



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-142

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Evaluación de la captura de carbono por parte de los sistemas forestales. Comparación de dos metodologías

PASALODOS TATO, M.¹, ALMAZÁN RIBALLO, E.², MONTERO GONZÁLEZ, G.¹ y DÍAZ BALTEIRO, L.²

¹ CIFOR-INIA. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ctra. de la Coruña km. 7,5. 28040 Madrid

² ETS Ingenieros de Montes. Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid.

Resumen

Los dos métodos habitualmente descritos en la literatura para calcular el carbono capturado en los sistemas forestales se basan, o bien en la estimación del carbono a partir del crecimiento que proporciona un inventario, o en la comparación de dos inventarios consecutivos. Dada la importancia que presenta la correcta contabilización de este carbono a nivel nacional, se han comparado estos dos métodos a nivel regional utilizando para ello las informaciones del II y III Inventario Forestal Nacional de España. En concreto, el caso de estudio es la región de Andalucía, que abarca 2.969.079 ha con superficie forestal y se han analizado las informaciones correspondientes a 11.603 parcelas permanentes del Inventario Forestal Nacional distribuidas en esta superficie. Por el lado de las emisiones, éstas también se han evaluado espacialmente a lo largo de todo el territorio. Los resultados muestran algunas diferencias entre ambas metodologías, así como cambios en la dirección de la captura/emisión en algunas partes del territorio según se considere un método u otro.

Palabras clave

Contabilización del carbono, Inventario Forestal Nacional, Protocolo de Kyoto, análisis espacial.

1. Introducción

Los bosques desempeñan un papel central en el ciclo del carbono, constituyendo una de las más grandes reservas y sumideros de carbono (MONTERO et al., 2005). En este marco, una política forestal responsable orientada a mitigar el aumento del CO₂ atmosférico requiere del conocimiento de los stocks de carbono y sus correspondientes variaciones a nivel territorial (HUDAK et al., 2012). La cuantificación de estos stocks en los ecosistemas forestales es una tarea exigente, ya que comprende varios niveles de incertidumbre y discrepancias debidas, por ejemplo, a los métodos empleados para realizar este cómputo (QURESHI et al., 2012; MOHREN et al., 2012). El nivel de dificultad aumenta teniendo en cuenta que en la contabilización de los stocks de carbono de los bosques, se contemplan cinco tipos de sumideros de carbono: biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, mantillo y suelo orgánico (PENMAN et al., 2003). La estimación de alguna de estas fracciones es especialmente complicada, por ejemplo en el caso del carbono acumulado en el suelo orgánico. Esta incertidumbre se acentúa todavía más en sistemas en los que, tras un cambio de uso, la situación de equilibrio aún no ha sido alcanzada, por lo que el estudio de la evolución del carbono mediante la metodología habitual podría acarrear importantes errores en la estimación (PÉREZ-CRUZADO, 2011).

Existen diferentes metodologías para computar el carbono capturado por un ecosistema forestal. Así, por un lado, se considerarían los inventarios tradicionales, basados en parcelas de campo. Por otro lado nos encontraríamos las informaciones obtenidas mediante técnicas de teledetección, como podrían ser, entre otros, los inventarios de emisiones mediante la medición de flujos gaseosos (LIDNER & KARJALAINEN, 2007; ANDERSSON et al., 2009). Por ejemplo, en el caso del arbolado, el carbono secuestrado se computa por estimación de la biomasa de dichos árboles. Una vez obtenida la biomasa, esta se convierte en toneladas de carbono multiplicando la cantidad de materia seca por la proporción de carbono en ella contenido (MONTERO et al., 2005; VAYREDA et al., 2012a). Como norma general se suele decir que el 50% de una tonelada de materia seca de biomasa corresponde a carbono. Sin embargo, para el caso de España se cuenta con información más pormenorizada para las diferentes especies arbóreas (MONTERO et al., 2005). En cuanto a las fuentes de error, una de ellas puede ser debida a la manera de computar la biomasa del arbolado. En términos generales se distinguen dos métodos. El primero es el que trata de derivar la cantidad de biomasa contenido en el arbolado por medio de factores de expansión (BEF-biomass expansion factor) para cada especie. Otro método sería el utilizar ecuaciones alométricas que permiten predecir la cantidad de biomasa del arbolado en función de variables como el diámetro medio normal y la altura del árbol. En general, a estas últimas se le presupone mayor precisión (PÉREZ-CRUZADO, 2011).

En cuanto a la estimación de la variación del carbono almacenado en los ecosistemas forestales existen dos métodos, según PENMAN et al. (2003). El primero de ellos es el denominado método de pérdidas o ganancias (*default method* o *gain-loss method*). Se basa en computar la variación anual de los stocks de carbono a través de la diferencia entre el incremento anual y las pérdidas que se han producido. El incremento anual en los stocks de carbono se puede deber al carbono transferido desde un sumidero a otro como en el caso del desfronde, o al crecimiento de los árboles. Las pérdidas a computar serían las producidas por aprovechamientos o tratamientos selvícolas, por perturbaciones, o por mortalidad (RAVINDRANATH & OSTWALD, 2008). El segundo método, denominado de variaciones en el stock (*stock-change method*), requiere disponer de dos inventarios en distintos años para computar el cambio que se ha producido en el stock de carbono. Al utilizar este método es importante asegurarse de que el área analizada en ambos períodos de tiempo es la misma con el fin de evitar confundir cambios en el stock de carbono con cambios en el área al que se refieren ambos inventarios (PENMAN et al., 2003).

Según la literatura (BIRD et al. 2010) los dos métodos proporcionan esencialmente el mismo resultado en términos de emisiones, pero difieren en el nivel de esfuerzo computacional. El método de pérdidas y ganancias no estima los stocks reales de biomasa, pero es un método que presenta ventajas en ciertas ocasiones como cuando realizar la medición del stock de carbono es muy costoso en términos económicos o de tiempo, como es el caso de la estimación del contenido de carbono en el suelo. Esta metodología se utiliza cuando están disponibles datos anuales de, por ejemplo, tasas de crecimiento de la biomasa y datos fiables sobre las cortas de madera. El método de variaciones en el stock, basado en la comparación de inventarios forestales, supone un modo más práctico de estimar los cambios en la biomasa arbórea (BROWN, 2002; QURESHI et al., 2012), en especial en los casos donde existen Inventarios Forestales Nacionales. Existen diferentes estudios en España que se han centrado en la contabilización del carbono capturado por los sistemas forestales. Entre ellos, resulta interesante destacar los trabajos de VAYREDA et al. (2012a,b) que computan el

contenido de carbono en los sistemas forestales y su variación utilizando parcelas del II y III Inventario Forestal Nacional (IFN) analizando la influencia de variables estructurales y climáticas en los patrones espaciales encontrados. Sin embargo, en lo relativo a los métodos de estimación de la variación del carbono secuestrado, no se han encontrado estudios que analicen el comportamiento de los dos principales métodos para calcular la variación en dichos stocks.

2. Objetivos

Con este trabajo se pretende, en primer lugar, realizar una estimación de carácter espacial del carbono capturado por el estrato arbóreo que puebla los ecosistemas forestales en Andalucía. Es decir, un objetivo consiste en disponer de una capa georeferenciada donde se compute el carbono neto que se captura o se emite en la superficie forestal de esta Comunidad Autónoma. Una vez conseguido este propósito, el objetivo principal sería comparar los dos métodos que habitualmente se proponen para realizar estas estimaciones a partir de las informaciones contenidas en el IFN. Dicha comparación permitirá precisar las diferencias entre ambas metodologías, así como la cuantificación desagregada de las capturas y de las emisiones para toda la superficie forestal objeto de estudio.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

Este estudio se ha desarrollado en la superficie forestal existente, según el Mapa Forestal Español, en Andalucía. Dicha superficie abarca una extensión de 2.969.079 ha de superficie forestal. Las informaciones necesarias para alcanzar los objetivos propuestos son diversas, y el procedimiento de análisis consta de varias vertientes claramente diferenciadas. Por un lado, se han procesado todas las parcelas del III IFN de Andalucía (11.603 parcelas). De este modo se obtiene una información relevante de los sistemas forestales de esta Comunidad Autónoma, pero de forma discreta. En concreto, se han considerado variables como el volumen con corteza total, el volumen con corteza total de la especie principal, el incremento de volumen con corteza anual y el incremento de volumen con corteza anual correspondiente a la especie principal, todas ellas medidas en m³/ha/año. Estas variables serán utilizadas para computar flujos y stocks de carbono. Por otro lado, conviene señalar que sólo se ha considerado en este trabajo el carbono capturado por el estrato arbóreo, sin tener en cuenta el carbono capturado por el matorral. Esta decisión se justifica en la ausencia de un inventario de matorral en el II IFN, lo que impide realizar la estimación del carbono comparando los resultados del II y III IFN.

3.2. Determinación de teselas

Para asignar esos valores a una unidad superficial se ha acudido a las unidades del Mapa Forestal (teselas), dándole a cada tesela el valor (volumen, incremento de volumen, etc.) de la parcela incluida en la misma. En el caso que coincidiera más de una, se haría un promedio. Por otro lado, y dado que es preciso extender estos valores a todos los sistemas forestales de Andalucía, se ha optado por utilizar los estratos definidos en el Mapa Forestal de España para cada provincia (en total, 140 estratos). El valor correspondiente para cada estrato se obtiene como promedio de los valores de las teselas incluidas en cada estrato. En aquellas teselas que no incluyan parcelas del IFN se asignará el valor del estrato. En definitiva, se han procesado 60.340 teselas, descontando aquellas situadas en el estrato cero, es decir, superficie desarbolada debido a diversas razones.

3.3. Método de estimación de carbono

En cuanto a la metodología para calcular la captura de carbono, se ha partido de los datos a nivel de parcela del volumen con corteza y del incremento de volumen con corteza. Como es sabido (DÍAZ-BALTEIRO Y ROMERO, 2003), uno de los métodos utilizados para computar la fijación del carbono consiste en multiplicar el crecimiento anual por un factor de conversión propio de cada especie arbórea, que transforma los metros cúbicos de madera en toneladas métricas de carbono. Con esta información, y utilizando los porcentajes de carbono en el fuste, y en la parte aérea obtenidos para cada especie según MONTERO et al. (2005) se ha calculado tanto el stock de carbono como el flujo de carbono. Es decir, se obtiene la captura de carbono tanto considerando el carbono total (stock) como el incremento anual del carbono asociado al crecimiento corriente (flujo) existente en cada parcela (la metodología empleada se describe en el apartado 3.4).

Por otro lado, los cálculos realizados en relación al carbono adolecen hasta ahora de un problema: son mediciones que no tienen en cuenta las cortas anuales que se realizan en los montes ni las emisiones producidas por los incendios forestales. Para su cómputo se admite la hipótesis que subyace en el Protocolo de Kyoto según la cual todo el carbono almacenado en los árboles retorna instantáneamente a la atmósfera en el momento de la corta final o de un incendio. Para abordar este problema, se han computado distintas informaciones proporcionadas por la Junta de Andalucía y asociadas a los aprovechamientos realizados en los montes de Andalucía, así como de los incendios forestales ocurridos en los últimos años. La diferencia entre el carbono capturado y el carbono emitido asociado a cortas e incendios constituiría el carbono neto capturado. Llegados a este punto es preciso fijar temporalmente el análisis efectuado. Es decir, se debe situar en un horizonte temporal las medidas del carbono neto que se calculen según los procedimientos que se explicarán a continuación. Dado que el III IFN no se ha finalizado en el mismo año para las ocho provincias andaluzas, se ha tomado como año base para la comparación el año donde se ha finalizado el III IFN en cada provincia. Éste sería el año 2007 para la mayoría de las provincias, a excepción de Córdoba y Jaén (año 2006) y de Huelva (año 2008).

3.4. Asignación de carbono a cada tesela

Para computar el carbono neto, en primer lugar se ha realizado una estimación del balance de carbono para las teselas, a nivel de especie principal de la tesela y a nivel de todas las especies arbóreas. El balance de carbono se obtiene de restar en cada tesela la fijación menos la emisión de carbono. El carbono fijado se obtiene del crecimiento de la masa arbórea. Se ha empleado el crecimiento anual dado por el III IFN. En cuanto a la emisión de carbono, ésta se produce emisión de carbono debido a los aprovechamientos (cortas finales e intermedias), o por la existencia de incendios. Para imputar las cortas se han empleado unos ratios promedios por especie de la relación aprovechamiento/crecimiento, que han sido calculados para cada provincia entre el año 2000 y el año para el que se finalizó el III IFN. Además, se han imputado emisiones por incendios en las teselas en las que ha habido incendios a partir del año en el que se finalizó el III IFN en la provincia respectiva, según informaciones proporcionadas por la Junta de Andalucía. A continuación se detalla el procedimiento seguido.

Dentro de una tesela ocurren dos casuísticas diferentes que obligan a establecer diferentes métodos para estimar la fijación de carbono. La primera se refiere a que dentro de la tesela existan parcelas inventariadas del III IFN. La segunda es que no se hayan levantado

tales parcelas. En cuanto al primer caso, el carbono fijado en este caso se calcula por la suma del carbono contenido en todas las especies arbóreas presentes en la parcela, incluyendo la especie principal, que está determinada según el estrato al que pertenece la tesela en la que se encuentra la parcela. En el caso de que haya más parcelas, se calcula un promedio. Si en una de las parcelas no hay existencias, entonces no se imputa a la hora de calcular los promedios. Para las teselas que no contienen parcelas del III IFN, en este caso se calcula un promedio de la fijación de carbono para cada estrato del mapa forestal, tanto para todas las especies arbóreas presentes, como para la especie principal del mismo. Es decir, en cada una de estas parcelas se calcula el carbono fijado por la especie, y posteriormente se calcula un promedio con todas ellas. El resultado obtenido se imputará en aquellas teselas del estrato que no tengan parcela inventariada, y que además cumplan que la especie principal del estrato tenga ocupación dentro de la tesela según la información del MFE.

Pasando ya a las emisiones debidas a los aprovechamientos, como se ha señalado anteriormente, se han empleado los promedios de los ratios entre los aprovechamientos y los crecimientos de las especies madereras calculados entre los años 2000 y el año en que finalizó el III IFN, utilizando la información proporcionada por la Junta de Andalucía. La emisión asociada al aprovechamiento de una especie se calcula multiplicando el ratio de aprovechamiento/crecimiento de la especie por el crecimiento de la misma en la tesela. Este cálculo daría un valor de la emisión por hectárea que se correspondería a la parte de la tesela en la que se ha realizado el aprovechamiento (en muchas teselas el aprovechamiento solo ocurre en una parte de la superficie de la misma). Por esta razón se justifica realizar un ajuste de la emisión por hectárea en toda la tesela, que se obtiene de multiplicar la superficie de aprovechamiento dentro de la tesela dividido por su superficie total. En cuanto a las emisiones producidas por los incendios forestales, se ha supuesto inicialmente, a falta de otro tipo de informaciones, que la emisión implica que todo el stock de carbono se pierde en el año del incendio. Finalmente, a la hora de medir el carbono capturado mediante la comparación de inventarios cuando se tienen en cuenta los incendios que han ocurrido, es preciso analizar la casuística que se puede producir. Ésta es muy diversa porque pueden aparecer parcelas con existencias arbóreas en un IFN y sin ellas en el otro, parcelas sin existencias arbóreas en ambos inventarios, o, incluso que se haya comprobado un aumento de existencias después de un incendio, invalidando por tanto la hipótesis inicial de que cuando existe un incendio todo el stock de carbono se re-emite instantáneamente a la atmósfera.

Pasando a la metodología propiamente dicha, y, como se ha comentado en la sección introductoria, siguiendo al IPCC (PENMAN et al. 2003) existen dos métodos para evaluar el carbono asociado a los cambios producidos en los ecosistemas forestales: el primero, llamado método de pérdidas y ganancias, se basa en computar la variación anual de los stocks de carbono (carbono neto) a través de la diferencia entre el incremento anual y las pérdidas que se han producido. En nuestro caso, se le denominará método basado en el crecimiento del III IFN, y, de forma simplificada, su expresión analítica es la siguiente:

$$C_n = \sum[S \cdot (IAC - EAC)] \quad (1)$$

Donde C_n sería el carbono neto o variación en el stock de carbono, medido en toneladas de CO_2 por año; S sería la superficie de cada tesela; IAC , el incremento anual de carbono. EAC serían las emisiones anuales de carbono. El cálculo de IAC y EAC para cada tesela se ha descrito anteriormente.

El segundo método, de variaciones en el stock, requiere disponer de dos inventarios en distintos años para computar el cambio que se ha producido en el stock de carbono. En nuestro caso se le va a denominar método según diferencia de inventarios, y su expresión analítica sería la siguiente:

$$C_n = \sum \frac{(SNC_{3IFN} - SNC_{2IFN})}{(t_{3IFN} - t_{2IFN})} \quad (2)$$

Donde C_n sería el carbono neto o variación en el stock de carbono, medido en toneladas de CO_2 por año; SNC_{3IFN} sería el stock neto de carbono calculado a partir del III IFN; SNC_{2IFN} sería el stock neto de carbono calculado a partir del II IFN. Por último, la diferencia $t_{3IFN} - t_{2IFN}$ correspondería al número de años transcurridos entre ambos IFN que puede variar en cada provincia, aunque oscila entre 11 y 12 años.

4. Resultados

Comenzando por el carbono neto capturado que ha sido capturado por el estrato arbolado en Andalucía, las cifras promedio indican que oscila entre 0,42 y 0,54 t, según se consideren los dos métodos analizados y se computen todas las especies arbóreas existentes en cada parcela del IFN o, por el contrario, sólo la especie principal. En términos globales, considerando el método basado en el crecimiento del III IFN, la captura alcanza las 2.101.715t de carbono cuando se consideran todas las especies y 1.846.481t si se analiza sólo la especie principal. Por el contrario, los resultados obtenidos a través método según diferencia de inventarios muestran, si se tienen en cuenta todas las especies, una captura de 1.693.412 t, y de 1.628.510 t si se estudia sólo la especie principal. En la Tabla 1 se muestra el desglose por provincias según ambos métodos, pero considerando sólo la especie principal.

Analizando espacialmente la estimación del carbono neto que captura el estrato arbolado en las ocho provincias andaluzas, en la Figura 1 se muestra un mapa donde este carbono se ha calculado sólo el carbono estimado a partir del crecimiento del III IFN. Por otro lado, en la Figura 2 se recoge un mapa similar, calculado según diferencia de inventarios. Si se comparan ambas estimaciones, se obtiene una capa georeferenciada incluida en la Figura 3.

Tabla 1. Resultados obtenidos a nivel provincial considerando la especie principal (t de CO_2 por ha)

Provincia	Método según crecimiento del III IFN	Método según diferencia de inventarios
Almería	118.084,8	113.391,0
Cádiz	143.945,0	184.328,3
Córdoba	280.050,9	232.330,3
Granada	223.674,3	239.577,2
Huelva	140.503,8	253.759,7
Jaén	300.641,4	339.780,1
Málaga	151.256,1	118.867,6
Sevilla	146.756,1	146.476,4
Andalucía	1.504.912,4	1.628.510,2

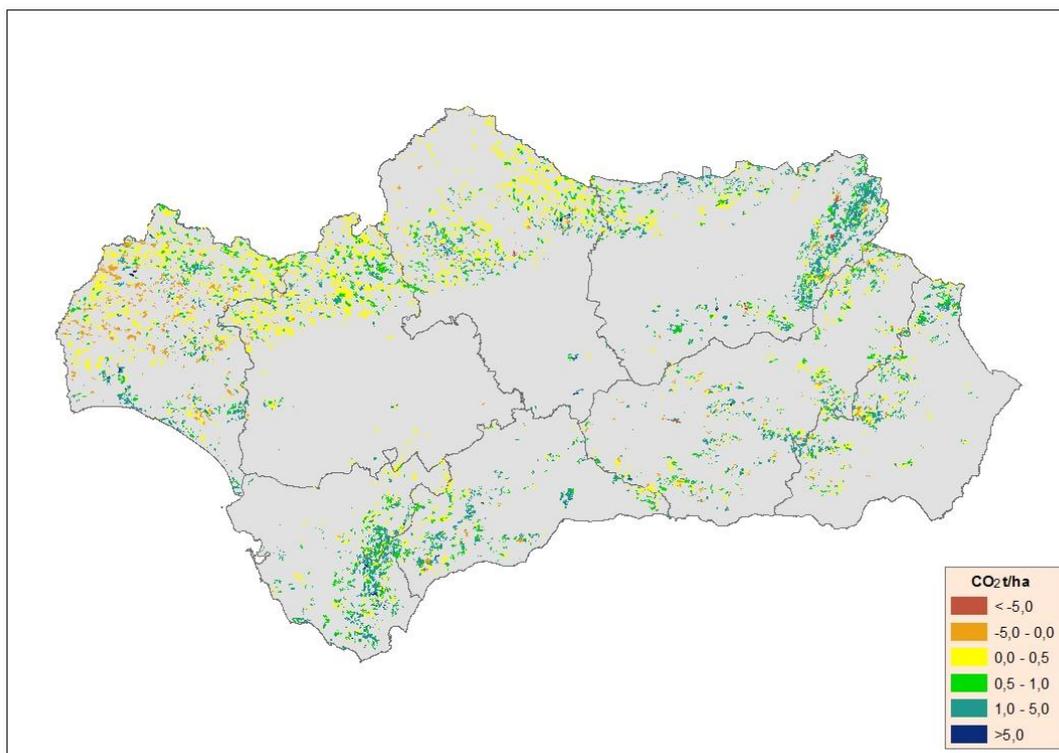


Figura 1. Carbono neto calculado según el crecimiento mostrado en el III IFN.

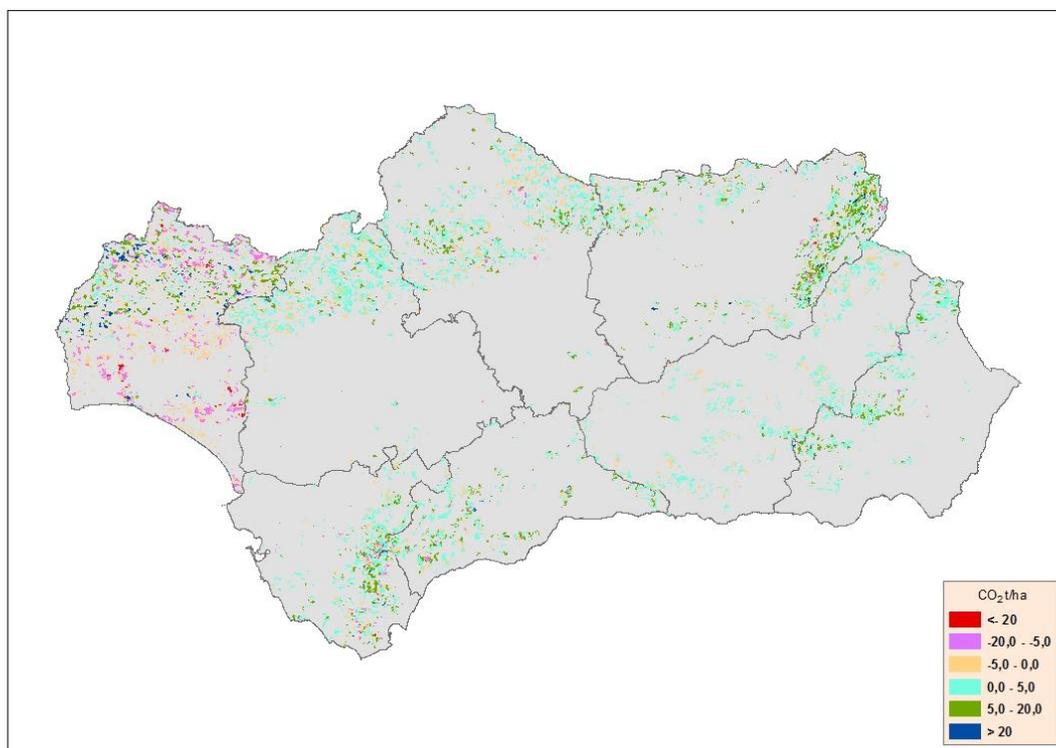


Figura 2. Carbono neto calculado según la diferencia de inventarios

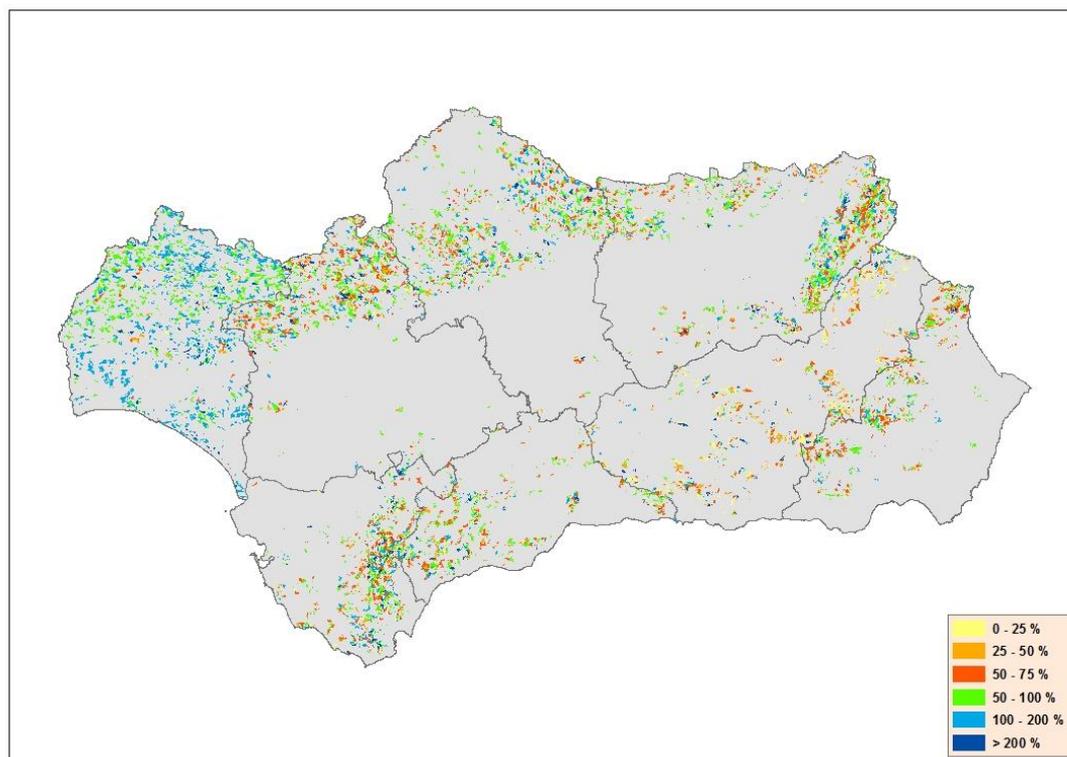


Figura 3. Diferencia entre el método de comparación de inventarios y el asociado al III IFN

Si se quisiera hacer un análisis a nivel de especie principal, en la Tabla 2 se recoge la captura neta promedio de algunas de las especies arbóreas más importantes presentes en la superficie forestal de Andalucía, usando ambas metodologías.

Tabla 2. Captura neta de carbono obtenida a nivel provincial (t de CO₂ por ha) considerando la especie principal, según el método del crecimiento del III IFN (A) o el método de diferencia de inventarios (B)

Provincia	P. pinea		P. halepensis		P. pinaster		Q. ilex		Q. suber	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Almería			0,6	0,5	1,1	0,9	0,3	0,4		
Cádiz	1,5	1,0					0,4	0,5	0,7	0,5
Córdoba	1,5	1,9			0,9	0,8	0,3	0,3	0,2	0,2
Granada			0,5	0,4	1,1	0,7	0,1	0,8		
Huelva	1,4	1,0					0,3	0,2	0,2	0,3
Jaén			0,9	1,0	0,8	0,4	0,5	0,5		
Málaga	0,5	0,5	1,3	1,1	1,1	0,8	0,3	0,3	0,9	0,5
Sevilla	1,5	1,0					0,4	0,5	0,7	0,5

Finalmente, una pregunta que podría surgir en el análisis sería evaluar el porcentaje de superficie que sería emisor neto de CO₂, es decir, la suma de la superficie de las teselas con un balance de carbono neto negativo, frente a aquellas otras teselas que presentan dicho balance positivo. En la Tabla 3 se muestran estos porcentajes por provincias, considerando todas las especies presentes en cada tesela.

Tabla 3. Porcentaje de superficie arbolada que bien captura CO₂, o bien emite CO₂, según los dos métodos considerados

Provincia	Método según crecimiento del III IFN		Método según diferencia de inventarios	
	Captura	Emisión	Captura	Emisión
Almería	97,3%	2,7%	98,2%	1,8%
Cádiz	99,1%	0,9%	90,1%	9,9%
Córdoba	97,9%	2,1%	89,1%	10,9%
Granada	99,4%	0,6%	97,0%	3,0%
Huelva	84,8%	15,2%	77,0%	23,0%
Jaén	98,7%	1,3%	98,0%	2,0%
Málaga	99,4%	0,6%	79,2%	20,8%
Sevilla	99,3%	0,7%	92,1%	7,9%

5. Discusión

Los resultados incluidos en la sección anterior muestran diferencias entre los dos métodos. Estas diferencias se producen globalmente (un 24% de diferencia considerando todas las especies y un 13% considerando la especie principal de cada tesela) y aunque parece que la captura es menor según el método basado en el crecimiento del III IFN, los resultados de la Tabla 1 indican que en algunas provincias la captura es mayor según el método basado en la comparación de inventarios. Por el contrario, si se analiza el carbono neto total, es decir, asociado a todas las especies arbóreas, la captura es mayor según el método basado en el crecimiento del III IFN. Por ello, es necesario desarrollar modelos que permitan explicar las diferencias existentes en cuanto a la estimación del carbono neto. En la actualidad se está investigando en esta línea a partir de distintas variables endógenas asociadas a la superficie forestal arbolada de Andalucía.

Por otro lado, es preciso comentar algunas dificultades surgidas y que son, por un lado, inherentes a la realización de los distintos IFN. Así, conviene resaltar que la comparación entre métodos para estimar el flujo de carbono ha sido llevada a nivel de tesela del MFE, aunque éste carece de información sobre volúmenes o crecimiento necesarios para realizar estimaciones del flujo de carbono. Como se ha explicado anteriormente, esta circunstancia ha motivado que se haya incorporado información de las parcelas del II y III IFN a las teselas del MFE. Sin embargo, para obtener resultados comparando el stock de carbono en dos períodos de tiempo sólo se han podido considerar aquellas parcelas del III IFN que fueron inventariadas en el II IFN, las cuales figuran con código “A” en la tabla de atributos correspondientes a la información del III IFN. Es decir, las nuevas parcelas incorporadas en el III IFN (con código “N”) no son válidas para proceder a la comparación del carbono capturado según las dos metodologías. Esta disfunción no se produce a la hora de computar el carbono a través de la otra metodología propuesta. Además, los datos de cortas utilizados en este trabajo se corresponden a montes públicos, con lo que se ha extendido el ratio de aprovechamientos entre crecimiento a toda la superficie forestal arbolada de Andalucía presentara o no un carácter público. La falta de estadísticas fiables sobre las cortas en montes privados ha motivado esta decisión.

Llegados a este punto, una pregunta inmediata sería comprobar si las cifras expuestas en este trabajo son equiparables a las que se han obtenido en otros estudios. Para ello, en la Tabla 4 se comparan los resultados por provincia y ha, según ambos métodos, con los mostrados en las publicaciones que acompañan al III IFN. La metodología que se ha empleado en el estudio

que acompaña al III IFN es diferente, utilizan un método basado en el crecimiento pero, por ejemplo, no emplean los factores de conversión anteriormente descritos. Se puede apreciar cómo los resultados son notablemente distintos, siendo los valores mucho mayores según cualquiera de los dos procedimientos analizados en este trabajo.

Tabla 4. Comparación del carbono capturado anualmente (t de CO₂ por ha). Promedio en cada provincia

Provincia	III IFN	Método según crecimiento del III IFN	Método según diferencia de inventarios
Almería	0,19	0,76	0,66
Cádiz	0,25	0,93	0,77
Córdoba	0,24	0,58	0,40
Granada	0,12	1,03	0,71
Huelva	0,17	0,30	0,41
Jaén	0,18	2,32	1,59
Málaga	0,12	0,45	0,25
Sevilla	0,19	0,53	0,43

Los posibles beneficiarios de este trabajo podrían ser muy diversos. Por un lado estarían los propietarios de los montes de Andalucía que pueden disponer de estimaciones fiables de la valoración del carbono capturado. Estas informaciones son independientes de la titularidad de los mismos, pero en el caso de propietarios públicos los resultados obtenidos, debidamente agregados, pueden aportar valiosos análisis a la hora de diseñar aspectos relacionados con la política forestal a nivel autonómico. Asimismo, los gestores de los montes dispondrán de resultados numéricos en cuanto al carbono que facilitarán y justificarán la toma de decisiones que se realice a nivel monte, o superior. Además, aunque hasta la actualidad, y para el caso de España, los propietarios no reciben ningún cobro asociado a la captura de carbono que realizan los sistemas forestales, éstos también podrían beneficiarse de los resultados incluidos en este trabajo. Para ello, en primer lugar, se deberían de producir modificaciones en ciertos acuerdos transnacionales o, en su defecto, en posibles políticas a nivel nacional, que en este hipotético caso definirían la forma en que se produce la transacción monetaria ligada a la captura de carbono. La no existencia de estos ingresos hace que en la literatura se hayan seguido distintos caminos hacia la integración de este output en la gestión forestal (Richards & Stokes, 2004) como pueden ser los conocidos como “*carbon flow method*” o “*ton year accounting method*” (Caparrós et al., 2010). Finalmente, estos resultados podrían servir para su inclusión en estudios relacionados con escenarios de cambio climático, aunque es preciso señalar que muy poca superficie forestada susceptible de computarse según los parámetros de Kyoto está presente en estas estimaciones de carbono, debido a que todavía no se ha computado en el III IFN por no hallarse en un estado de desarrollo suficiente para ser inventariada y computada a tales efectos..

6. Conclusiones

En este trabajo se ha cuantificado la captura de neta de carbono que realiza el estrato arbóreo de la superficie forestal andaluza a través de dos métodos. Los resultados muestran la validez de los mismos, pero señalan diferencias en los mismos que impiden ser concluyentes a la hora de recomendar una metodología u otra. Aunque a nivel agregado la captura de carbono es mayor midiendo el carbono neto a través del método basado en el crecimiento del III IFN, si se desagregan los resultados a nivel provincial o según las distintas especies con más presencia en Andalucía, se puede observar cómo en algunas ocasiones la captura neta es

mayor con el método basado en la comparación de inventarios. Finalmente, casi toda la superficie de la Comunidad Autónoma presenta un balance positivo en cuanto al cómputo del carbono neto, aunque en algunas provincias el porcentaje de la superficie que emite carbono (carbono neto negativo) puede llegar a superar el 10% según los distintos métodos aquí expuestos.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo el paraguas del proyecto RECAMAN (Renta y Capital de los Montes de Andalucía), financiado por la Junta de Andalucía, a través de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía, y cuyo responsable científico ha sido el Profesor del CSIC D. Pablo Campos Palacín. Los autores agradecen el apoyo incondicional de todos los integrantes de RECAMAN, muy especialmente a las personas que nos han proporcionado diversas informaciones necesarias para la realización de este trabajo. Así, se quisiera resaltar la colaboración prestada por los Ingenieros de Montes D. Luis Guzmán y Dña. Isabel Martín, de EGMASA y Dña. Francisca de la Hoz, de la Junta de Andalucía. Por otro lado, los autores también agradecen tanto los comentarios proporcionados en distintas fases del trabajo, como el apoyo técnico prestado, de D. Roberto Vallejo Bombín (Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal, MAGRAMA).

8. Bibliografía

ANDERSSON, K.; EVANS, T.P.; RICHARDS, K.R.; 2009. National forest carbon inventories: policy needs and assessment capacity. *Climatic change* 93 (1-2), 69-101.

BIRD, D.N.; PENA, N.; SCHWAIGER, H.; ZANCHI, G.; 2010 Review of existing methods for carbon accounting. Occasional paper 54. CIFOR, Bogor, Indonesia.

BROWN, S.; 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 16: 363-372.

CAPARRÓS, A.; CERDÁ, E.; OVANDO, P.; CAMPOS, P.; 2010. Carbon sequestration with reforestation and biodiversity-scenic values. *Environmental and Resource Economics* 45, 49-72.

DIAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C.; 2003. Forest management optimisation models when carbon captured is considered: A goal programming approach. *Forest Ecology and Management* 174, 447-457

HUDAK, A.T.; STRAND, E.K.; VIERLING, L.A.; BYRNE, J.C.; EITEL, J.U.H.; MARTINUZZI, S.; FALKOWSKI, M.; 2012. Quantifying aboveground forest carbon pools and fluxes from repeat LiDAR surveys. *Remote Sensing of Environment* 123: 25-40.

LINDNER, M.; KARJALAINEN, T.; 2007. Carbon inventory methods and carbon mitigation potentials of forests in Europe: a short review of recent progress. *Eur. J. For. Res.* 126 (2), 149-156.

MOHREN, G.M.J.; HASENAUER, H.; KÖHL, M.; NABUURS, G.-J. 2012. Forest inventories for carbon change assessments. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4 (6): 686–695

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA Serie Forestal nº 13, Madrid.

PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAIISHI, T.; KRUG, T.; KRUGER, D.; PIPATTI, R.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; WAGNER, F.; 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

PÉREZ-CRUZADO, C.; 2011. Models for estimating biomass and carbon in biomass and soils in *Pinus radiata* (D. Don), *Eucalyptus globulus* (Labill) and *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden plantations established in former agricultural lands in northwestern Spain. Universidad de Santiago de Compostela, Tesis doctoral.

QURESHI, A.; PARIVA; BADOLA, R.; HUSSAIN, S.A.; 2012. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. *Environmental Science & Policy* 16: 81-89.

RAVINDRANATH, N.H.; OSTWALD, M.; 2008. Carbon Inventory Methods. Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Series: Advances in Global Change Research, Vol. 29, 306 p.

RICHARDS, K.R.; STOKES, C.; 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. *Climatic Change* 63: 1-48.

VAYREDA, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; GRACIA, M.; RETANA, J.; 2012a. Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology* 18: 1028-1041

VAYREDA, J.; GRACIA, M.; CANADELL, J.G.; RETANA, J.; 2012B. Spatial Patterns and Predictors of Forest Carbon Stocks in Western Mediterranean. *Ecosystems* 2012; 1-13.