

## Cultivos forestales y cambio tecnológico. Efectos económicos y ambientales

A. Casimiro Herruzo

*Departamento de Economía y Gestión Forestal. ETSI de Ingenieros de Montes.  
Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid. España*

---

### Resumen

Este artículo analiza las repercusiones de la expansión de los cultivos forestales sobre el sector forestal mundial. Se describe, en primer lugar, el proceso de transición de unos sistemas de producción de madera basados, esencialmente, en la extracción de *recursos naturales*, a unas producciones madereras cada vez más intensivas en innovaciones tecnológicas-*recursos del conocimiento*. A continuación se identifican los principales factores que condicionan en la actualidad la producción de madera destinada a uso industrial. Se desarrolla también un marco analítico sencillo que incorpora el cambio tecnológico, mediante el cual es posible analizar la contribución potencial de los cultivos forestales intensivos sobre la oferta mundial de madera y la conservación de los recursos forestales.

**Palabras clave:** selvicultura intensiva, tecnología, externalidades.

### Abstract

#### Forest plantations and technical change. Economic and environmental effects

This article analyzes the impact of the expansion of forest plantations on the world forestry sector. The transition process from a resource-base to a science-base wood production system is described and the main factors conditioning actual wood production world wide are also identified. A simple analytical framework is used to analyze the potential contribution of intensive plantations and technical change to world wood supply and the conservation of forest resources.

**Key words:** intensive forestry, technical change, externalities.

---

### Introducción

Desde las últimas décadas del siglo XX es posible observar una transformación en la actividad forestal, a escala mundial, que puede concretarse en los dos fenómenos siguientes. En primer lugar, las necesidades de madera para uso industrial se satisfacen, cada vez más, a partir de plantaciones forestales, siendo, como se verá más adelante, una parte creciente de éstas en forma de cultivos intensivos de alto rendimiento. Paralelamente, la mayoría de las formaciones arbóreas naturales y aquellas masas forestales de mayor valor ecológico están siendo destinadas, preferentemente, a la protección ambiental y a la provisión de servicios recreativos, usos alternativos a la producción de madera, que cuentan con una creciente demanda social. Este importante proceso de cambio en la actividad forestal mundial se halla aún en sus etapas iniciales, no

obstante, tiene interés estudiar sus rasgos más significativos, identificar las fuerzas que lo impulsan y, sobre todo, analizar sus posibles efectos sobre el panorama forestal mundial en las próximas décadas

En este artículo se efectúa una reflexión sobre estas cuestiones a partir de una revisión de la abundante literatura disponible sobre el tema. Su alcance es, obligadamente, muy amplio y, en consecuencia, muchos de los tópicos presentados requerirían un análisis individualizado, a un mayor nivel de profundidad. La tesis fundamental que se debate a lo largo del trabajo es que el uso más eficiente de los recursos forestales en la producción de madera y el aumento de su productividad podría asegurar que, en un horizonte de unos cincuenta años, una gran parte de las necesidades mundiales de madera industrial podrían satisfacerse a partir de una superficie, relativamente pequeña, de plantaciones forestales gestionadas de forma intensiva. De lograrse este objetivo, podría ser posible disminuir parte de las presiones que desde hace tiempo vienen sufriendo los recursos forestales mundiales

---

\* Autor para la correspondencia: herrzc@montes.upm.es  
Recibido: 31-07-03; Aceptado: 02-03-04.

y, en especial, aquellos bosques que cuentan con un mayor valor ecológico, como es el bosque tropical.

El artículo se estructura en varias secciones. La primera describe brevemente el proceso de transición desde unos sistemas de producción de madera, basados esencialmente en la extracción de *recursos naturales*, a los nuevos modelos de producción maderera intensivos en innovaciones tecnológicas derivadas del avance y desarrollo de la ciencia y la tecnología, esto es, intensivos en *recursos del conocimiento*. En la segunda sección se pretende identificar aquellas fuerzas que actualmente condicionan la oferta mundial de madera. La sección tercera aborda el papel desempeñado por las plantaciones de producción intensiva en el nuevo contexto forestal mundial. En ella se presenta un marco analítico sencillo para identificar los impactos socioeconómicos y ambientales del desarrollo de este tipo de plantaciones para generar madera para uso industrial. El artículo termina con unas consideraciones generales sobre las ventajas e inconvenientes de los modelos de producción intensivos en el sector maderero.

## La sustitución de los recursos naturales por la tecnología en la producción de madera

Para comprender mejor la evolución histórica de la producción de madera para uso industrial, es preciso contemplar el proceso de transformación seguido, a lo largo del tiempo, por las producciones agrícolas y ganaderas. El origen de la agricultura y de la ganadería se remonta a más de 10.000 años, al iniciarse el proceso de domesticación y adaptación de plantas y animales que hizo posible la gradual sustitución de las actividades recolección-caza por las actividades cultivo de plantas-cría de animales, mucho más eficaces para satisfacer las necesidades humanas de alimentos. Hace ya tiempo que la agricultura y la ganadería han culminado este proceso, como muestra el hecho de que la práctica totalidad de la alimentación humana procede del cultivo y cría de un reducido número de especies vegetales y animales.

Por otra parte, al contemplar la evolución histórica de la actividad agrícola y ganadera, tiene interés recordar que, con anterioridad al comienzo del siglo XX, los incrementos en la producción de alimentos, de origen vegetal o animal, se debieron, casi en exclusiva,

al aumento de la superficie cultivada o a la extensión de los terrenos dedicados al pastoreo del ganado. Sin embargo, un siglo después, la práctica totalidad de los incrementos en las producciones agrícolas se debe a aumentos en la productividad de la tierra, esto es, a una mayor producción por unidad de superficie. En efecto, transcurridos miles de años con escasos aumentos en la productividad de los cultivos, a lo largo del primer tercio del siglo pasado, la agricultura mundial comenzó a experimentar incrementos espectaculares en sus rendimientos, inducidos por los avances en investigación científica<sup>1</sup>. En Estados Unidos, donde se iniciaron estos desarrollos tecnológicos, la superficie cultivada se ha reducido desde 350 millones de hectáreas en 1920 a 320 millones de hectáreas en 1995, mientras que la producción agrícola se ha triplicado en el mismo intervalo de tiempo (US Bureau of Census, varios años, citado por Sunding y Zilberman, 2001). Con determinadas variantes locales, esta situación también ha caracterizado a otros países desarrollados, entre los que se encuentra España. En definitiva, en poco más de un siglo, se ha completado la transición de un modelo de producción agrícola-ganadero basado, esencialmente, en la utilización de recursos naturales, principalmente el recurso tierra, hacia unos sistemas de producción agropecuarios intensivos en insumos industriales, semillas, fertilizantes, fitosanitarios, etc., fundamentados en los conocimientos de la ciencia (Ruttan, 2001).

El curso seguido a lo largo del tiempo por la producción de madera para uso industrial contrasta con la trayectoria marcada por la producción de alimentos. Históricamente la producción de madera ha sido esencialmente una actividad eminentemente recolectora. Una vez extraída la madera de una región se ha pasado a la siguiente, regresándose a la región inicial sólo en el caso de regeneración natural de las masas previamente recolectadas. Es conocido que las alteraciones del bosque por los seres humanos se remontan a épocas muy remotas. No obstante, el primer registro documental de prácticas de regeneración artificial del bosque en Europa data del siglo XIV (Power, 1999). En España existe conocimiento de ordenanzas municipales en las que se fomenta la recuperación de los bosques mediante la creación de nuevas masas forestales referidas al menos a 1497 (Gil Sánchez, 1999). Las plantaciones forestales con carácter sistemático empiezan a ser introducidas en Europa, de forma ge-

<sup>1</sup> Estos comenzarían por el maíz (Griliches, 1958) y posteriormente se fueron extendiendo a otros cultivos.

**Tabla 1.** Superficie forestal mundial, bosques naturales y plantaciones (2000)

Región	Bosques naturales	Plantaciones		
	(10 <sup>6</sup> ha)	(10 <sup>6</sup> ha)	(%)	(10 <sup>3</sup> ha/año)
África	642	8	1,2	194
Asia	432	116	26,8	3.500
América N. C.	1.007	18	1,78	234
América S.	532	10	1,87	509
Europa	875	32	3,65	5
Oceanía	194	3	1,54	50
Total	3.682	187	5,07	4.493

Fuente: Elaboración propia a partir de FAO (2001).

neralizada, a partir de mediados del siglo XIX (si bien en muchos casos se trató de repoblaciones protectoras), y los cultivos forestales con gestión intensiva (fuerte aportación de insumos industriales) no adquieren entidad hasta la segunda mitad del siglo pasado<sup>2</sup>. El resultado es que, a principios del siglo XXI, la gran mayoría de los bosques del mundo siguen proporcionando madera todavía como lo hacían siglos atrás, con crecimientos medios anuales del orden de dos metros cúbicos de madera por hectárea (Víctor y Ausubel, 2000).

La información sobre la existencia de cultivos forestales en el mundo es todavía insatisfactoria, tanto por problemas de definición del concepto de plantación forestal en sí como por las dificultades de obtener estadísticas precisas sobre este tipo de masas arbóreas. Las dificultades conceptuales surgen, entre otras razones, por el hecho de que entre la forestación y la regeneración no asistida de bosques naturales existe un amplio espectro de intervenciones humanas sobre el monte. La distinción entre plantación y bosque natural no es siempre nítida. Especialmente en las regiones templada y boreal, donde después de unas décadas, una masa procedente de forestación puede ser difícil de diferenciar de una masa natural, sobre todo si se trata de especies autóctonas, de ciclo largo. Asimismo, y a efectos de este artículo, interesa conocer

el fin de la masa plantada: bosque protector o bosque productor. Por regla general, el término plantación o cultivo forestal suele aplicarse a aquellas superficies cubiertas con una sola especie (autóctona o exótica) de ciclo corto, y con edad y densidad uniforme.

Desde hace unos años la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) viene desarrollando un extenso programa para generar una base de datos completa sobre las plantaciones forestales a escala mundial (<http://www.fao.org/forestry>). Fruto de este esfuerzo, ha sido posible realizar importantes avances en el conocimiento de la superficie, composición y distribución de las plantaciones forestales en el mundo. No obstante persisten todavía una serie de problemas que impiden un conocimiento adecuado de la situación. Como se apuntaba anteriormente, la definición de plantación forestal no es precisa, la información obtenida hasta ahora sobre este tipo de formaciones arbóreas es incompleta y aquella disponible no ha sido siempre recogida de forma sistemática (FAO, 2001)<sup>3</sup>.

La Tabla 1 presenta información sobre la situación actual de las plantaciones forestales en el mundo, recogida por la FAO en el año 2000 y publicada en el *Global Forest Resources Assessment 2000* (FAO, 2001), primera estimación global con una definición homogéneas de plantación forestal<sup>4</sup>. En el año 2000, el área

<sup>2</sup> Son muchas las publicaciones sobre la evolución histórica de las repoblaciones forestales en España. Una buena recopilación bibliográfica se encuentra en Sánchez Martínez y Gallego Simón (1993). Un trabajo reciente de interés es Serrada Hierro (1999).

<sup>3</sup> En el informe FAO más reciente (FAO, 2001) el término plantaciones o cultivos forestales se refiere a aquellas masas forestales establecidas mediante plantación o semilla en un proceso de forestación o reforestación. Estas masas pueden estar formadas por especies autóctonas o exóticas si bien deben cumplir los siguientes requisitos mínimos: ocupar una superficie de 0,5 hectáreas, una cubierta de al menos 10% y una altura de los árboles adultos superior a 5 metros. Debido a su creciente importancia como proveedor de fibra para la industria, la FAO ha añadido dentro del catálogo de plantaciones forestales a las plantaciones de caucho (*Hevea brasiliensis*), previamente contempladas como plantaciones agrícolas.

<sup>4</sup> Para un resumen de las principales conclusiones del Informe FAO 2000 (FAO, 2001) puede consultarse Carle *et al.* (2002). Véase también Matthews (2001).

total de plantaciones forestales en el mundo era de aproximadamente 187 millones de hectáreas, aproximadamente el 5% de la superficie forestal mundial. El crecimiento anual de las plantaciones en el mundo se estima torno a 4,5 millones de hectáreas ritmo superior al alcanzado en la década de los 90 a lo largo de la cual la tasa de crecimiento anual fue del 3%. La mitad de este incremento se debió a la forestación de terrenos no previamente forestales y la otra mitad a la conversión de bosques naturales. Asia, con 116 millones de hectáreas, posee el 62% de las plantaciones forestales mundiales y es en este continente, seguido por América del sur, donde se están produciendo los máximos crecimientos, en torno al 90% del total<sup>5</sup>.

En conjunto, las plantaciones forestales orientadas a la explotación comercial de madera (plantaciones industriales) representan el 48% del total de esta superficie, en torno a 90 millones de hectáreas; las plantaciones no industriales (leñas, conservación y protección) el 26%. Aunque la información disponible en 2000 mostraba aún un 26% de superficie en plantaciones sin un objetivo especificado, la tendencia observada en las dos décadas precedentes permite apreciar un crecimiento sostenido de las plantaciones con fines industriales las cuales han aumentado su participación al pasar de un 39% en 1980 a su citado nivel actual del 48%. La tendencia opuesta se detecta en el caso de las plantaciones no industriales (FAO, 2001).

La producción de madera producida en régimen de plantación supone un 22,2% de la producción de madera para uso industrial. Desgraciadamente, el informe FAO 2000 no proporciona información específica relativa a la superficie o producciones procedentes de plantaciones de ciclo corto y altos rendimientos. Sedjo (1999) ha estimado que, en torno a 1995, un 10% de la producción mundial de madera para uso industrial era generada en este tipo de plantaciones. En cualquier caso, sí parece posible afirmar que más del 70% de la madera extraída destinada a uso industrial procede de bosques no alterados o con alteraciones mínimas<sup>6</sup>.

A pesar de los problemas de definición y medición apuntados, los datos anteriores confirman que el proceso de transición de una producción de madera basada en el aprovechamiento de recursos naturales (reco-

lección) a una producción basada, cada vez mas, en la utilización de tecnologías fundamentadas en insumos de origen industrial (cultivo intensivo) se encuentra todavía lejos de finalizar, sí bien, si nos atenemos a las tendencias de crecimiento apuntadas, cabe esperar una transformación importante en los suministros de madera en las próximas décadas, invirtiendo la situación actual hacia la explotación de plantaciones de producción intensiva.

## Factores determinantes del actual proceso de intensificación forestal

El desigual ritmo de intensificación y tecnificación de la producción maderera respecto de la producción de alimentos de origen agrícola y ganadero obedece a diversas causas, y en concreto a dos rasgos distintivos del sector forestal, uno de carácter coyuntural y otro de naturaleza estructural.

El primero de ellos es que el tamaño relativo de las existencias madereras mundiales respecto a las necesidades humanas de este producto ha sido, por regla general, muy superior a la disponibilidad de alimentos. Ello no implica, sin embargo, que, a lo largo del tiempo, no se hayan sucedido numerosas situaciones de escasez relativa de madera en el mundo. Así, por ejemplo, ha sido señalado que, en el siglo XV, la sobre-explotación de los bosques llevó casi al colapso a algunas regiones europeas (Cramer, 1984, citado por Power, 1999) y que, en España, la degradación de los bosques ya era extensa en el siglo XVI (Gil Sánchez, 1999). Pero éstos y muchos otros déficit madereros ocurridos a lo largo de la historia han sido fenómenos regionales o nacionales (Sutton, 1999) y no de carácter global (mundial).

Un segundo rasgo distintivo del sector forestal que ha obstaculizado el proceso de intensificación de la producción de madera tiene que ver con la longitud de los ciclos productivos, tradicionalmente mucho más prolongados que en la producción de alimentos, de origen vegetal y animal. Este hecho distintivo de la producción de madera ha dificultado la incorporación de innovaciones tecnológicas al proceso productivo, en

<sup>5</sup> En FAO (2001) se indica específicamente que las superficies obtenidas de plantaciones forestales correspondientes a los países europeos están sesgadas a la baja ya que muchos de estos países no establecen la distinción en sus inventarios forestales entre plantaciones y masas semi-alteradas (páginas xxiv y 13, respectivamente).

<sup>6</sup> En España, las especies de crecimiento rápido ocupaban, en el año 2000, en torno al 7% de la superficie arbolada y producían un 45% de la madera destinada a usos industriales (MAPA, 2003).

particular aquellas de naturaleza biológica. El que los árboles tarden mucho más en alcanzar madurez sexual que los cultivos agrícolas anuales junto a problemas adicionales relativos a la mejora de especies arbóreas forestales ha dificultado tradicionalmente los programas de mejora forestal (Fenning y Gershenson, 2002).

Además de identificar los factores que han contribuido a configurar el sistema vigente de producción de madera en el mundo, también interesa conocer las causas que promueven su transformación actual y, en particular, aquellas fuerzas que están induciendo a la expansión de las plantaciones intensivas de madera en un gran número de países. El hecho determinante de esta expansión es que, por primera vez en la historia, la superficie forestal mundial se ha convertido en un recurso escaso, en el sentido de que existen múltiples demandas sobre esta superficie, tanto de carácter industrial (económico) como ambiental. Así, aunque a nivel global la humanidad no se ha visto aún constreñida por un déficit de madera generalizado, a diferencia de lo ocurrido en el pasado, el modelo actual de producción mundial de madera se está convirtiendo en un factor limitante para el desarrollo sostenible de las sociedades actuales.

Dos razones contribuyen a explicar esta nueva situación. La primera es que, en el transcurso del tiempo, la mayoría de los bosques mundiales han sido destruidos y convertidos a otros usos, principalmente a la producción de alimentos. Por otra parte, grandes extensiones de los bosques naturales restantes —que como se ha constatado proporcionan todavía la mayor parte de la producción de madera que abastece el mercado mundial— están siendo dedicados a otros fines (recreo, biodiversidad, paisaje fauna, etc.) (Sutton, 1999). En efecto, a medida que ha ido aumentando la percepción social respecto a la sobre-explotación de los recursos forestales a escala mundial, se han venido sucediendo actuaciones dirigidas a la protección y conservación de los bosques que restringen progresivamente su uso para la producción de madera. Por un lado se limitan cada vez más las áreas forestales destinadas al aprovechamiento maderero y por otro se aumentan las restricciones a la producción sobre las superficies restantes, lo cual suele encarecer los costes de extracción. Este contexto tiende a aumentar la ventaja comparativa en los mercados de la madera producida en régimen de plantación de producción intensi-

va en terrenos reforestados, respecto a la madera procedente de bosques naturales o semi-alterados<sup>7</sup>.

Un segundo fenómeno que contribuye a reforzar el presente proceso intensificación selvícola es la creciente posibilidad de incorporar nuevas tecnologías a los sistemas intensivos de producción forestal lo que está permitiendo acortar los turnos y reducir así las distancias entre los modelos de producción agrícola y maderero. Por otra parte, la creciente globalización de la economía mundial, con la consiguiente apertura de los mercados interiores a las producciones de otros países, exige cada vez mayores niveles de calidad y rendimientos en las producciones madereras nacionales para asegurar su competitividad frente al exterior. La consecución de estos objetivos requiere también de un intenso proceso de intensificación e innovación tecnológica en la producción de madera.

En síntesis, el binomio-deforestación-protección de zonas forestales, unido a la posibilidad de incorporar nuevas tecnologías a la producción forestal, en un entorno de mercados cada vez más globalizados contribuyen a la expansión de los cultivos forestales en el mundo. Veamos, a continuación, algunos de estos puntos con mayor detalle.

## La escasez de recursos forestales

La Tabla 2, basada en FAO (2001), muestra la superficie forestal mundial por regiones, así como la variación neta en el periodo 1990-2000. Sólo el continente europeo experimenta una variación positiva en superficie forestal en este intervalo de tiempo, el resto de los

**Tabla 2.** Superficie forestal mundial por regiones

Región	Superficie forestal (10 <sup>6</sup> ha)	% superficie bosques	Variación neta (10 <sup>6</sup> /ha/año)
África	650	17	-5,3
Asia	548	14	-0,4
América N.C.	549	14	-0,9
América S.	886	23	-3,7
Europa	1.039	27	0,9
Oceanía	198	5	-0,4
Total	3.869	100	-9,4

*Fuente:* Elaboración propia a partir de FAO (2001).

<sup>7</sup> Para una estimación de la superficie máxima que en España puede destinarse a producción forestal comercial véase (Gandullo Gutiérrez, (1980) y Gandullo y Serrada (1977).

continentes presenta variaciones negativas, destacando Africa con 5,3 millones de hectáreas año, seguida de América del sur con 3,7 millones de hectáreas año. En conjunto la tasa neta anual de pérdida de bosques, a lo largo de la década, fue de 9,4 millones de hectáreas<sup>8</sup>. Las 94 millones de hectáreas de bosque perdidas durante este período representan el 2% de la cubierta forestal mundial. Los efectos ambientales y económicos del avance de la deforestación mundial son ampliamente conocidos y han sido suficientemente tratados en multitud de publicaciones (véase, por ejemplo, Bryant *et al.*, 1997).

La segunda circunstancia que, como se ha señalado, impulsa el desarrollo de los cultivos forestales, es el aumento de las zonas forestales protegidas. La demanda de servicios ambientales de origen forestal está fuertemente correlacionada con los niveles de renta de la población de forma que a mayores niveles de renta se observa una mayor preferencia social por el consumo de este tipo de servicios. Por otra parte, el desarrollo de los aprovechamientos madereros puede entrar en conflicto con la oferta de servicios ambientales. El resultado de ambos procesos contrapuestos puede materializarse en un desajuste entre la oferta y la demanda de los servicios ambientales forestales que puede, a su vez, conducir y de hecho así lo ha sido, a la intervención pública en este mercado regulando, por un lado, las prácticas selvícolas y en otros casos limitando las superficies forestales que pueden ser objeto de explotación comercial de madera. La confluencia de ambos tipos de intervención contribuye al aumento de los costes de extracción y ello supone una presión al alza de los precios de la madera (Binkley, 1999).

Según estimaciones de la FAO (FAO, 2001) en el año 2000 el área forestal mundial en régimen de protección representaba un 12,4% de la superficie forestal mundial, aproximadamente 480 millones de hectáreas. La mayor parte de esta superficie se corresponde con bosques tropicales y templados, siendo relativamente pequeña la extensión de bosque boreal bajo protección. En, en el periodo 1970-1990, la superficie protegida aumentó en casi un 140% (FAO, 1997) y la evidencia disponible indica que el crecimiento en la superficie de bosques objeto de protección legal aumenta a una tasa creciente con el paso del tiempo.

Por otra parte, alrededor del 2% de los bosques mundiales se encontraban en 2000 bajo algún tipo de certificación. Hoy la mayoría de los países participan en

alguna iniciativa internacional relacionada con la gestión sostenible. Alrededor de 150 países están colaborando en 9 iniciativas internacionales para desarrollar e implementar criterios e indicadores de manejo forestal sostenible. Asimismo, las superficies sujetas a planes de ordenación están aumentando. Al menos el 6% de la superficie de bosques en los países en desarrollo está cubierta por algún plan de ordenación nacional. El 90% de los bosques, en muchos países desarrollados, se gestiona de acuerdo a un plan de gestión formal o informal (FAO, 2001). Las evidencias dispersas sobre las repercusiones de la ordenación forestal sostenible muestra una reducción en el volumen de extracción, especialmente a corto plazo, y una incidencia al alza de los costes de producción de madera que oscila entre el 5 y el 25%, en promedio (FAO, 1997)<sup>9</sup>.

### Disponibilidad de tecnología

Aunque algunos descubrimientos científicos se producen de forma aleatoria sin estrecha relación con la realidad física, desde el campo de la economía se han propuesto teorías empíricamente contrastables que relacionan el surgimiento de las innovaciones tecnológicas con las condiciones socioeconómicas. La teoría de la innovación inducida de Hayami y Ruttan (1985) proponen que la búsqueda de innovaciones es una actividad económica, y que la mayoría de las innovaciones suelen generarse en respuesta a situaciones de escasez de recursos y ante la existencia de nuevas oportunidades económicas. Por ejemplo, la escasez y encarecimiento relativo de la mano de obra incentiva la aparición de innovaciones mecánicas ahorradoras de este factor de producción. Análogamente, la aparición de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente se acelera ante la imposición de restricciones ambientales más severas en los procesos productivos.

En la agricultura la transición hacia sistemas de producción más intensivos ha sido consustancial al aumento de la densidad de la población y al encarecimiento relativo de los factores tierra y trabajo con respecto a los insumos de fabricación industrial, bienes intermedios y de capital, respectivamente. La necesidad de sustituir una mano de obra cada vez más cara, así como el interés por lograr rendimientos agronómicos más elevados, ha impulsado los sistemas ac-

<sup>8</sup> Para una discusión sobre la fiabilidad de estas estimaciones, véase Matthews (2001).

<sup>9</sup> Ver otras estimaciones en Sedjo (1999).

tuales de producción agrícolas. Algo similar ha sucedido con la producción pesquera. El aumento de la demanda de consumo de pescado ha incrementado enormemente el nivel de capturas lo que, a su vez, ha encarecido fuertemente este tipo de alimentos, al tiempo que se ha encendido la alarma sobre la posible extinción de algunas de sus especies. Todo ello ha desencadenado una serie de incentivos económicos para desarrollar nuevas tecnologías en el campo de la acuicultura y manejo de los recursos marinos.

La incorporación de las tecnologías mecánicas en los procesos de extracción de madera para hacer frente al encarecimiento de la mano de obra ha sido una constante a lo largo del tiempo. Pero el avance de la tecnología mecánica no ha tenido su reflejo en el desarrollo de tecnologías biológicas y químicas sustitutivas del factor tierra, dada la relativa abundancia de este factor de producción en el pasado. El nuevo contexto forestal mundial induce a pensar en un aumento de los incentivos económicos para la introducción de este tipo de innovaciones tecnológicas en el sector productor de madera para uso industrial.

La existencia de incentivos económicos para el desarrollo de nuevas tecnologías no es, sin embargo, una condición suficiente para que éstas puedan generarse, difundirse y aplicarse en un determinado sector de producción. Para ello resulta necesario que se produzcan avances científicos que proporcionen el fundamento técnico de las nuevas innovaciones. Dentro de los nuevos avances científico-técnicos, con potencial aplicación a la producción intensiva de madera, se encuentran el desarrollo de la biotecnología forestal, así como los desarrollos recientes de las tecnologías de la información relacionadas con el uso de ordenadores y tecnologías de satélite.

En las pasadas décadas se han venido desarrollando *tecnologías de precisión* en la agricultura que pueden ser potencialmente aplicadas a los cultivos forestales. Estas tecnologías permiten ajustar la utilización de insumos en el espacio y el tiempo, y reducir la generación de residuos, con un impacto beneficioso sobre el medio ambiente. Por otra parte, la relativa lentitud de los programas de mejora genética forestal, apuntada más arriba, se está viendo alterada recientemente por los modernos avances en las ciencias biológicas que permiten la identificación de genes y el desarrollo de árboles con características superiores, mediante métodos de mejora tradicional, a lo que habría que añadir el impacto po-

tencial de la aplicación de técnicas de ingeniería genética. Aunque las posibilidades de la biotecnología forestal son grandes, algunas de las aplicaciones de la biotecnología, en concreto el desarrollo de organismos genéticamente modificados (OGM), se enfrentan a problemas de aceptación por parte del público que manifiesta una preocupación por sus posibles efectos (Kaiser, 2001). En efecto, el desarrollo de OGM es visto con preocupación en muchas organizaciones medioambientales y, actualmente, el sistema de certificación FSC prohíbe todos los usos de árboles genéticamente modificados (FSC, 1999; Strauss *et al.*, 2001; Cauley, 2001). El intenso debate sobre los impactos de la aplicación de los productos de la ingeniería genética forestal escapa, sin embargo, del ámbito de este trabajo<sup>10</sup>. Finalmente, tampoco puede olvidarse el potencial tecnológico disponible para su incorporación a los sistemas de cultivos forestales en lo que podríamos llamar innovaciones tecnológicas más «tradicionales» ya sean de carácter mecánico, biológico, químico y de gestión (Sedjo, 1999).

## Efectos económicos y ambientales de las plantaciones intensivas

El acelerado proceso de disminución de la superficie forestal mundial, cuya realidad se reflejaba en la Tabla 1, obedece a un complejo entramado de intereses y presiones, económicas y sociales. Entre las causas más significativas encontramos la conversión de bosques en terrenos agrícolas, los incendios y el aumento en el aprovechamiento de leñas y otros productos del bosque para consumo doméstico, pero tampoco resulta ajena a este contexto la práctica de una gestión forestal inadecuada orientada, en muchos casos, a producir madera con fines comerciales.

Desde el ámbito forestal no resulta posible actuar sobre todas las causas que inducen a la deforestación, en especial sobre aquellos factores que determinan los requerimientos de tierra para la producción de alimentos o sobre aquellas otras presiones sobre los recursos forestales que emanan de la extrema pobreza rural que caracteriza a muchas regiones del mundo, fuente principal de la deforestación en muchos países. Pero es evidente que la situación e incentivos generados por el mercado mundial de madera ejercen una incidencia directa sobre el proceso de destrucción y degradación de muchos sistemas forestales mundiales. Resulta por tan-

<sup>10</sup> Entre otras muchas fuentes, puede consultarse Strauss y Bradshaw, 2001.





de forma esquemática los efectos sobre el mercado mundial de madera asociados a la disminución de los costes de producción de madera generados por el desarrollo de las plantaciones forestales. A la figura original se le han incorporado las externalidades ambientales negativas que comporta la explotación de bosques de alto valor ecológico.

Se parte de una situación caracterizada por la ausencia de plantaciones forestales con un modelo productor de madera fuertemente sesgado hacia la explotación de bosques naturales y semi-alterados, a cuyo valor comercial se une un alto valor ambiental no recogido por las fuerzas del mercado. La tala de estos bosques supone una pérdida de biodiversidad, y otros daños ambientales que son considerados como costes por gran parte de la sociedad pero que no son contemplados, necesariamente en su totalidad, en la decisión de proceder a su explotación. En este caso, el coste social de la explotación de la madera es mayor que el coste privado percibido por las empresas madereras y nos encontramos en presencia de externalidades negativas<sup>13</sup>. La externalidad puede ser soportada por los ciudadanos del país o región donde se produce la explotación, pero no necesariamente por los consumidores o productores de madera. En otros casos, como la pérdida de biodiversidad o el calentamiento global, la externalidad es sufrida también por ciudadanos de otros países.

En un determinado periodo de tiempo el volumen de madera para uso industrial vendría dado por la intersección de la oferta  $O$  (el coste marginal privado,  $CMgP$ ) y la demanda  $D$ , en el punto  $e_0$ . En esta situación el precio de la madera es  $P_0$  y la cantidad producida  $Q_0$ . Si incorporamos al análisis las externalidades ambientales negativas asociada a la producción de madera en este contexto, el coste marginal social de producir madera puede representarse por la recta  $CMgS$ , situada por encima de la curva de oferta  $S$ , a una distancia  $E$  que indica el valor del coste externo unitario, esto es, el valor de la externalidad por unidad de producción maderera. La existencia de externalidades supone un exceso de producción de madera sobre el ni-

vel de producción óptima, igual a la diferencia entre  $Q_0$  y  $Q_x$ <sup>14</sup>. Esta situación genera un coste social neto igual al triángulo  $e_0bg$ . El coste total de la externalidad es igual a  $E$  por el número total de unidades producidas  $Q_0$  lo que equivale al paralelogramo  $dfbe_0$ <sup>15</sup>. Como simplificación se ha supuesto una externalidad unitaria constante  $E$  lo que implica que las rectas que representan a la oferta y al  $CMgS$  son paralelas.

La expansión de las plantaciones forestales intensivas con inferiores costes de producción viene representado en la Figura 1 por el segmento  $aO'$ . Observamos que, por encima del precio  $P_1$ , las plantaciones proporcionan un suministro prácticamente ilimitado de madera industrial relativamente más barato que el proporcionado por los bosques naturales. La disponibilidad de la madera de plantación llevaría al mercado a un nuevo equilibrio representado en el punto  $e_1$ , caracterizado por un precio inferior,  $P_1$ , y un mayor volumen de madera  $Q_1$ . En este nuevo equilibrio del mercado, el volumen de madera procedente de los bosques naturales se ve reducido, respecto a la situación anterior, en la cantidad correspondiente al segmento  $Q_0Q_1'$ , debido a que la madera obtenida en las plantaciones, a un coste más bajo, desplaza del mercado a una parte de la madera procedente de bosques naturales. Esta sustitución de la madera «natural» por la madera de cultivo supondría además una disminución en la externalidad ambiental total asociada a la producción de madera, equivalente al área  $cae_0b$ <sup>16</sup>.

La futura incorporación de mejoras tecnológicas en los sistemas de plantación debería contribuir a generar nuevas reducciones de costes de producción en el futuro desplazando aún más abajo el tramo  $aO'$  de la curva de oferta de madera, como se indica en la Figura 2<sup>17</sup>. La nueva oferta de madera sería ahora  $dkO''$  y, en ausencia de cambios en la demanda, el equilibrio del mercado vendría dado por  $e_2$ , con un nivel de producción  $Q_2$  y un nivel de precios  $P_2$ . El cambio tecnológico en las plantaciones produce los siguientes efectos: un mayor volumen de madera a precios más bajos, con un incremento neto en el bienestar igual al área

<sup>13</sup> Una externalidad surge cuando las acciones de un agente económico afectan a las oportunidades económicas de otro agente y esta situación no es compensada totalmente por las transacciones del mercado.

<sup>14</sup>  $Q_x$  representa el nivel de producción óptima que iguala el  $CMgS$  de producción de madera con la curva de demanda que representa el valor marginal social ( $VMgS$ ) de dicha producción.

<sup>15</sup> No obstante parte de esta externalidad es contrarrestada por la suma de excedentes (consumidor y productor) igual al área triangular  $e_0hg$  debido a la producción adicional  $Q_0-Q_x$ .

<sup>16</sup> Si bien la ganancia neta supondría sumar a esta superficie el área  $ae_0e$ , que supone el cambio en el bienestar asociado a las operaciones del mercado de la madera.

<sup>17</sup> También adaptada de Sedjo (2003).

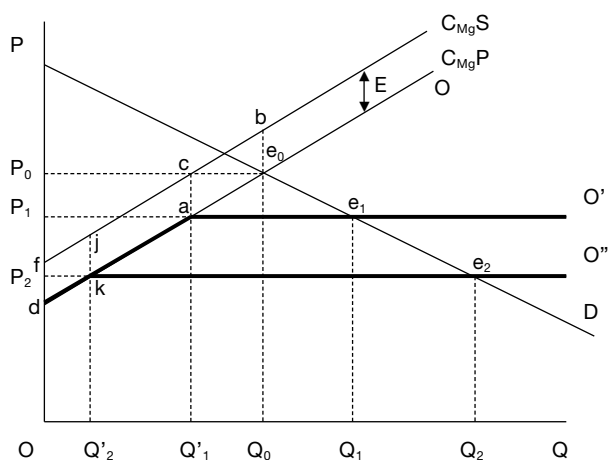


Figura 2. Efectos del cambio tecnológico en las plantaciones.

kae<sub>1</sub>e<sub>2</sub>. Una disminución adicional de la extracción de madera en los bosques naturales, igual al segmento Q'<sub>1</sub>Q'<sub>2</sub> y, por último, una reducción adicional asociada de la externalidad total igual al área jkac.

La disminución de costes privados de extracción de madera y la consiguiente reducción de las externalidades asociadas a esta actividad suponen una ganancia social neta al nivel mundial vía reducciones de precios de la madera y mejoras ambientales. Sin embargo, el proceso de sustitución de las plantaciones naturales por los cultivos forestales con gestión intensiva no está exento de problemas (véase Tomberlin y Buongiorno, 2001). En primer lugar cabe apuntar la posible generación de importantes efectos redistributivos entre el sector productor a escala mundial. Las condiciones para el desarrollo efectivo de plantaciones no se distribuyen de forma homogénea en los actuales países productores de madera. Por tanto su desarrollo podría originar una mayor especialización internacional en la producción de madera. De producirse el proceso descrito en las figuras 1 y 2, los cultivos forestales podrían desplazar la ventaja comparativa en la producción de madera de aquellos países o regiones con grandes extensiones de bosques naturales o semi-alterados a aquellos otros países que reúnen las condiciones (clima, suelo bajos costes) para expandir la superficie de plantaciones, como Brasil, Chile, Nueva Zelanda, etc. Además, la ventaja comparativa de las plantaciones sobre los bosques naturales podría aumentarse mediante la mejora de especies arbóreas, el uso de clones y mejoras en las prácticas selvícolas. No obstante, aquellos países con condiciones no apropiadas para el desarrollo de las plantaciones seguirán apoyándose en bosques naturales.

Por otra parte, el tamaño de las trozas y las propiedades de la madera pueden obstaculizar la sustitución de madera procedente de plantaciones por madera de bosques naturales (la mayoría de las plantaciones recientes se orientan a la producción de pasta). Pero a medio o largo plazo cabe esperar avances tecnológicos pueden reducir este problema (Strauss y Bradshaw, 2001).

A estos obstáculos técnicos habría que añadir otros de carácter ambiental, sobre todo la necesidad de mantener a largo plazo la productividad del suelo en las plantaciones de madera sometidas a gestión intensiva. La dirección y magnitud de los impactos de las plantaciones sobre la calidad del suelo y el crecimiento de las masas dependerá de la aplicación de prácticas de gestión acordes con las propiedades específicas de los lugares donde se desarrollan los cultivos (Evans, 1999; Fox, 2000). Por otra parte, las plantaciones requieren el uso de herbicidas y fertilizantes, y podrían surgir conflictos con el actual proceso de certificación.

Finalmente, las ventajas anteriormente apuntadas asociadas a las plantaciones intensivas de madera prácticamente se anularían si éstas se localizan en zonas previamente ocupadas por bosques naturales. Además, se ha apuntado también que, en ausencia de protección efectiva a este tipo de bosques, el aumento de la producción de la madera de plantación reduciría el valor de las masas naturales y ello podría acelerar su conversión a otros usos, agrícolas (Tomberlin y Buongiorno, 2001).

## Conclusiones

El acelerado proceso de disminución de la superficie forestal mundial obedece a un complejo entramado de intereses y presiones, económicas y sociales, del que no resulta ajena la práctica de una gestión forestal inadecuada, orientada a producir madera con fines comerciales. Aunque, a nivel global, la humanidad no se ha visto aún constreñida por un déficit de madera generalizado, a diferencia de lo ocurrido en el pasado, el modelo actual de producción mundial de madera se está convirtiendo en un factor limitante para el desarrollo sostenible de las sociedades actuales. El hecho determinante es que, por primera vez en la historia, la superficie forestal mundial se ha convertido en un recurso escaso, en el sentido de que existen múltiples demandas sobre esta superficie, tanto de carácter industrial (económico) como ambiental.

Para reducir los efectos negativos asociados al sistema mundial de producción de madera industrial es

necesario equilibrar la demanda global de este producto con una oferta mundial sostenible del mismo. Actualmente más del 70% de la madera destinada a usos industriales procede de bosques naturales o con alteraciones mínimas, a cuyo valor comercial se une un alto valor ambiental, no recogido por las fuerzas del mercado.

En este artículo se ha analizado la tesis que propone que el uso más eficiente de los recursos y tecnologías forestales disponibles para la producción de madera industrial podría asegurar que, en un horizonte de algo más de una generación, una gran parte de las necesidades mundiales de madera industrial podrían satisfacerse a partir de una superficie, relativamente pequeña, de plantaciones forestales gestionadas de forma intensiva. De alcanzarse este objetivo, se habría logrado disminuir parte importante de las presiones que, desde hace tiempo, vienen sufriendo los recursos forestales mundiales y, en especial, aquellos bosques que cuentan con un mayor valor ecológico, como es el bosque tropical.

La existencia de potentes fuerzas económicas y sociales, así como el estado y evolución de los conocimientos científicos favorecen hoy, más que en ningún tiempo pasado, el desarrollo de sistemas intensivos de producción de madera. El fenómeno de la deforestación a escala mundial no es un problema de raíz estrictamente forestal. Dadas las múltiples causas de la deforestación, la producción intensiva de madera no puede solucionar, por sí sola, el problema pero sí puede contribuir a disminuirlo.

Las plantaciones forestales con manejo intensivo pueden contribuir a reducir las presiones sobre los bosques naturales en aquellas zonas donde la extracción no sostenible de madera es la causa principal de la degradación del bosque y donde la construcción de vías de comunicación, relacionadas con la explotación comercial de la madera, facilita el acceso a nuevas zonas lo que puede conducir a acelerar el proceso de deforestación. En este contexto el papel de la tecnología forestal resulta especialmente relevante, al ser el principal instrumento disponible para elevar los rendimientos madereros y reducir los costes de producción, en aquellas masas forestales tradicionales o de nueva implantación cuyo aprovechamiento no obstaculice la satisfacción de las nuevas y crecientes demandas sociales sobre los bosques.

En este artículo se ha presentado un sencillo marco analítico que permite deducir una ganancia social neta mundial asociada a la expansión de las plantaciones

forestales con gestión intensiva, siempre que éstas no procedan de la conversión de las actuales masas naturales o semi-alteradas. Aún así, el proceso de intensificación en la producción de madera mundial no está exento de problemas técnicos, redistributivos y ambientales, algunos inevitables y otros cuya resolución requerirá especial atención y esfuerzo. En cualquier caso, el mayor problema no es tanto lo que ocurrirá dentro de las plantaciones, sino lo que sucedería en el resto de los bosques en ausencia del proceso de expansión de los cultivos forestales.

## Agradecimientos

Los profesores Luis Díaz Balteiro y Carlos Romero han aportado valiosos comentarios y sugerencias a versiones anteriores de este trabajo. No obstante los posibles errores que puedan encontrarse son de exclusiva responsabilidad del autor.

## Referencias bibliográficas

- BINKLEY C.S., 1999. Forestry in the next millennium: challenges and opportunities for the USDA Forest Service. Discussion Paper 99-15, Resources for the Future, Washington DC.
- BRYANT D., NIELSEN D., TANGLEY L., 1997. The last frontier forests-ecosystems and economics on the edge. World Resources Institute, Washington CD, 42 pp.
- CARLE J., VUORINEN P., DEL LUNGO A., 2002. Status and trends in global forest plantations development. Forest Products Journal 52, 12-23.
- CAULEY H., 2001. Genetic Engineering. FSC says risks are still too great. Journal of Forestry, December, 8-9
- FAO, 1997. Modelo de suministro mundial de fibra. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 25 pp.
- FAO, 2001. Global forest resources assessment 2000. Main report. Food and Agriculture Organization. Rome, 479 pp.
- FENNING T.M., GERSHENZON J., 2002. Where will the wood come from? Plantation forest and the role of biotechnology. Trends in Biotechnology 20(7), 291-296.
- FOX T.R., 2000. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. Forest Ecology and Management 138, 187-202.
- FSC, 1999. GMOs: Genetically modified organism: Draft position for FSC Forest Stewardship Council, 10<sup>th</sup> March 1999.
- GANDULLO GUTIÉRREZ, J.M., 1985. Productividad potencial forestal, El Campo 98, 17-20.
- GANDULLO J.M., SERRADA R., 1977. Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular. Instituto de Investigaciones Agrarias, Madrid, 23 pp.

- GIL SÁNCHEZ L., 1999. La transformación histórica del paisaje: La permanencia y la extinción local del pino piñonero. En: Los montes y su historia. Una perspectiva política, económica y social. Universidad de Huelva, Huelva, pp. 151-196.
- GRILICHES Z., 1958. Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations. *Journal of Political Economy* 66, 419-431.
- HERRUZO A.C., 2003. Una Introducción al análisis económico de la tecnología forestal. En: Lecciones de Economía Forestal. Universidad de Huelva, Huelva, pp. 29-51.
- HAYAMI Y., RUTTAN V.W., 1985. Agricultural development: An internacional perspectiva. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 542 pp.
- KAISER J., 2001. Word (and axes) fly over transgenic trees. *Science* 92, 34-36.
- MATTHEWS E., 2001. Understanding the FRA 2000. World Resources Institute, Forest Briefing N° 1. URL: <http://www.wri.org>.
- MAPA, 2003. Anuario de Estadística Agroalimentaria, 2001. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, 457 pp.
- POWERS R.F., 1999. On sustainable productivity of planted forests. *New Forest* 17, 263-306.
- RUTTAN V.W., 2001. Technology, growth, and development. An induced innovation perspective. Oxford University Press, New York, 656 pp.
- SALES C., 2001 La innovación tecnológica en el sector maderero. *Unasyuva* 52, 63-69
- SÁNCHEZ MARTÍN J.D., GALLEGO SIMÓN V.S., 1993. La política de repoblación en España, siglos XIX y XX: Planteamientos, actuaciones y resultados, estado de la cuestión y recopilación bibliográfica. MAPA-Universidad de Jaén, Jaén, 203 pp.
- SEDJO R.A., 1999. Land use change and innovation in US forestry. En: Productivity in natural resource industries. Resources for the Future, Washington DC, pp. 141-174.
- SEDJO R.A., 2003. Tree Biotech: Regulatory and economic issues. 7th ICABR Internacional Conference on Public Goods and Public Policy for Agricultural Biotechnology, Revello, Italy.
- SERRADA HIERRO R., 1999. Repoblaciones y restauración hidrológica-forestal. Introducción, en Ciencias y Tecnologías Forestales. 150 años de aportaciones de los Ingenieros de Montes. Fundación Conde del Valle Salazar, Madrid, pp. 161-177.
- SUTTON W.R.J., 1999. The need for planted forests and the example of radiata pine. *New Forest* 17, 95-109.
- SUNDING D., ZILBERMAN D., 2001. The agricultural innovation process: research and technology adoption in changing agricultural sector. En: Handbook of Agricultural Economics, Volume 1, Elsevier Science, Amsterdam, pp. 207-261.
- STRAUSS S.H., BRADSHAW H.D., 2001. Proceedings of the First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of Transgenic Plantations, College of Forestry, Oregon State University, pp. 219. [www.fsl.orst.edu/iufro2001/eproc.pdf](http://www.fsl.orst.edu/iufro2001/eproc.pdf)
- STRAUSS S.H., CAMPBELL M.N., PRYOR S.N., COVENTRY P., BURLEY J., 2001. Plantation certification & genetic engineering. FSC's ban on research is counter-productive. *Journal of Forestry*, December, 4-7.
- TOMBERLIN D., BUONGIORNO J., 2001. Timber plantations, timber supply and forest conservation. En: World forests, markets and policies. Kluwer Academic Press, Dordrecht, pp. 85-94.
- VÍCTOR D.G., AUSUBEL J.H., 2000. Restoring forest. *Foreign Affairs* 79, 127-144.