ventaja a la investigación mundial sobre los bosques tropicales. Los datos genómicos están aportando nuevas ideas a la biología comparativa para los bosques tropicales. Su aplicación más inmediata es, tal vez, en un proyecto internacional de código de barras para plantas. Este uso incipiente de la genómica se ha aplicado a diversas esferas de la investigación, incluida la filogénesis.

Los instrumentos biotecnológicos, como los marcadores moleculares y la genómica, pueden, por lo tanto, aportar conocimientos importantes sobre los bosques tropicales regenerados naturalmente e ideas importantes sobre la naturaleza de todos los ecosistemas de los bosques tropicales, incluida la relación entre los árboles forestales y las comunidades microbianas con las que interactúan, todo lo cual puede influir en las estrategias empleadas para la ordenación de los bosques tropicales.

Bosques artificiales: Aunque hay alguna superposición, la gama de biotecnologías usadas para los bosques artificiales es por lo general bastante diferente de la usada para los bosques regenerados naturalmente. Las plantaciones pueden tener diferentes tipos de sistemas de ordenación (intensiva, semiintensiva) y usar diferentes tipos de material genético (material silvestre, árboles mejorados genéticamente). Según sea el grado de intensidad de la explotación y el material genético utilizado, se pueden usar diferentes grupos de biotecnologías. Para simplificar, según el tipo de bosques artificiales se pueden indicar tres grupos de biotecnologías, que van desde las menos sofisticadas hasta las más avanzadas.

Un primer grupo de biotecnologías es idóneo para los bosques artificiales ordenados menos intensivamente, y comprende una gama de métodos de propagación vegetativa, con inclusión de la micropropagación basada en el cultivo de tejidos, los biofertilizantes y las huellas dactilares genéticas que utilizan marcadores moleculares. En esta primera etapa de los bosques artificiales las biotecnologías forestales contribuyen a la salud y calidad de los bosques con especies tanto autóctonas como exóticas. La propagación vegetativa abarca una amplia gama de técnicas que sirven para una multiplicación rápida de genotipos. Ello ha sido útil para especies que producen pocas semillas o semillas recalcitrantes y para multiplicar determinados genotipos en un plazo corto. Aunque se ha utilizado un gran número de especies arbóreas para la investigación sobre la micropropagación en los países en desarrollo, la mayor parte del trabajo registrado (94%) se encuentra todavía en la fase de laboratorio, mientras una proporción relativamente pequeña (5%) ha llegado a la fase de ensayo sobre el terreno. Menos del 1% de las actividades de micropropagación registradas en los países en desarrollo ha alcanzado la fase de la aplicación comercial. El uso de biofertilizantes ha dado resultados positivos para las especies de poblaciones autóctonas así como para las especies exóticas, como el eucalipto, la acacia y el ciprés. Entre los simbioses que son objeto de examen figuran las bacterias nitrificantes, como el *rizobio* y la *azolla*, las algas verde-azuladas y los hongos micorrízicos. Además de los bosques artificiales explotados menos intensivamente en los países en desarrollo, los biofertilizantes han resultado útiles también en aquéllos explotados más intensivamente. En estos programas correspondientes a la primera fase de

mejoramiento se han usado también durante decenios diferentes tipos de marcadores moleculares y bioquímicos. Por ejemplo, para medir la diversidad genética de la población reproductora, probar las contribuciones de paternidad a los vástagos producidos en los ensayos sobre el terreno, y verificar la identidad genética durante la propagación vegetativa.

El segundo grupo de biotecnologías es idóneo para bosques artificiales que proporcionan materias primas industriales a gran escala. Las especies utilizadas para las plantaciones pueden ser autóctonas o exóticas, pero se trata de explotaciones intensivas. En este grupo de biotecnologías figuran la embriogénesis somática, los marcadores moleculares y los análisis de locus de un carácter cuantitativo (QTL), la secuencia completa de genomas y la genómica funcional. Aunque en algunas de las especies comerciales se han obtenido resultados satisfactorios usando la embriogénesis somática (una técnica de cultivo de tejidos), quedan todavía obstáculos importantes para su aplicación a gran escala a los árboles forestales en los países en desarrollo. En los programas de reproducción recurrente se puede mejorar el mejoramiento y la selección localizando los QTL que influyen en el carácter (o caracteres) que interesan y utilizándolos para la selección asistida por marcador. Dar con los QTL para los árboles forestales es más costoso y una operación informática más difícil que para la mayoría de las especies agrícolas y ganaderas, porque la genealogía de los árboles forestales es exogámica y fuertemente heterocigótica. La genómica basada en los genes, o genómica inversa, puede utilizarse para identificar y caracterizar los genes que interesan. Para las especies frondosas como el *eucalipto* o el *álamo*, los tamaños del genoma son del mismo orden que los del arroz, el tomate y el *arabidopsis*. El genoma del álamo fue el primero de una especie de árbol forestal totalmente secuenciado. La iniciativa del genoma del *eucalipto* para una secuencia completa es una iniciativa de mayor envergadura, incluso, coordinada entre 130 científicos de 18 países, entre ellos Brasil y Sudáfrica.

El tercer grupo de biotecnologías, y el más sofisticado, comprende los métodos de la genómica regresiva e inversa, las secuencias de genoma completo, la propagación vegetativa a bajo costo y la modificación genética de árboles forestales. Hasta la fecha, las únicas plantaciones comerciales con árboles modificados genéticamente (MG) son las de álamo en China. Sin embargo, la mayoría de las especies arbóreas usadas en los bosques artificiales se han transformado experimentalmente con resultados satisfactorios, y las características investigadas ampliamente son, entre otras, la forma del tallo, la resistencia a los herbicidas, las características de floración, el contenido de lignina y la resistencia a los hongos. Actualmente, muchos países en desarrollo tienen reglamentaciones sobre la bioseguridad para los productos agrícolas, incluidos los árboles frutales, aunque muchos otros carecen de tales marcos normativos y de la capacidad de aplicarlos. No hay, sin embargo, reglamentaciones específicas para el uso de los árboles forestales MG. Aunque es probable que las políticas y normativas adoptadas para los productos agrícolas se apliquen a los árboles forestales, éstos presentan problemas especiales (calendarios y ciclos vitales largos, recursos silvestres, factores importantes de un ecosistema). Los bosques no son sólo árboles, y los ecosistemas forestales son más frágiles, más duraderos y menos vigilados que los campos agrícolas. La toma de decisiones se complica por el hecho de que mientras a la agricultura se la considera como un sistema productivo, los bosques son vistos como un sistema natural, importante no sólo para la conservación de la biodiversidad sino también por sus valores sociales y culturales. Por consiguiente, el uso de árboles forestales MG es visto como una cuestión más ambiental que técnica o comercial.

Al examinar la aplicación global de las biotecnologías forestales en los países en desarrollo en el pasado, el análisis indica que su utilización ha sido beneficiosa sólo en las fases avanzadas de los programas de selección y mejoramiento. En cuanto a los sistemas de ordenación de la mayoría de las especies y de los árboles forestales, los

avances registrados hasta ahora en los países en desarrollo se han hecho sin la incorporación de biotecnologías. También en los países en desarrollo hay ejemplos muy buenos de programas avanzados de fitomejoramiento genético mediante instrumentos biotecnológicos, pero conciernen sólo a una parte pequeña de la superficie forestal (aunque su parte relativa de producción maderera sea mayor). Una de las razones principales del fallo es que se ha hecho una evaluación insuficiente de los costos y beneficios reales que representa el uso de instrumentos biotecnológicos en determinadas condiciones (nivel de mejoramiento e intensidad de la ordenación), debido a menudo a un enfoque centrado en la oferta. Como consecuencia, se frustran las expectativas y los costos injustificados son altos. Este riesgo es común en las primeras fases de desarrollo de tecnologías nuevas. Queda todavía mucho por hacer para perfeccionar las aptitudes profesionales de los investigadores a través de una formación de nivel más alto para planificar, desarrollar y ejecutar programas apropiados de mejora de los árboles. Han de destinarse, asimismo, recursos financieros suficientes a nivel nacional para que tales programas sean llevados a cabo satisfactoriamente, con el objetivo final de producir material reproductivo mejorado. La integración efectiva de las biotecnologías en programas de mayor envergadura – incluidos los basados en tecnologías convencionales, tales como la mejora de árboles y la reproducción – es una característica común en los estudios de casos de aplicaciones satisfactorias.

Preparativos de cara al futuro

Si se utilizan dentro de un marco apropiado, las biotecnologías forestales pueden contribuir a mejorar la productividad y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales a las enfermedades, la degradación y los disturbios humanos. De cara al futuro, las biotecnologías pueden resultar útiles para abordar algunos problemas fundamentales.

Los bosques, particularmente los tropicales, juegan un papel central ante el problema del cambio climático, lo cual debería configurar diversamente la investigación sobre la biotecnología forestal. El núcleo del asunto consiste en cómo facilitar la adaptación de los bosques al cambio climático, porque en dicha adaptación se basan las soluciones a las que las políticas forestales apuntan para desacelerar el cambio climático. Con respecto al estrés biótico y abiótico previsto en los escenarios de cambio climático, en un futuro próximo será más pertinente tanto para la regeneración natural como para las especies arbóreas de bosques artificiales el desarrollo de instrumentos biotecnológicos que favorezcan la resistencia a las plagas, la tolerancia a situaciones climáticas extremas, la rehabilitación biológica y la retención de carbono.

Otra cuestión clave es la gestión de los recursos genéticos forestales (RGF). La diversidad genética proporciona la base fundamental para la evolución de las especies arbóreas forestales que ha permitido que durante miles de años los bosques y los árboles se adaptaran a condiciones variables. Los incendios, la deforestación, las nuevas plagas y enfermedades, y otros factores están poniendo cada vez más en peligro los RGF. La gran mayoría de los RGF son desconocidos y desaprovechados, aunque el uso sostenible de la diversidad genética forestal puede contribuir mucho a abordar los nuevos retos y a mantener los valores económicos, sociales y culturales, así como los servicios y beneficios ecológicos. Para lograr un uso sostenible de los RGF se deben evaluar sus nuevos usos. Los avances en la biotecnología están permitiendo rápidamente el uso mejorado de los recursos genéticos, y unos aportes económicos y sociales potencialmente mayores de los mismos. Las novedades biotecnológicas facilitarán también instrumentos mejorados para aumentar la eficacia de las medidas de conservación y desarrollo (para definir y ejecutar las estrategias de conservación faltan, o son insuficientes, los conocimientos sobre las características del ciclo biológico y la diversidad genética de la mayoría de las especies arbóreas).

En base al ejercicio de inventario que ha ocupado un lugar central en este documento, se pueden detectar algunas opciones concretas para ayudar a los países en desarrollo a tomar en el futuro decisiones fundamentadas acerca de la adopción de biotecnologías en el sector forestal. Primero, las biotecnologías deberían integrarse con las tecnologías convencionales. Segundo, las asociaciones entre el sector público y el privado son una opción importante que deben examinar los países en desarrollo y promoverse en el plano nacional. Tercero, deberían mejorarse las estrategias de información y comunicación. El acceso del público a una información correcta y actualizada sobre las biotecnologías forestales es muy importante para los países en desarrollo. Habría que establecer mecanismos de información y educación unificados para que los sectores interesados de la sociedad puedan comunicarse entre sí. Habría que considerar las cuestiones pertinentes a una adopción de biotecnologías bien fundada, con inclusión de sus consecuencias socioeconómicas, eficacia, costos y beneficios y consecuencias ambientales.

La comunidad internacional puede desempeñar un papel clave a favor de los países en desarrollo, facilitando un marco para la cooperación internacional y el apoyo financiero destinado a la generación, adaptación y adopción de biotecnologías apropiadas.

1. La comunidad internacional puede mejorar el acceso a la información científica revisada por homólogos sobre las biotecnologías forestales en los países en desarrollo. Aún con las posibilidades de acceso a internet, las revistas y libros científicos continúan siendo fuentes centrales de información para los científicos.
2. La comunidad internacional puede prestar asistencia en el fortalecimiento de la capacidad para comprender las cuestiones relativas a la biotecnología forestal en todos los niveles. La mayoría de los responsables de las políticas, de los científicos e incluso de los alumnos considera la biotecnología forestal como una forma de agricultura, lo cual no es verdad, como ya se ha indicado. La biotecnología forestal requiere una creación de capacidad distinta de la que se aplica en la biotecnología agrícola y ganadera. En vistas de esto, deberían reforzarse las iniciativas de la comunidad internacional destinadas a crear capacidad en el ámbito de las biotecnologías forestales.
3. La comunidad internacional puede continuar examinando el estado y las potencialidades de las biotecnologías forestales para los países en desarrollo. La situación del sector forestal en los países en desarrollo es muy dinámica y se encuentra ante retos y oportunidades importantes en los que las biotecnologías pueden desempeñar una función relevante. Las encuestas mundiales tienen su importancia y la comunidad internacional debería continuar facilitando estudios periódicos sobre el estado y las potencialidades de las biotecnologías forestales en los países en desarrollo.
4. La comunidad internacional debería fomentar la colaboración norte-sur. En los países desarrollados la aplicación de las biotecnologías forestales ha avanzado más deprisa de lo previsto. Como una gran parte de la investigación llevada a cabo allí es sobre los procesos y/o especies arbóreas pertinentes a los países en desarrollo, los avances registrados revisten una gran importancia también para esos países. La comunidad internacional debería intervenir para asegurar que dichos los países en desarrollo puedan tener acceso a los resultados de la investigación y aplicación de las biotecnologías forestales en los países desarrollados.