



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-564

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cuantificación y representación geográfica del carbono acumulado en las masas forestales de la Comunidad Autónoma de Aragón a partir de datos del IFN

CRISTÓBAL ORDÓÑEZ ALONSO^{1,2}, FELIPE BRAVO OVIEDO^{1,2}, EDUARDO NOTIVOL PAINO³

¹Unidad Mixta UVa-INIA 'Gestión Forestal Sostenible'

²Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, Universidad de Valladolid (Campus de Palencia)

³Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), Gobierno de Aragón

Resumen

El cambio global afecta a todos los ecosistemas terrestres, de entre los que destaca el papel de los bosques, que puede comportarse como fuente de emisión de CO₂ o como sumidero. La gestión forestal se revela como una herramienta de gran importancia en el control del problema, y para ello es necesario contabilizar y monitorizar la evolución de los sistemas vegetales, especialmente los sistemas forestales. Como aproximación al problema, se ha ensayado la cuantificación en la Comunidad de Aragón, y posteriormente se ha integrado en un sistema de información geográfica.

Para ello se ha analizado la información disponible sobre formaciones vegetales forestales del estrato arbóreo en el sentido que la define la legislación nacional y autonómica, y se han aplicado los modelos existentes de cuantificación de carbono fijado a nivel de especie en aquellas arbóreas y arbustivas principales y/o de agrupación en las de menor importancia cuantitativa para el cómputo y contabilidad de CO₂.

La principal fuente de información para el cálculo de existencias han sido las bases de datos del Inventario Forestal Nacional (IFN) a nivel provincial y el conjunto de ecuaciones desarrolladas para el cálculo de los factores de expansión de biomasa de las principales especies arbóreas y arbustivas. Mediante este procedimiento se ha obtenido la cantidad de biomasa en sus distintas fracciones (radical, tronco, ramillas y hojas) a partir de variables dasocráticas. Como fuente cartográfica se ha empleado el Mapa Forestal Nacional para la Comunidad de Aragón, que también fue empleada para reconocimiento de superficie forestal en el tercer IFN.

Palabras clave

GIS, IFN, carbono acumulado.

1. Introducción

El cambio climático afecta a todos los ecosistemas terrestres de una forma más intensa de lo previsto inicialmente (IPCC, 2007). La vegetación forestal juega un papel relevante en este proceso tanto por su potencial de mitigación del proceso, como por el impacto que éste puede tener sobre su estructura y funcionamiento.

De entre los gases que provocan el efecto invernadero, el CO₂ está reconocido como el de mayor importancia. Dentro del ciclo de este gas en la atmósfera, la vegetación juega un doble papel como fuente de emisión y como sumidero. Las perturbaciones producidas en el bosque, principalmente de origen antrópico, como roturación, sobreexplotación, incendios, plagas o enfermedades le convierten en fuente de emisión. Por el contrario, la reforestación o el abandono de tierras agrícolas le convierten en sumidero (BROWN, 2002).

Debido a estos motivos, la evaluación y seguimiento de las masas forestales se ha convertido en una herramienta más para controlar los gases de efecto invernadero, tal y como se recoge en el protocolo de Kyoto. En el caso de España, para poder cumplir con el acuerdo firmado, es necesario, por un lado reducir sus emisiones, y además utilizar los mecanismos flexibles, que permiten incluir en la contabilidad el carbono almacenado en los sumideros. En este apartado, el Estado plantea asignar tan sólo 5,79 millones de toneladas de CO₂ equivalente anuales (AZPITARTE y ASCASIBAR, 2008). Esta contabilidad se lleva a cabo, a nivel mundial, gracias a los inventarios forestales nacionales que se elaboran en la mayoría de los países (BROWN, 2002). Para estimar la biomasa a partir de datos dendrométricos existen dos métodos ampliamente contrastados: factores de expansión de biomasa (BEF) y ecuaciones de estimación de biomasa. Los primeros son simplemente coeficientes que permiten convertir el volumen de madera (habitualmente expresado en m³) de un árbol o de una masa en su peso de materia seca (habitualmente expresado en toneladas). Por otro lado, las ecuaciones de estimación de biomasa son relaciones entre el peso seco de biomasa y alguna variable dendrométrica o que representa las condiciones de la estación donde dicho árbol vive (densidad, productividad, etc.). Este segundo método presenta la doble ventaja de, por un lado, ofrecer información del carbono almacenado en las diferentes fracciones del árbol (con especial relevancia en la cuantificación del sistema radical por separado), y, por otro, que al realizar la estimación en un solo proceso de ajuste solo hay un error, a diferencia del método de factores de expansión de biomasa, que requiere dos estimaciones, y, por tanto, dos errores acumulativos (estimación de volumen y posteriormente estimación de la biomasa a partir del volumen). A nivel mundial se dispone de ecuaciones de biomasa para una buena proporción de bosques, ya sea de forma específica o a nivel de agrupación. Más concretamente, para la Península Ibérica, podemos contar con ecuaciones de biomasa para 32 especies forestales españolas (MONTERO *et al.*, 2005).

Aunque la parte principal de la biomasa de los bosques está compuesta por los árboles de mayor tamaño, que en inventarios nacionales se consideran los que tienen un diámetro superior a 10 cm, existen otras fracciones que no deben menospreciarse. Los pies con diámetro menor pueden suponer una importante proporción en bosques jóvenes. Asimismo, la madera muerta, que tampoco suele contabilizarse, en bosques maduros puede suponer hasta el 10-20% de carbono (BROWN, 2002). Por último, en zonas forestales abiertas, en las que la fracción arbórea no suele ser la más importante, no podemos obviar la contribución de la vegetación leñosa menor, que componen las formaciones de matorral de los ecosistemas mediterráneos, y que suponen una fracción nada desdeñable (NAVARRO & BLANCO, 2006).

El sector forestal requiere disponer de información del estado en que se encuentran los montes, para poder predecir su evolución, y así facilitar la toma de decisiones en la gestión forestal. La gestión puede colaborar en la mitigación del cambio climático de forma muy importante, ya sea conservando y aumentando el carbono almacenado en las masas forestales, o generando materiales cuya producción suponga una menor producción de de CO₂, ya siendo empleada como combustibles o materia prima (BRAVO *et al.*, 2007b). Diversas estrategias de gestión contribuyen a mitigar las emisiones de CO₂ incrementando el carbono anual fijado, como el aumento del turno, sobre todo en estaciones de calidad baja (BRAVO *et al.*, 2008), o la regulación de la densidad con regímenes fuertes de claras (RÍO *et al.*, 2008).

A nivel nacional contamos con un inventario que ha terminado su tercera edición y segunda remediación de las mismas parcelas, que suponen una herramienta de incalculable valor. El Primer Inventario Forestal Nacional (IFN1) se desarrolló a mediados de los años 60

y fue fundamental para conocer la situación de partida de nuestros montes, sirviendo como instrumento de planificación durante casi 30 años. A mediados de los 80 surgió la necesidad de contar con sistemas estadísticos estables y se retomaron los trabajos con el Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2), estableciéndose las bases para un inventario forestal continuo, con mediciones periódicas cada 10 años, e incorporación de las mejoras que pudieran acaecer durante el plazo de ejecución. No podemos olvidar que herramientas que hoy nos parecen triviales (teledetección, ortofotografías, sistemas de información geográfica) estaban en sus albores cuando se empezó el IFN2. En cada edición del IFN se remiden, con una frecuencia de 10 años, unos 90.000 puntos de muestreo en toda España dispuestos de forma regular sobre una malla cuadrada de un kilómetro de lado. Cuando un nodo de esta malla se sitúa sobre superficie forestal, se instala un punto de muestreo (para el caso del IFN3 en la Comunidad Autónoma de Aragón suponen 8.691 parcelas) dentro del cual se incluyen cuatro subparcelas concéntricas de radios 5, 10, 15 y 25 m. En los círculos concéntricos definidos por estos radios se mide la altura y el diámetro normal de los árboles que superan los 7,5 cm de diámetro (pies mayores), y otros parámetros relacionados con la vitalidad de los pies, el estado erosivo, la biodiversidad, etc. (ICONA, 1990). Dos son los problemas fundamentales que dificultan la comparación de los sucesivos ciclos del IFN: la diferente cartografía de base utilizada en cada uno y el manejo de enormes bases de datos (como ejemplo baste citar que para este trabajo de estimación del carbono almacenado se ha procesado de forma individual la información de 88.460 árboles). Respecto a la cartografía el problema en sí es doble: por un lado nos encontramos con diferentes cartografías de base que hacen incomparables los datos superficiales de los distintos inventarios, y por otro, el problema de la cartografía para extrapolar la información de la parcela (punto) a la unidad superficial a la que corresponde ese punto (tesela).

En una primera aproximación, podemos encontrar una cuantificación de carbono almacenado por los principales macizos montañosos de España (BRAVO *et al.*, 2007a), que muestra la importancia de nuestros bosques en el papel de mitigación del cambio climático, si bien parece necesario contar con herramientas que permitan realizar cálculos de forma más dinámica para poder gestionar la evolución a nivel más local, y con un nivel de precisión mayor.

2. Objetivos

El objetivo principal del trabajo es desarrollar una metodología que permita caracterizar las formaciones vegetales como sumideros de carbono y realizar una representación geográfica que facilite su aplicación en la gestión forestal. Como caso de aplicación se empleará la vegetación de la comunidad autónoma de Aragón.

3. Metodología

La metodología se fundamenta en el empleo de las siguientes herramientas:

- Manejo y gestión de bases de datos relacionales del IFN,
- Manejo de Sistemas de información geográfica (SIG); específicamente, cartografía temática sobre vegetación e información administrativa,
- Integración de bases de datos en SIGs.

A pesar de la importancia que los distintos estratos de vegetación forestal pueden tener en el cómputo de la biomasa, así como la existencia de procesos de acumulación de carbono

(y de emisión) en los suelos, en una primera aproximación sólo hemos considerado los pies mayores de las masas arbóreas.

Para cuantificar el carbono actual se ha utilizado como base cartográfica la propia del IFN3 (el Mapa Forestal de España a 1:50.000) (MMA, 2004), cuyo nivel de detalle puede llegar a teselas de 2 ha. Dado que no todas las teselas cuentan con una parcela del IFN, al ser la malla de muestreo de un km de lado, resulta necesario un método para proyectar la información de las parcelas del IFN3 a la superficie forestal arbolada total del territorio de estudio.

Para la estimación de la biomasa de los pies mayores se han empleado las ecuaciones de (Montero *et al.*, 2005) que permiten estimar la biomasa de diferentes fracciones:

- Biomasa aérea total
- Fuste
- Ramas con diámetro mayor de 7 cm
- Ramas con diámetro entre 7 y 2 cm
- Ramas con diámetro inferior a 2 cm
- Hojas
- Sistema radical

El primer paso en el proceso de cuantificación consiste en calcular el carbono equivalente acumulado en cada pie de la parcela del IFN, tanto para el Segundo como para el Tercer Inventario, de acuerdo a las ecuaciones mencionadas. Posteriormente se totalizan los valores por parcela y especie, obteniendo valores por hectárea de los mismos. Tras el procesado de la información del IFN, para transferir esta información, por parcela, a la superficie forestal se promedió esta información por el tipo de estrato forestal provincial al que pertenecía la parcela. A partir de dicha información media por estrato aplicada a la totalidad superficial ocupada por los estratos en el Mapa Forestal 1:50.000 se obtuvieron los valores globales. Toda la información se integró en un SIG para su presentación, análisis y utilización posterior, no sólo para la obtención de los valores globales. En todos los casos, tanto la concepción como las metodologías diseñadas y utilizadas se encuentran dentro los márgenes y recomendaciones del (IPCC, 2007) para el cómputo de carbono.

Los datos procesados de cada parcela del Inventario Forestal Nacional se han integrado en un sistema de información geográfica a escala de unidad de vegetación homogénea (estrato). Esto permite el manejo de la información referente a la cantidad de carbono que existe en la actualidad en nuestras formaciones forestales arboladas, así como la comparación con estados anteriores de la vegetación por comparación de inventarios.

4. Resultados

En la Comunidad Autónoma de Aragón, la cantidad de CO₂ equivalente que se encuentra en el estrato formado por los pies mayores de las masas arboladas asciende aproximadamente a 158 millones, de las que 121 millones corresponden a la biomasa aérea, y 37 millones a la radical (Tabla 1). Se han calculado los datos pormenorizados por estratos de vegetación forestal, obteniendo que los bosques arbolados aragoneses acumulan, en promedio, 104 t/ha de CO₂ eq. La formación arbórea (estrato forestal) que más CO₂ acumula en sus tejidos son los fustales/latizales de *Pinus sylvestris*, de elevada fracción de cubida cubierta y ocupación (superior al 70% en ambos casos) de las provincias de Huesca y Teruel,

con 34 millones de t. En general se comprueba que las formaciones de bosque que más carbono acumulan son las nemorales de la provincia de Huesca (pinares de *P. sylvestris*, hayedos, y mezclas de *P. uncinata*, *P. sylvestris*, hayas y abetos) y los pinares de Teruel (*P. sylvestris*, *P. pinaster*, *P. nigra* y sus mezclas).

Tabla 1. Toneladas de CO₂ eq. almacenado en las fracciones de la vegetación arbórea, calculado a partir de los datos proporcionados por el IFN3 para las tres provincias aragonesas.

Provincia	AÉREA	RADICAL	TOTAL
Huesca	60 527 044	16 733 883	77 260 927
Teruel	41 823 839	12 956 739	54 780 578
Zaragoza	18 756 166	7 134 825	25 890 992
Total	121 107 050	36 825 447	157 932 497

A partir de los datos obtenidos del avance de resultados del IFN3 se puede inferir que las tres provincias aragonesas incrementan la capacidad de fijar carbono en las cantidades reflejadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Incremento de CO₂ eq. almacenado en la vegetación arbórea a partir de datos del IFN3 para las tres provincias aragonesas.

Provincia	Incremento C t/ha/año	Incremento C t/año	Incremento CO ₂ eq t/año
Huesca	0,29	401 605	1 473 890
Teruel	0,25	273 094	1 002 254
Zaragoza	0,26	154 807	568 141
Total		829 506	3 044 285

Dado que probablemente estos valores se hayan obtenido a partir del cálculo de existencias (volumen maderable aéreo), podemos obtener el porcentaje de crecimiento en función de dicha fracción, alcanzando la cifra de un incremento del 2,5% anual en fijación de CO₂ por los bosques en Aragón.

La integración de toda esta información en un SIG permite consultas de elevado nivel de detalle y pormenorizadas para cualquier territorio, así como su agrupación. Las figuras 1 y 2 muestran el detalle de una consulta puntual en una tesela del noreste de Huesca y las cantidades de CO₂ eq. acumuladas por la especie principal (21=*Pinus sylvestris*) y secundaria (44=*Quercus faginea*) en las distintas fracciones de los árboles.

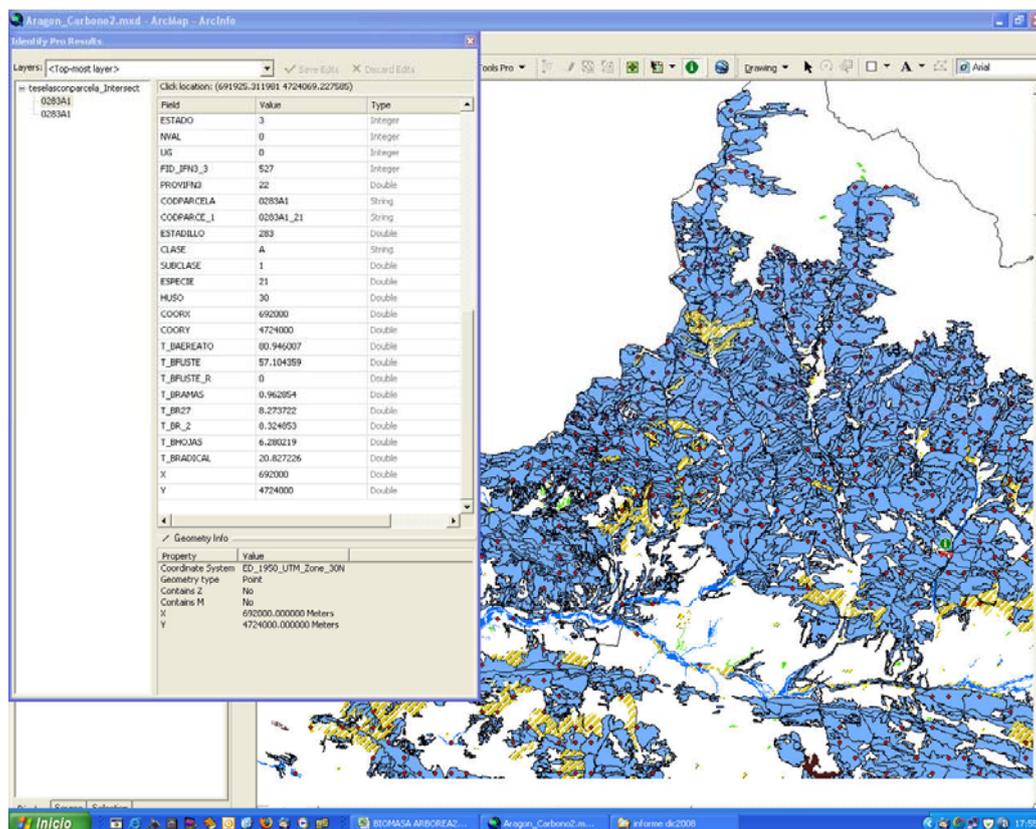


Figura 1. Consulta detalle de parcela IFN de CO₂ eq. acumulado por fracciones para *Pinus sylvestris*

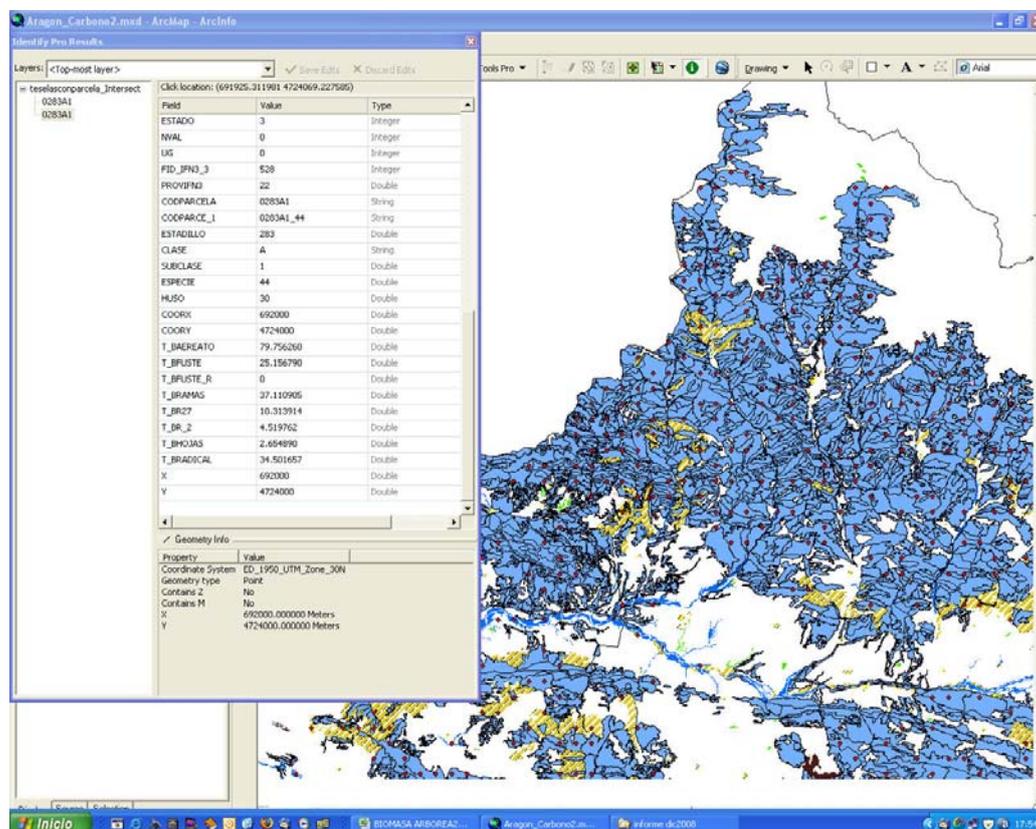


Figura 2. Consulta detalle de la misma parcela del IFN de CO₂ eq. acumulado por fracciones para la segunda especie en importancia, *Quercus pyrenaica*

5. Discusión

La integración en un SIG de la información de CO₂ eq. por parcela del IFN permite realizar cálculos por localización geográfica. De esta forma, se pueden incluir los datos de carbono acumulado, como una capa de datos más, que permite tener información adicional que ayude a la toma de decisiones en la gestión del territorio. Además las herramientas SIG permiten obtener un cálculo más preciso de la extrapolación a nivel superficial a partir de datos puntuales (parcelas del IFN), para lo que se emplean las teselas del Mapa Forestal. Dicho sistema te devuelve para cada tesela, valores medios por ha de CO₂, calculado a partir de datos puntuales de la parcela del IFN, si incluye alguna en su interior, y en caso contrario, los correspondientes al valor medio por estrato vegetal para cada especie.

La elevada resolución de las coberturas utilizadas no permite mostrar un mapa global de todo Aragón, ya que el número de divisiones ocultan la información, por lo que sólo es posible mostrar imágenes-ejemplo con detalles pormenorizados de la información existente en el sistema en una zona determinada, para mostrar la potencialidad del sistema.

En cuanto a las cifras obtenidas, algo más de 3 millones de toneladas de CO₂ equivalentes al año en la Comunidad de Aragón, ya suponen más de la mitad de la cantidad asignada a la nación (5,79), lo cual hace pensar que se está desaprovechando una enorme potencialidad en cuanto a la asignación en sumideros para cumplir con el protocolo de Kyoto.

Otros estudios y análisis de los datos del IFN1 e IFN2 ofrecen información de la evolución de la cantidad de toneladas de CO₂ equivalente en los bosques de Aragón: IFN1 (1967)=47.592.226; IFN2 (1994)=74.181.703, e IFN3 (2005)=121.107.050. Aunque estos datos han sido obtenidos con diferentes metodologías y, por tanto, no son comparables entre sí, la tendencia sólo pueden ser interpretada como resultado de la ingente labor repobladora del pasado y que, aunque finalizó hace casi dos décadas, en estos momentos se puede ver su resultado en esta faceta (acumulación de carbono).

6. Conclusiones

Si bien es prematura la extracción de conclusiones con la información disponible, los valores de carbono acumulado en la fracción forestal de pies mayores nos permiten conjeturar acerca de la tendencia y posibilidades de acumulación del mismo. Atendiendo a la historia de nuestros bosques, su estado de gestión y la capacidad repobladora de la última década, creemos que la tendencia de incremento casi exponencial en la acumulación no se mantendrá.

Por otro lado, esta cantidad de CO₂ eq. no puede considerarse como un depósito a plazo infinito que pueda ser utilizado como efecto atenuador de las emisiones pasadas y presentes, sino como una muy posible fuente de emisión en función de su gestión. Sólo con una gestión basada en los históricos principios forestales de la persistencia (hoy denominada sostenibilidad), acompañada de una silvicultura y ordenación acordes con el mantenimiento tanto de la masa como de su productividad, y orientada a la obtención de productos forestales de larga duración, se podrán mantener estos valores de CO₂ en nuestros montes. Así mismo, estos valores de CO₂ están reclamando una especial atención para no ser liberados de forma rápida a la atmósfera (combustión), ya sea de forma controlada o accidental.

7. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado mediante un convenio de colaboración entre el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y la Fundación General de la Universidad de Valladolid, y ha sido financiado por Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (Programa Operativo FEDER).

8. Bibliografía

AZPITARTE, J.; ASCASIBAR, J.; 2008. Posibilidades del sector forestal nacional en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. *Montes* 92 24-28.

BRAVO, F.; BRAVO-OVIEDO, A.; DIAZ-BALTEIRO, L., 2008. Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: a modeling approach. *Eur J Forest Res* 127 225-234.

BRAVO, F.; HERRERO, C.; ORDÓÑEZ, C.; SEGUR, M.; GÓMEZ, C.; MENÉNDEZ, M.; CÁMARA, A.; 2007a. Cuantificación de la fijación de CO₂ en la biomasa arbórea de los sistemas forestales españoles. En: BRAVO, F.; (Coordinador): El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. 143-196. Fundación Gas Natural. Barcelona.

BRAVO, F.; PESO, C. DEL; BRAVO-OVIEDO, A.; OSORIO, L.F.; GALLARDO, J.F.; MERINO, A.; MONTERO, G.; 2007b. Impacto de la gestión forestal sobre el efecto sumidero de los sistemas forestales. . En: BRAVO, F.; (Coordinador): El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. 143-196. Fundación Gas Natural. Barcelona.

BROWN, S.; 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ Pollut* 116 363-372.

ICONA; 1990. Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995: Explicaciones y métodos. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. 174. Madrid.

IPCC; 2007. Summary for Policymakers. En: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. (eds.): Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 996. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

MMA; 2004. Comunidad Autónoma de Aragón (DVD). En, Mapa Forestal de España. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Banco de datos de la Biodiversidad-Ministerio de Medio Ambiente.

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: SERIE FORESTAL, Ministerio de Educación y Ciencia. 270. Madrid.

NAVARRO, R.M.; BLANCO, P.; 2006. Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain. *Invest Agr: Sist Recur For* 15 197-207.

RÍO, M.; BARBEITO, I.; BRAVO-OVIEDO, A.; CALAMA, R.; CAÑELLAS, I.; HERRERO, C.; BRAVO, F.; 2008. Carbon Sequestration in Mediterranean Pine Forests. En:

BRAVO, F.; LEMAY, V.; JANDL, R. (eds.): Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change. 221-245. Springer. New York, USA.