6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-452

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

Reservorio de carbono orgánico en suelos forestales para el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

GUERRA ÁVALOS, I.[1] y SÁNCHEZ PEÑA, G.[2]

[1] Tecmena. Asistencia Técnica del Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos. Subdirección de Silvicultura y Montes. Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
[2] Servicio de Sanidad Forestal y Equilibrios Biológicos. Subdirección de Silvicultura y Montes. Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Resumen
Hasta el momento el contenido de carbono orgánico en los suelos forestales se ha estado tratando como un depósito en equilibrio (balance neutro) en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI's.
Mediante el proyecto "Desarrollo del Sistema de Información Nacional y Autonómica sobre el Estado de Salud de los Bosques (Sector Reservorio de Carbono en los Suelos)" se pretendía completar y mejorar la información correspondiente a Carbono en suelos para la Convención y el Protocolo de Kioto, a nivel nacional y con su desagregación autonómica. Se realizó una búsqueda y recopilación de información relativa a los depósitos de carbono en los suelos forestales españoles y se homogeneizaron los datos, creándose una base de datos digital. Seleccionando parte de la información obtenida (Redes Europeas de Seguimiento de Daños de Nivel I y Nivel II) se realizó un estudio de la evolución del contenido de carbono orgánico en los suelos forestales con el tiempo, mediante la comparación de datos obtenidos en los mismos puntos en distintos momentos.
Los resultados obtenidos confirman el estado de equilibrio pero habría que esperar a la próxima medición de contenido de carbono en los puntos estudiados para confirmar este estado.

Palabras clave
Cuantificación CO_2, sumideros, Redes Europeas de Seguimiento de Daños, LULUCF.

1. Introducción

La cuantificación periódica del papel de los bosques como sumideros forestales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la cumplimentación de tablas normalizadas (CRFs) e Informes Nacionales de Inventario de Emisiones (NIR por sus siglas en inglés) (MAGRAMA, 2012) se ha realizado hasta el momento teniendo en cuenta la biomasa viva, y considerando que el carbono en el suelo forestal no constituye una fuente emisora de CO_2 (nivel de precisión 1 para los suelos minerales, según la GPG-2003, IPCC).

Sin embargo, las concentraciones de carbono en suelos representan el mayor sumidero terrestre de carbono orgánico y el no presentar datos al respecto supone una pérdida de información relevante sobre su posible efecto sumidero. Para subsanar este problema ha sido necesaria la creación de una base de datos que contenga toda la información disponible en España sobre el carbono en suelos forestales. Los criterios de selección están orientados a su uso en:

- La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Informe Nacional del Inventario de Emisiones, Sector 5 Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Selvicultura (LULUCF por sus siglas en inglés).
- El Protocolo de Kioto. Información complementaria en el mencionado Informe Nacional del Inventario de Emisiones (capítulo 11).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en su Guía de Buenas Prácticas (IPCC, 2003) propone metodologías para calcular el stock y las variaciones de gases de efecto invernadero asociadas al sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Selvicultura. En lo que a este proyecto concierne, se han tenido en cuenta los apartados relacionados con las variaciones de carbono en suelos forestales (zonas forestales o bosque que se mantiene como bosque), basando los procesos de cálculo en las indicaciones de la citada Guía, GPG-2003 en lo sucesivo.

Conceptualmente, las emisiones o absorciones de carbono del depósito de suelos forestales minerales pueden calcularse en forma de variaciones anuales de las reservas de carbono orgánico del suelo para un área de tierras forestales que experimente una transición del estado *i* al estado *j*, donde cada estado corresponde a una combinación dada de tipo de bosque, intensidad de gestión y régimen de alteración (GPG-2003). La información puede aportarse en 3 niveles (tiers) de precisión:

Nivel 1 (Tier 1): Este nivel es apropiado para los países que utilizan el procedimiento por defecto de las Directrices del IPCC, o para los países en que esta subcategoría no es importante y no existen apenas datos específicos del país sobre el Carbono Orgánico del Suelo (COS) de los suelos forestales minerales, relacionado con los distintos tipos de bosque, prácticas de gestión y regímenes de alteración dominantes. Las metodologías del Nivel 1 están basadas en el supuesto de que cuando el bosque sigue siendo bosque las reservas de carbono en la materia orgánica del suelo no varían, con independencia de los cambios de gestión del bosque, del tipo de bosque o del régimen de alteración (es decir, COSj = COSi =…= COSn); en otras palabras, las reservas de carbono en los suelos minerales permanecen constantes siempre y cuando las tierras sigan siendo bosques.

Nivel 2 (Tier 2): Los países que tienen la obligación de informar sobre este reservorio han de desarrollar o seleccionar unos factores de ajuste $f_{\text{tipo bosque}}$, $f_{\text{intensidad gest}}$ y $f_{\text{régimen alt}}$ representativos, que reflejen el impacto de diferentes tipos de bosque, prácticas de gestión o regímenes de alteración sobre el COS mineral, y un valor de referencia COSref para sus propios ecosistemas forestales nativos no gestionados. Se deben desarrollar valores de ámbito nacional para el período de transición T, y podrá modificarse el supuesto de que las tasas de variación del COS son lineales, a fin de reflejar mejor la dinámica temporal real del secuestro o liberación del carbono del suelo.

Nivel 3 (Tier 3): El Nivel 3 es apropiado para los países en que las emisiones/absorciones en los suelos minerales de sus bosques gestionados son importantes siempre que los conocimientos actuales y los datos disponibles permitan desarrollar una metodología de estimación exacta y de alcance completo a nivel nacional. Para ello es necesario desarrollar, validar y aplicar un plan de vigilancia de ámbito nacional y/o una herramienta de modelización, junto con los parámetros correspondientes.

Los dos últimos niveles de precisión son los más exactos para informar de los distintos reservorios de la categoría clave "Bosque" y deben llevarse a cabo por los países desarrollados (Anexo I de la Convención), entre los que se encuentra España. Para alcanzar dicho objetivo, aprovechando los estudios históricos ya realizados en territorio español, se desarrolló el estudio aquí expuesto.

2. Objetivos

El proyecto denominado "Desarrollo del Sistema de Información Nacional y Autonómica sobre el Estado de Salud de los Bosques (Sector Reservorio de Carbono en los Suelos)" pretende completar y mejorar los apartados correspondientes a carbono en suelos del NIR y de las tablas CRFs de la Convención y del Protocolo, a nivel nacional y con su desagregación autonómica.

El fin principal es establecer la base para desarrollar unos niveles de precisión mayores (Tier 2 ó Tier 3) en la información aportada sobre los sumideros forestales de manera que, integrando los resultados de este trabajo en las próximas ediciones del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se puedan satisfacer las necesidades de información para el Protocolo de Kioto y posteriores acuerdos internacionales que entrarán en funcionamiento a partir de 2013.

Los pasos propuestos para conseguir este objetivo se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Búsqueda y recopilación de información relativa a los depósitos de carbono en los suelos forestales.
- Homogenización y proceso de los datos recogidos. Comparación de metodologías utilizadas.
- Estudio de la evolución de los suelos con el tiempo, mediante la comparación de datos en distintos momentos. Avance de estimación de la posible evolución en 10 años del estado de los suelos y del contenido de carbono en ellos.
- Análisis de modelos de estimación forestal que incluyan suelos y estudio de su posible aplicación con los suelos españoles.

3. Metodología

3.1 Obtención de la información de base

Se ha realizado una búsqueda exhaustiva de toda la información disponible de los depósitos de carbono contenidos en los distintos tipos de suelo forestal.

Como punto de partida se decidió contactar con las universidades españolas relacionadas con el mundo forestal y la Edafología, así como centros de investigación nacionales que tienen especializaciones forestales.

Contando con la información disponible se evaluó la estructura y contenido de sus bases de datos en relación a las metodologías utilizadas y amplitud de los muestreos. Toda la información proporcionada fue examinada y clasificada, y en algunos casos, puesto que mucha de la información encontrada es también la necesaria para la generación de la base de datos objetivo de este trabajo, se la consideró como una posible fuente de datos principal y se

procedió a realizar un análisis más exhaustivo de su contenido. Es el caso de la Cátedra de Edafología (Departamento de Silvopascicultura) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid y del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA).

3.2. Procesos de conversión realizados y estructura final de los ficheros entregados

Proceso de datos:

Mediante el proceso de datos, a través de un análisis exhaustivo de cada fuente, se hizo una nueva selección de las bases de datos distinguiendo entre las utilizables para el objetivo final del proyecto y las que no. Este análisis consiste básicamente en:

- Estudio de las metodologías: profundización en las metodologías usadas para cada base de datos en cuanto a la recogida de muestras, técnicas de laboratorio utilizadas y elaboración y tratamiento de datos.
- Estudio de comparabilidad: para obtener una base de datos común es necesario que las cifras se hayan obtenido con unos criterios y metodologías iguales o, al menos, comparables. En el segundo caso, se especificará de qué forma y en qué grado son comparables.

Generación de base de datos:

A partir de las fuentes de información seleccionadas en el proceso de datos se ha generado una base de datos común en formato Access, que permite manejar la información necesaria para la aplicación de la metodología recomendada en la Guía de Buenas Prácticas del IPCC. Los resultados de la base de datos común, una vez hecho un estudio de la homogeneización de las fuentes estudiadas, vienen asociados a las características del punto donde se tomó la muestra.

3.3. Estudio de la evolución temporal de los suelos y contenido de carbono, estimación de posible evolución futura

Con la información obtenida se ha hecho un avance de estimación de la posible evolución de estos suelos y de la variación de los depósitos de carbono en ellos para los próximos 10 años.

Se pretende obtener un valor de carbono aproximado en suelos forestales para el año 2020, y para ello se parte de distintos valores reales de carbono superficial conocidos en distintos estudios realizados hasta la fecha por todo el territorio nacional. Al tener datos reales en distintos años la idea inicial que se propone es extrapolar estos datos en el tiempo a un intervalo común.

La información manejada procede del análisis de muestras obtenidas en calicatas realizadas en distintos estudios. Las bases de datos disponibles pueden agruparse en:

- Estudios ecológicos (fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid)
- Redes de daños (fuente: INIA-Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal)

Para hacer una estimación temporal lo suficientemente precisa de la evolución de los suelos y de su contenido de carbono resulta imprescindible tener varias mediciones en el tiempo para una misma localización, siendo, el principal problema la escasez de datos disponibles y la heterogeneidad de estos datos en algunas fuentes.

3.4. Búsqueda y análisis de modelos de carbono en suelos y estudio de la posible aplicación a los suelos españoles

A continuación se enumeran los modelos que han sido considerados interesantes para esta tarea: GORCAM (Graz Oak Ridge Carbon Accounting Model), GOTILWA+, CO2FIX, CO2LAND, CARBINE, CAMfor (Carbon Accounting Model for Forests), CBM - CFS3, EFISCEN (European Forest Inforamtion Scenario Model), 3PG (Physiological Principles Predicting Growth), Biome-BGC, CENTURY y TEM (Terrestrial Ecosystem Model)

También se han estudiado las siguientes aplicaciones: programa informático MAIA y herramienta TARAM (Tool for Afforestation and Reforestation Approved Methodologies)

Se ha realizado un análisis de la posibilidad de aplicación de los modelos descritos en el caso de los datos recopilados en este trabajo en cuanto a la evolución del contenido de carbono en los suelos forestales. Algunos de los datos requeridos para el buen funcionamiento de los modelos están disponibles y son comunes a las distintas bases de datos manejadas pero hay otros datos que son específicos de cada modelo.

4. Resultados

4.1. Obtención de la información de base

En la mayoría de los casos, los estudios encontrados eran muy parciales, no conteniendo la información mínima necesaria requerida para una correcta elaboración de la base de datos. Se trataba además de estudios localizados en puntos concretos y bajo condiciones muy específicas, resultando imposible hacer una extrapolación de los datos para su utilización a nivel nacional, lo que ha hecho que muchas de estas posibles fuentes de datos fueran rechazadas. Los estudios seleccionados por la posible utilidad de su contenido para la base de datos a crear han sido:

- GANDULLO J. M., BLANCO A., SÁNCHEZ O., RUBIO A., ELENA R., GÓMEZ V.; 2004. Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.
- SÁNCHEZ O., JOVELLAR L. C., SARMIENTO L. A., RUBIO A., GANDULLO J. M.; 2007. Las estaciones ecológicas de los alcornocales españoles. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.
- GANDULLO J. M., BLANCO A., SÁNCHEZ O., RUBIO A., ELENA R., GÓMEZ V.; 2004. Las estaciones ecológicas de los castañares españoles. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.
- SÁNCHEZ O., ROIG S., DEL RÍO M., RUBIO A., GANDULLO J. M.; 2008. Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los rebollares españoles. Ministerio de Ciencia e Innovación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.
- SÁNCHEZ O., ELENA R., CARRETERO M. P.; 1990. Caracterización edáfica de los pinares autóctonos españoles de *Pinus nigra* Arn. Ministerio de Agricultura, Pesca y

Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, nº 55. Madrid.

- SÁNCHEZ O., ELENA R., CARRETERO M. P.; 1985. Estudio fisiográfico y climático de los pinares autóctonos españoles de *Pinus nigra* Arn. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, nº 36. Madrid.

Además se contó con la información de otros dos estudios, que aún no habían sido publicados en el momento del análisis:

- SÁNCHEZ O., GANDULLO J. M., ROIG S., LÓPEZ E. Estaciones ecológicas actuales y potenciales de los encinares peninsulares españoles.
- SÁNCHEZ O., GANDULLO J. M., ALONSO R., ROIG S., LÓPEZ E. Estaciones ecológicas actuales y potenciales de los sabinares albares peninsulares españoles.

En cuanto a los datos aportados por el INIA, se consideraron interesantes para su análisis los resultantes de los proyectos:

- Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Nivel I) en España, 2006-2008.
- Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Nivel II) en España, 1993-1995.
- Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Nivel II) en España, 2008.

Los resultados correspondientes a estos estudios aún no estaban validados ni verificados por la Unión Europea por lo que no se encontraban publicados. El carácter provisional de las bases de datos mencionadas implica que todas ellas están sujetas a modificaciones futuras que incluirán desde simples cambios de formato a la inclusión de nuevos campos, consecuencia de la conclusión de análisis de muestras, aún no finalizados. Por otro lado sólo se proporcionaron datos derivados del análisis de toma de muestras de suelos y en algún caso únicamente se entregaron resultados de carbono orgánico, dato estrictamente necesario para el estudio de evolución de suelos y carbono con el tiempo y para la estimación de posible evolución futura.

Como trabajo con datos ya validados y publicados se uso el siguiente:

- MONTOYA R., LÓPEZ M., SÁNCHEZ G.; 1997. La Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Nivel I). España, 1987-1996. Publicaciones del O. A. Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

4.2. Procesos de conversión realizados y estructura final de la base de datos

La base de datos total, elaborada en Microsoft Access es una recopilación de todos los datos obtenidos durante la fase de búsqueda y recopilación de datos, una vez realizado el examen o análisis. Se utilizaron las bases de datos antes referidas, proporcionadas por la Cátedra de Edafología de la E.T.S.I. de Montes y las diferentes bases de datos de la Red Europea de Nivel I y de la Red Europea de Nivel II.

La base de datos se puede dividir en dos secciones principales:

- Por un lado se encuentran las bases de datos originales, tal y como se obtuvieron de las fuentes seleccionadas.
- Por otro lado se incorporan las bases de datos una vez realizados los cambios que se han considerado necesarios para obtener un resultado homogéneo y comparable. Esto incluye cálculos de carbono, homogeneización de unidades y coordenadas, etc.

En la base de datos, dentro de cada una de las dos secciones comentadas anteriormente, se encuentran las tablas para consulta que contienen información relativa a los estudios seleccionados ya presentados.

Los factores más importantes a tener en cuenta y que se han incluido en la base de datos son: localización, descripción y vegetación de la zona, el tipo de suelo y la localización y estado o forma del carbono en el suelo.

4.3. Estudio de la evolución temporal de los suelos y contenido de carbono, estimación de posible evolución futura

Para cumplir el objetivo planteado hay que realizar un estudio de la evolución de los depósitos de carbono en los suelos forestales a lo largo del tiempo. Para ello deben compararse suelos en iguales condiciones o situaciones comparables, en distintos momentos. Esta circunstancia sólo se da en el caso de las Redes Europeas de Seguimiento de Daños, Nivel I y Nivel II, de las que por el momento se dispone, para alguna de sus parcelas, de dos mediciones.

No ocurre lo mismo con la caracterización de las estaciones ecológicas de las distintas especies forestales (estudios ecológicos), donde sólo hay una medición en el tiempo. Por lo tanto se procederá de la siguiente manera para la obtención de resultados y conclusiones sobre el contenido de carbono en los ecosistemas forestales y su evolución en el tiempo:

1. Análisis de tendencias. Estudios ecológicos
2. Estimación de la posible evolución de los suelos y de la variación de los depósitos de carbono. Redes de daños

Con la información obtenida se hace un avance de estimación de la posible evolución de estos suelos y de la variación de los depósitos de carbono en ellos para los próximos 10 años. Se pretende obtener un valor de carbono en suelos para el año 2020, y para ello se parte de distintos valores reales de carbono superficial conocidos en distintos estudios realizados hasta la fecha por todo el territorio nacional. Al tener datos reales en distintos años la idea desarrollada es extrapolar estos datos en el tiempo de manera que se obtenga un modelo sencillo para poder predecir la cantidad de carbono superficial que tendrán en el año 2020 los suelos forestales españoles a partir de los datos disponibles actualmente.

<u>Redes de seguimiento:</u>

La toma de muestras de suelos en ambas redes se hace de acuerdo a unas condiciones establecidas, y los análisis en el laboratorio se realizan según los mismos métodos, de manera que los resultados obtenidos en ambas redes son comparables. Las muestras se han recogido exactamente en los mismos sitios, por lo que la diferencia entre los valores de las mediciones es un valor real de aumento o disminución del carbono superficial en el suelo. Es conveniente destacar que los datos de las segundas muestras están todavía sin verificar, por lo que este estudio queda pendiente de revisión, a espera de la validación de los datos.

Para cada uno de estos puntos y parcelas se tienen dos datos de carbono superficial (CS):

- CS_1, valor de carbono superficial correspondiente al año A_1 primer año de medición,
- CS_2, valor de carbono superficial correspondiente al año A_2 segundo año de medición.

El porcentaje de carbono superficial ha variado en $\Delta CS2\text{-}1=CS2\text{-}CS1$, en un número de años de $\Delta A=A2\text{-}A1$. Como se ha considerado un incremento constante, el incremento correspondiente a cada año se corresponde a la relación del incremento total de carbono y el número de años que han transcurrido:

$$i_{cs} = \frac{\Delta CS_{2-1}}{\Delta A_{2-1}} = \frac{(CS_2 - CS_1)}{A_2 - A_1}$$

Siendo i_{cs} el incremento anual de carbono superficial

Suponiendo el incremento constante, el porcentaje de carbono el año siguiente del último muestreo será de CS_2+i_{cs}, al siguiente año será de CS_2+2i_{cs} y así sucesivamente. En el año 2010 habrán pasado un número de años correspondientes a la cuenta $2010\text{-}A_2$ años, en los cuales el carbono superficial va a aumentar i_{cs} cada año:

$$\Delta CS_{A-2} = i_{cs} \cdot (2010 - A_2)$$

Siendo $\Delta CS_{A\text{-}2}$ el incremento de carbono superficial entre 2010 y el año A_2

El carbono superficial que habrá en el año 2010 será igual al carbono superficial que hay en el segundo año de muestreo más el incremento que se produzca entre el segundo año de muestreo y el año 2020:

$$CS_A = CS_2 + \Delta CS_{A-2} = CS_2 + i_{cs} \cdot (2010 - A_2)$$

De la misma manera se pueden calcular los porcentajes de carbono superficial en los distintos años. En el año 2020, el carbono será:

$$CS_A = CS_2 + \Delta CS_{A-2} = CS_2 + i_{cs} \cdot (2020 - A_2)$$

A continuación se muestra la Tabla 1 a modo de ejemplo los resultados obtenidos para la Red Europea de Seguimiento de Daños de Nivel II:

Tabla 1: Resultados de los dos muestreos y el incremento anual calculado para las parcelas de Nivel II

PARCELA	1º muestreo		2º muestreo		Incremento anual (%)
	C total (%)	Año	C total (%)	Año	
5Ps	4,58	1993	4,27	2008	-2,020
6Qi	7,25	1993	7,83	2008	0,039
10Ppa	0,73	1993	0,53	2008	-0,013
11Qs	1,98	1994	1,81	2008	-0,012
15Fs	4,62	1996	7,56	2008	0,245
22Pn	6,33	1996	5,72	2008	-0,051
25Ph	5,16	1996	4,23	2008	-0,078
26Qi	1,57	1996	2,81	2008	0,104
30Ps	3,59	1996	2,37	2008	-0,101
33Qpe	7,00	1996	5,29	2008	-0,142
37Ppr	0,44	1996	1,40	2008	0,080

Por el momento sólo se dispone de datos de muestras tomadas en dos momentos distintos para cada punto o parcela; por lo que se tiene un único valor de incremento por

punto y parcela. El incremento es positivo cuando el porcentaje de carbono superficial ha aumentado y negativo cuando se ha producido un descenso en el porcentaje de carbono. No se conoce la evolución de carbono superficial en ese periodo de años, medido en incremento, por lo que cabe suponer que la variación ha sido constante todos los años dentro de ese periodo. En un futuro, cuando se disponga de mediciones reales de más años se podrá valorar la tendencia de los incrementos de carbono superficial en los suelos, si se mantienen constantes cada año como se ha supuesto en este estudio o si bien el incremento anual aumenta o disminuye en el tiempo.

Estudios ecológicos:

Ya que la información aportada por los estudios ecológicos no va a poder usarse directamente para la estimación, se la va a someter a un proceso estadístico orientado a detectar tendencias o correlaciones entre varios parámetros. En el estudio se ha valorado la utilidad de estos datos para dar conclusiones sobre el objetivo propuesto.

Antes de empezar, se integran todos los elementos disponibles en unas tablas comunes en las que se hacen adaptaciones para facilitar el análisis de datos. Una vez preparada la base de datos conjunta, se procede a realizar distintos análisis. Las pruebas realizadas son las siguientes:

1. Regresiones temporales (Carbono superficial (CS) con año de muestreo, tipo de suelo, especie principal de la masa). Como el tipo de suelo y la especie principal de la masa son variables cualitativas, se buscaron funciones potenciales de CS agrupando los datos a partir de las variables mencionadas.
2. Relación pH/Contenido de carbono.
3. Relación Parámetros Climáticos/Contenido de carbono.

En un primer contacto con los datos se recogen unos resultados generales orientativos y posteriormente se pasa a la evaluación de las relaciones por especie y tipo de suelo:

- Regresiones temporales: se hicieron regresiones relacionando las distintas especies con los tipos de suelo. No se obtuvieron resultados válidos ya que la muestra obtenida para las distintas relaciones era muy pequeña.
- Relación pH/Contenido de carbono: los datos de base se agrupan en 5 clases según su pH actual y se estudia la variación de este pH con el tiempo. Los coeficientes de determinación para cualquiera de los tipos de función empleada son menores de 0,10.
- Relación Parámetros Climáticos/Contenido de carbono: se estudia la relación del contenido de carbono con precipitación y temperaturas y con la evapotranspiración potencial.

4.4. Búsqueda y análisis de modelos de carbono en suelos y estudio de la posible aplicación a los suelos españoles

Se analizaron todos los modelos presentados en el punto “Metodologías”, resumimos las observaciones de los que se consideran más interesantes para el objetivo del proyecto:

- el modelo GORCAM necesita unos parámetros de entrada del modelo que describan el régimen de gestión, como el ciclo de cortas, crecimiento, etc., el uso del suelo antes del proyecto y la forma de utilización de la biomasa;
- el modelo GOTILWA+ requiere datos fisiológicos del árbol, como parámetros de conductancia estomática y fotosíntesis, o datos climáticos como la velocidad del viento, características de la masa (como el turno, en función de qué parámetros está basado el crecimiento, la mortalidad y la competencia, etc.) o la radiación global;

- en el modelo CO2FIX, algunos de los datos a introducir son la producción de madera (en volumen por hectárea) para cada uno de los rodales, datos relativos a la mortalidad (ya sea natural o debida a actividades selvícolas) o el crecimiento de la biomasa;
- para poder utilizar el modelo CBM-CFS3 se necesita un inventario forestal detallado que incluya especies principales estratificadas en clases, volumen, edad, perturbaciones, etc., además de datos relativos al crecimiento y producción, para lo cual deben crearse curvas de volumen/edad para las especies o grupos de especies, o parámetros de descomposición, detritus y mortalidad.

En el análisis de todos los modelos y herramientas planteados inicialmente, se puso especial atención en los inputs necesarios y los outputs resultantes más que en los procesos intermedios de obtención de los mismos.

5. Discusión

En cuanto a los resultados obtenidos del proceso estadístico aplicado al conjunto de los datos correspondientes a los estudios ecológicos cabe destacar:

Al dividir los elementos en subgrupos de misma especie y mismo tipo de suelo se consiguen numerosos subgrupos (28 del castaño, 51 del haya, etc.) cada uno compuesto de un número muy pequeño de elementos, en general insuficientes para hacer un tratamiento estadístico. Además, en los subgrupos compuestos por un mayor número de muestras, las funciones de regresión halladas tienen coeficientes de determinación muy bajos.

Las relación pH/contenido carbono indica que el pH actual (PHA) tampoco es un estimador válido para una extrapolación de datos. Se obtuvieron sin embargo varias particularidades al agrupar los registro por clase de PHA; en general, los valores más altos de CS se registran en el grupo 4 (7<PHA<8) y los más bajos en el grupo 3 (6<PHA<7) y después en el 2 (5<PHA<6); los valores extremos tienen valores más próximos a la media.

Algunos parámetros climáticos tienen una pequeña relación con la cantidad de carbono superficial en el suelo, mientras que otros no tienen ninguna relación. Las funciones de regresión que ofrecen mayor coeficiente de determinación son en general potenciales en los casos de precipitaciones y temperaturas medias anuales, y también para los datos relacionados con primavera y verano, mientras que las variables asociadas a los meses fríos (precipitaciones en otoño y en invierno) y temperatura media del mes más frío (TMF), no tienen ninguna relación con el carbono del suelo; la evapotranspiración potencial tiene una relación con el carbono del suelo similar a la de precipitación y temperaturas medias. En cualquier caso, la relación que existe entre los parámetros climáticos y el carbono en suelo es pequeña, si bien es probable que el clima influya en el carbono del suelo, tiene que haber otros factores asociados, por sí solos los parámetros climáticos no determinan el carbono superficial del suelo.

En cuanto a los modelos estudiados podemos decir que los datos que se han recopilado en este trabajo se centran en datos edafológicos y no cubren las exigencias de estos modelos, por lo que su aplicación directa no es posible.

6. Conclusiones

La conclusión principal de este estudio es que el grupo de bases de datos que contiene los resultados de los distintos estudios de estaciones ecológicas no es válido para lograr el objetivo planteado. El carbono superficial es un parámetro muy concreto de cada punto, y en este estudio queda demostrado que la comparación de contenido de carbono superficial en distintos puntos no aporta ninguna información útil ya que existe una dispersión de valores muy elevada.

Los datos que se manejan en este estudio se han tomado en masas de distintas especies forestales y en distintas regiones, y no se puede conocer el peso que tiene cada uno de estos factores en la variación del carbono superficial. Además se ha comprobado que cada grupo de datos homogéneos (misma especie, mismo suelo y mismo año de muestreo) está representado en general por pocos elementos, insuficientes para obtener conclusiones estadísticas, y en los pocos casos en los que se tiene un número suficiente de datos se ha observado que la variabilidad de los datos es elevada, por lo que los valores medios no son representativos; la cantidad de carbono superficial presente en cada suelo no tiene una relación clara ni con el tipo de suelo, ni con el pH del suelo, ni con los parámetros climáticos, ni con la especie forestal principal presente en la zona, y no se puede predecir la cantidad de carbono superficial que se va a encontrar en un suelo conocidos estos parámetros. Las curvas de regresión en el tiempo obtenidas en este estudio, al tener coeficientes de determinación muy bajos, dan valores para años futuros poco creíbles.

Por todo lo expuesto, se concluye que este grupo de bases de datos no aporta información suficientemente útil para poder hacer una estimación de la evolución temporal de la cantidad de carbono superficial del suelo extrapolando resultados al futuro.

Para poder hacer uso de la totalidad de los datos recopilados se debería disponer de un modelo sencillo que pudiera realizar una estimación global a partir de los datos de entrada de los que se dispone en este trabajo. Por el momento, las bases de datos que resultan apropiadas para hacer una primera estimación de la evolución del contenido de carbono en suelos forestales españoles son las asociadas a la Red Europea de Seguimiento de daños de Nivel I y la Red Europea de Seguimiento de daños de Nivel II.

7. Agradecimientos

La Cátedra de Edafología de la E.T.S.I. Montes y la Unidad de Cambio Climático y Daños en los Bosques del CIFOR-INIA han colaborado activamente en este proyecto, proporcionando los estudios de base así como asesorando en el procesado de los resultados de los mismos. El CENDANA de la DGMRyPF generó y realizó el proceso de validación de los datos finales que se utilizaron para la creación de la base de datos objetivo del estudio que se ha presentado. Su asesoramiento y opinión han contribuido de una forma valiosa a la mejor comprensión de los datos de base.

8. Bibliografía

GANDULLO, J.M.; BLANCO, A.; SÁNCHEZ, O.; RUBIO, A.; ELENA, R.; GÓMEZ, V.; 2004. Las estaciones ecológicas de los castañares españoles. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.

GANDULLO, J.M.; BLANCO, A.; SÁNCHEZ, O.; RUBIO, A.; ELENA, R.; GÓMEZ, V.; 2004. Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE; 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, 2003 (Guía de Buenas Prácticas para el Uso de la Tierra, el Cambio de Uso de la Tierra y la Silvicultura).

MAGRAMA; 2012. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España para los años 1990-2010.

MONTOYA, R.; LÓPEZ, M.; SÁNCHEZ, G.; 1997. La Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques (Nivel I). España, 1987-1996. Publicaciones del O. A. Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

SÁNCHEZ, O.; ELENA, R.; CARRETERO, M.P.; 1985. Estudio fisiográfico y climático de los pinares autóctonos españoles de *Pinus nigra* Arn. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, nº 36. Madrid.

SÁNCHEZ, O.; ELENA, R.; CARRETERO, M.P.; 1990. Caracterización edáfica de los pinares autóctonos españoles de *Pinus nigra* Arn. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, nº 55. Madrid.

SÁNCHEZ, O.; JOVELLAR, L. C.; SARMIENTO, L.A.; RUBIO, A.; GANDULLO, J.M.; 2007. Las estaciones ecológicas de los alcornocales españoles. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.

SÁNCHEZ, O.; ROIG, S.; DEL RÍO, M.; RUBIO, A.; GANDULLO, J.M.; 2008. Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los rebollares españoles. Ministerio de Ciencia e Innovación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.