

# ANTE UN CAMBIO CLIMÁTICO: PAPEL DE LOS MONTES ARBOLADOS Y LOS PRODUCTOS FORESTALES EN LA RETENCIÓN DEL CARBONO

**J. A. PARDOS**

Dpto. de Silvopascicultura. ETS de Ingenieros de Montes.  
Universidad Politécnica de Madrid. ESPAÑA.

## RESUMEN

Tras una introducción sobre los distintos signos del posible cambio climático acelerado por el incremento de los niveles atmosféricos de los gases de efecto invernadero y su influencia sobre el deterioro de las masas forestales, detectado años pasados, se recogen datos bibliográficos sobre la absorción y retención de carbono en los montes arbolados, con especial referencia a los bosques de Europa, incluyendo una estimación para las masas arbóreas de España, y resaltando el papel del llamado sumidero desconocido. Se subraya, finalmente, la importancia de la repoblación forestal y de la madera, en sus diversos usos, como sumideros de carbono

**PALABRAS CLAVE:** Balance del carbono  
Masas forestales  
Forestación  
Productos maderables

## INTRODUCCIÓN

El clima de la Tierra ha estado sometido a una gran variedad de fenómenos naturales que, con efectos a corto y a largo plazo, han conducido a importantes cambios de temperatura, a escalas de tiempo desde millones de años a varios siglos. Cambios a los que, en última instancia, y a pesar de la enorme capacidad de los ecosistemas forestales de persistir cierto período de tiempo en desequilibrio con el clima, han acabado en muchos casos provocando la migración de especies, cuando no su desaparición.

Numerosos y controvertidos, son los datos y pruebas científicas sobre la existencia o no del cambio climático; algunas de los cuales (seca de la encina, debilidad en la fauna autóctona) han sido puestos de manifiesto en la Península Ibérica (Montoya Oliver, 1995). Sin embargo, no es tanto la magnitud del cambio como la velocidad con que puede producirse, o con la que se está produciendo, lo que tiene ahora una significación especial. Algunas estimaciones predicen que en los próximos 200 a 500 años pueden producirse cambios superiores a los en otros tiempos acaecidos en 10.000 años y que los rangos y abundancia de algunas especies pueden verse desplazados de 500 a 1 000 km en dicho período: bastaría que se duplicase la concentración actual de CO<sub>2</sub> para que se pudiera producir un

desplazamiento altitudinal ascendente de 700 a 900 m en función de las especies (Perry, 1994).

Sólo durante este siglo la temperatura media anual global ha subido 0.5 °C, incremento que se ha relacionado con el aumento de la concentración en la atmósfera de los denominados gases de invernadero. Parecen no existir demasiadas dudas al afirmar que el uso masivo de combustibles fósiles, junto con la deforestación y la agricultura, están cambiando la composición química de la atmósfera. Las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> son mucho mayores que durante miles de años atrás y, si no se ponen drásticas medidas, pueden seguir aumentando.

Modelos tridimensionales de simulación sugieren un aumento de temperatura entre 2.1 y 4.6 °C al doblarse la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en función no sólo de la cantidad emitida y la tasa de emisión, sino del tiempo de permanencia y de la capacidad de absorción de gases por los distintos sumideros (Agitan et al, 1996). Sin embargo, existe gran incertidumbre sobre la sensibilidad de los modelos productivos sobre el clima; y se ha postulado que si, a tenor de la tasa de emisión actual, se alcanza la previsible cifra de 750 ppm de CO<sub>2</sub> en 100 años, llegaría a cesar la circulación de calor en el océano Atlántico, lo que provocaría un descenso térmico en las aguas profundas, un aumento en las superficiales y el consiguiente aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico y, a través de este mecanismo de retroalimentación, conduciría a una nueva desestabilización de la circulación térmica oceánica; aspectos relevantes en la toma de decisiones (Stocker y Schmittner, 1997).

Cualquiera que sean los agentes perturbadores del clima, sus efectos, cuantía e interrelaciones así como la persistencia de su acción, se ha preconizado la necesidad de una reacción forestal y política ante el posible cambio, cuya naturaleza y modo de aplicación pueden ser muy diferentes entre regiones. En este sentido se dirigen las investigaciones sobre el desarrollo de metodologías espacio-temporales en un contexto de diagnosis fitoclimática, cuya aplicación permita poner en práctica técnicas de amortiguamientos polivalentes y/o diversificados ante la incertidumbre de los cambios climáticos futuros (Allué, 1995).

## **BALANCE DEL CARBONO Y PAPEL DE LOS MONTES ARBOLADOS**

Los bosques naturales cubren alrededor de 3.400 millones de has, de las cuales el 52 % se encuentran en latitudes bajas, un 30 % son bosques boreales y el resto, un 18 %, corresponde a la zona templada (FAO, 1995).

Los árboles son sumideros de CO<sub>2</sub> y los ecosistemas forestales juegan un importante papel no sólo como tales sumideros, sino también por su influencia en el clima. Así, se ha estimado que la deforestación completa de la selva amazónica aumentaría en 2°C la temperatura en superficie y reduciría las precipitaciones en un 20 % (Wilson, 1989)

Al proceso de asimilación del carbono por parte de las plantas a lo largo de su ciclo vital hay que añadir la retención del carbono fijado en los productos

obtenidos, que puede prolongarse hasta siglos en la madera y corcho, en función de usos. De ahí la importancia de los montes, sobre todo arbolados, en la retención o “secuestro” de carbono, cifrable en 12 a 15 % de las proyectadas emisiones de combustibles fósiles durante los próximos 50 años. El tipo de monte y la especie, de crecimiento lento o rápido, conífera o latifoliada, influirán en la tasa de carbono almacenado (Gates et al, 1983); lo que deberá tenerse en cuenta en la toma de decisiones para una gestión selvícola.

Se estima en  $7.1 \times 10^9$  toneladas el carbono que se incorpora anualmente a la atmósfera, de las cuales  $5.5 \times 10^9$  corresponden a emisiones industriales. El resto,  $1.6 \times 10^9$  son debidas a la deforestación y otros usos de la tierra en países del trópico. Sólo en la selva amazónica de Brasil la estimación más optimista ha cifrado en 1.1 millones de ha. año<sup>-1</sup> la superficie de bosques perdida en 1992 (Skole y Tucker, 1993) y el Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC, 1995) estima que el aumento de población en los países tropicales conducirá a una tasa anual de deforestación para el año 2025 de 20 millones de hectáreas.

Puede admitirse que tanto el carbono emitido como el oxígeno consumido por deforestación y otros usos de la tierra, se compensan con el secuestrado por los sumideros terrestres, con lo que el balance de la superficie terrestre sería nulo. La cuantía presumible de los sumideros de este carbono se cifra en  $3.4 \times 10^9$  tm para la atmósfera,  $2.0 \times 10^9$  tm para los océanos, y el resto,  $1.7 \times 10^9$  tm, para los dos sumideros terrestres:  $0.7 \times 10^9$  tm absorbibles por los ecosistemas forestales y alrededor de  $10^9$  tm correspondería a lo que se ha venido en llamar “el sumidero desconocido” o “perdido”, presumiblemente terrestre (Cannell, 1995).

Los bosques en latitudes altas (Rusia y Canadá), con alrededor de la cuarta parte de la biomasa forestal mundial, y los existentes en latitudes medias (Estados Unidos, Europa, China y Australia), con un 16 %, son el segundo sumidero terrestre de carbono (Dixon, 1994). Es en estos últimos donde, a pesar de los incendios, aumenta globalmente la superficie de montes arbolados por forestación y, dada su baja a mediana edad, es presumible una prolongada acumulación de carbono.

En Europa se ha estimado en 5 M ha la superficie repoblada entre 1950 y 1990 (Kuusela, 1994). Si a ello se añade que el volumen de cortas no cubre la posibilidad de muchos montes y que, al menos en Europa central y occidental, se aprecia un aumento de crecimiento de las principales especies forestales, es predecible un incremento de existencias en las próximas décadas, si bien esta tendencia no es generalizable a todo el continente (Spiecker et al, 1996). Habría, no obstante, que considerar un sustraendo que incorporara la superficie destruida por incendios, considerable en el Sur del continente (Vélez, 1995); así como las masas afectadas, por el complejo “sequía, temperaturas elevadas, plagas, caza y pastoreo”, cuyo conjunto, en unión con la contaminación atmosférica ha venido causando un importante deterioro en muchos montes arbolados (CEC, 1996).

La importancia relativa de los montes arbolados en el secuestro de carbono dependerá también de la cuantía de las emisiones: por ejemplo, las tasas de retención de carbono en los bosques de Finlandia y Alemania alcanzan cifras muy semejantes, de 5.0 y 5.5 tm/año respectivamente; sin embargo, mientras que para

el primer país citado representa el 28 % de la emisión de carbono por combustibles fósiles, para Alemania sólo supone el 2 % (Bran et al, 1995).

En España se cifra en  $5200 \times 10^3$  ha la superficie forestal ocupada por coníferas y  $6000 \times 10^3$  ha por frondosas, con un crecimiento medio anual de volumen maderable de 2,04 y  $0,67 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  respectivamente (ICONA, 1994). Para las coníferas ello equivaldría aproximadamente a un incremento de biomasa, en peso seco, de  $0,6 \text{ tm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , lo que supondría unas  $0,25 \text{ tm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  de carbono retenido; cantidad a la que habría que añadir la correspondiente a ramas, acículas y raíces, estimable en un 40 % de la cifra anterior, lo que daría un total de  $0,35 \text{ tm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . Asumiendo, proporcionalmente, para las frondosas un valor de  $0,20 \text{ tm} \cdot \text{ha}^{-1}$ , podría estimarse en unos 3 millones de toneladas de carbono por año para el conjunto de los montes arbolados. A dicha cantidad habría que añadir el carbono que de la materia orgánica, procedente de los detritus vegetales y animales, se va acumulando en el suelo.

Estas cifras son muy estimativas, ya que el estado del ciclo vital de las masas —jóvenes, procedentes de la regeneración tras incendios o nuevas repoblaciones; versus maduras por reducción de pies cortables— determinará la sostenibilidad del secuestro de carbono, mayor en las primeras que en las segundas.

## EL SUMIDERO DESCONOCIDO

El aumento de la temperatura, la fertilización de la vegetación por el  $\text{CO}_2$  y la influencia del nitrógeno incorporado antrópicamente constituyen los tres candidatos mayoritarios a formar parte del sumidero de carbono desconocido o no encontrado. (Cannell, 1995)

El aumento de temperatura podría haber conducido al aumento de la productividad en las regiones más frías, aunque también al incremento de la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo. Al aumentar la temperatura esta última se acelera más que la tasa de productividad, si bien este efecto puede estar compensado por una liberación de nutrientes de la materia orgánica suplementaria producida. En todo caso, la cuestión es si dicho calentamiento ha originado realmente un sumidero de carbono y si este continuará como tal con un futuro calentamiento atmosférico (Cannell, 1995 ).

Existen abundantes trabajos que ponen de manifiesto que en muchas de las especies C3 sometidas a concentraciones de  $\text{CO}_2$  por encima de la atmosférica (360 ppm) se produce un aumento de la productividad primaria neta, efecto que se ha denominado fertilización del  $\text{CO}_2$  el cual es patente con concentraciones de  $\text{CO}_2$  hasta tres veces la atmosférica. No obstante cabe pensar que existan factores limitantes a dicho aumento como puede ser el suministro de agua y nutrientes y la propia adaptación del proceso fotosintético al exceso de  $\text{CO}_2$ , que ponga en marcha un proceso de retroalimentación (Gates et al, 1983).

Por otra parte, la inmovilización de nutrientes en el suelo unida a la mayor fijación de  $\text{CO}_2$  haría descender la relación N/C en hojas lo que, a su vez, conduciría a una menor eficacia fotosintética.

Cabe pensar que por ambos efectos, aumento de temperatura y de  $\text{CO}_2$ , el depósito de carbono haya disminuido en latitudes altas, en las que el aumento de

CO<sub>2</sub> tiene un efecto mayor sobre la tasa de descomposición que sobre la productividad, y haya aumentado en el trópico, en que se produce el fenómeno contrario; con efectos menores en latitudes medias.

El tercer posible componente del sumidero desconocido sería el nitrógeno incorporado a los ecosistemas por actividades entrópicas (abonado y deposición atmosférica debida a la polución). Las complejas relaciones existentes entre deposición de nitrógeno, concentración de dióxido de carbono y temperatura sobre el almacenamiento de carbono, hacen muy difícil su cuantificación en valor y signo, pues será función del clima, suelo y vegetación y, en suma, muy diferente según sea la estación.

## FORESTACIÓN Y RETENCIÓN DEL CARBONO

Se cifra en 350 millones de hectáreas la superficie mundialmente previsible de ser forestada y se estima un período de 40 a 50 años el necesario para llevar a cabo la ingente tarea (Bran et al, 1995). Esta superficie, unida a la superficie poblada susceptible de regeneración y protección contra la deforestación alcanzaría 700 millones de ha, lo que supondría una retención de carbono en los próximos 60 años del orden de  $62 \text{ a } 89.2 \times 10^9 \text{ tm}$ , que representan del 12 al 15 % de las emisiones por uso de combustible fósiles previstas para dicho período (Cannell, 1995).

En España el Plan de Repoblación Forestal prevé una repoblación de  $3 \times 10^6$  ha en 30 años que, suponiendo una superficie repoblada anualmente constante, significaría una retención de carbono del orden de  $1.5 \times 10^5 \text{ tm.año}^{-1}$ , posiblemente algo más, dada la obvia juventud de las nuevas masas.

Hay que tener, también en cuenta, que las plantaciones forestales acarrearán una retención de carbono que se prolonga más allá de la vida de la plantación, en función del destino dado al producto obtenido. El carbono asimilado en la fotosíntesis, descontado el proceso oxidativo respiratorio es, en una parte, retenido en su biomasa, en continuo aumento al hacerla ésta, hasta la corta de los árboles. En otra porción el carbono es liberado al suelo con la hojarasca y otros residuos vegetales que, a su vez, son parcialmente oxidados por acción microbiana, reconvirtiéndose parte del carbono a la atmósfera y acumulándose el resto en la materia orgánica del suelo. Alcanzado el turno de corta se inicia un nuevo ciclo con una nueva plantación: el carbono existente en los árboles de la primera plantación pasa a ser componente de los productos obtenidos (madera, corcho, otros) y el carbono de la nueva biomasa arbórea desciende a los valores iniciales de la primera plantación y reinicia un nuevo ascenso hasta una segunda corta (Dewar, 1990). Una mayor tasa de producción de biomasa, unida a una máxima duración de los productos obtenidos (madera, corcho) y a una más lenta descomposición de los residuos vegetales en el suelo (factores dependientes de la especie, la estación, el tratamiento selvícola aplicado y el uso del producto obtenido), harán más duradera la retención del carbono. Manejando *Picea sitchensis* se han llevado a cabo simulaciones de los cambios en el carbono almacenado en plantaciones y en la madera obtenida de las mismas tras varios turnos de corta y se han maximizado su tasa de almacenamiento y el equilibrio entre los componentes. (Dewar y Cannell, 1992).

Si la nueva plantación substituye a una masa o rodal maduro, dado que el turno de corta teórico se alcanza cuando se igualan el crecimiento corriente anual y el crecimiento medio anual, todavía a esta edad siguen los árboles almacenando carbono, estimándose que solamente se ha alcanzado un tercio del máximo posible (Dewar, 1990). El uso de especies de crecimiento rápido puede, sólo en parte, compensar dicha pérdida, tanto mas cuanto mayor sea el tiempo de duración del producto obtenido, que es corto para las especies destinadas a la producción de pasta de celulosa.

## CONCLUSIONES

Los montes arbolados juegan un papel importante en la fijación y retención del carbono emitido antrópicamente a la atmósfera. La reducción de las emisiones es en todo caso el factor principal, a cuya consecución deben ir encaminados el esfuerzo de los gobiernos, unido a una mayor sensibilización de la población en el consumo de combustibles fósiles.

La conservación de las masas boscosas existentes, favoreciendo su regeneración e incrementando su biomasa leñosa, se considera una vía efectiva para la retención de una parte del carbono atmosférico. A ella se une la derivada de la creación de nuevas áreas forestales mediante plantaciones, en las que la especie y usos de los productos obtenidos determinarán en buena medida el tiempo de retención del carbono.

El empleo de la madera y el corcho como alternativas a otros materiales de construcción y a los combustibles fósiles, en algunos de sus usos, deben ser tenidos muy en cuenta. Cabe, finalmente, destacar la importancia de las investigaciones fisiológicas como base para el conocimiento de las respuestas de las masas forestales y de las plantaciones al cambio climático. En tal sentido se encuadran programas como el denominado LTEEF (Long-term Effects of CO<sub>2</sub> increase and Climate Change of European Forests), cuya segunda fase, de terminación previsible en el año 2000 apunta a la combinación de modelos ya formulados, en base a los datos obtenidos con los datos del inventario forestal, con el fin de analizar los impactos a gran escala del cambio climático sobre los bosques europeos y la sucesión de los flujos anuales de carbono y agua (Mohren y Kramer, 1998).

## SUMMARY

### **Facing the climatic change: the rol of forests and forest products as carbon sinks**

The relationship between some signals of a possible climatic change, the increase of the atmospheric levels of gases that origin the greenhouse effect and the declining of forests are briefly dealt with in the introduction. The function of tree stands as sinks of the carbon emissions is showed through summarized data referred to the european continent and an estimation for Spain, together with a reference to the missing sink. The role of forestation of new land and the sequestering of carbon inside the wood products are emphasized.

**KEY WORDS:** Carbon balance  
Forest stands  
Forestation  
Wood products

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUÉ JL, 1995. El cambio climático y los montes españoles. En: "Seminario sobre Deterioro de los Montes y Cambio Climático", Cuadernos de la SECF, nº2: 35-64.
- BRAN S. et al, 1995. Establishment and management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. IPCC 1995 Assessment.
- CANNELL M., 1995. Forests and the Global Cycle in the Past, Present and Future. European Forest Institute, Research Report 2, 66 p.
- CEC, 1996. Informe: estado de los bosques en Europa. Resultados del muestreo de 1995. CEC-CEPE, 56 p.
- DEWAR RC, 1990. A model of carbon storage in forests and forest products. *Tree Physiology* 6, 417-428.
- DEWAR RC Y CANNELL MGR, 1992. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. *Tree Physiology* 11, 39-72.
- DIXON RK et al, 1994. Carbon pools and flux of global ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- FAO, 1995. Forest Resources Assessment 1990. Global Synthesis, FAO Forestry Paper 124, Roma.
- GATES DM, STRAIN BR y WEBER JA, 1983. Ecophysiological effects of changing atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. En "Physiological Plant Ecology IV", 503-526. Encyclopedia of Plant Physiology, Springer-Verlag.
- HOUGHTON JT et al. (eds), 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press.
- ICONA, 1992. Los Montes Españoles. M<sup>o</sup> de Agricultura, Pesca y Alimentación, 23 p.
- KUUSELA K, 1994. Forest resources in Europe 1950-1990. European Forest Institute, Research Report nº1, Cambridge University Press.
- MOHREN G.M.J. y KRAMER K., 1998. Long- term effects of CO<sub>2</sub> increase and climate change on European forests. En: The Earth's Changing Land GCTE- LUCC Open Science Conference on Global Change (Abstracts, pp 191).
- MONTOYA OLIVER JM 1995. Efecto del cambio climático sobre los ecosistemas forestales españoles. En : "Seminario sobre Deterioro de los Montes y Cambio Climático", Cuadernos de la SECF, nº 2: 65-76.
- MONTOYA R, 1995. Red de seguimiento de daños en los montes. Daños originados por la sequia en 1994. En:" Seminario sobre deterioro de los montes y cambio climático", Cuadernos de la SECF, nº 2: 83-98.
- PERRY DA, 1994. *Forest Ecosystems*. The Johns Hopkins University Press, 649 p.
- SKOLE D y TUCKER C, 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260: 1905-1910.
- SPIECKER H et al, 1996. Growth Trends in European Forests: Discussion, Conclusion and Summary: 355-372.
- STOCKER TF y SCHMITTNER A., 1997. Influence of CO<sub>2</sub> emission rates on the stability of the thermohaline circulation. *Nature*, vol 388, 28 Aug., 862- 865.
- VÉLEZ R., 1995. El peligro de los incendios forestales derivados de la sequia. En: "Seminario sobre deterioro de los montes y cambio climático", Cuadernos SECF, nº2. 99-110.
- WHITE RM, 1990. El gran debate sobre el clima. *Investigación y Ciencia*, Septiembre 1990: 4-12.
- WILSON EO, 1989. La biodiversidad amenazada. *Investigación y Ciencia*. Noviembre 1989:64-71.