

**ESTUDIO SOBRE LA FUNCIONALIDAD DE LA
VEGETACION LEÑOSA DE ARAGON COMO SUMIDERO
DE CO₂: EXISTENCIAS Y POTENCIALIDAD
(ESTIMACION CUANTITATIVA Y PREDICCIONES DE
FIJACION)**

**Informe final
Diciembre 2008**



Union Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



Departamento de Medio Ambiente

Título: Estudio sobre la funcionalidad de la vegetación leñosa de aragon como sumidero de CO₂: existencias y potencialidad (estimación cuantitativa y predicciones de fijación) Informe final Diciembre 2008

Promueve y dirige: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

Realiza: Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.

Esta acción es una de las cofinanciadas por la operación 49 del Programa Operativo FEDER 2007 - 2013, Objetivo competitividad y empleo para Aragón:
Eje 2: Medio Ambiente y prevención de riesgos.
Categoría 49: Mitigación y adaptación al cambio climático



*“No todo lo que puede ser contado cuenta,
ni cuenta todo lo que puede ser contado”*

Albert Einstein

INDICE

0 RESUMEN / ABSTRACT	4
1 INTRODUCCION	5
1.1 ANTECEDENTES	5
1.1.1 El cambio climático y los gases de efecto invernadero	5
1.1.2 El Carbono y su ciclo	6
1.1.3 El protocolo de Kyoto en el contexto europeo y español	6
1.1.4 Papel de la absorción por sumideros en la estrategia Española de cambio climático	8
1.2 OBJETIVO GENERAL DEL TRABAJO	11
2 FUNCIONALIDAD DE LA VEGETACION	12
2.1 METODOLOGÍA	12
2.1.1 Clasificación de la vegetación	12
2.1.2 Estimación de Carbono almacenado	14
2.1.2.1 Estimación en la vegetación agrícola	14
2.1.2.2 Estimación en la vegetación forestal arbórea de pies mayores	16
2.1.2.3 Estimación en la vegetación forestal arbórea de pies menores	21
2.1.2.4 Estimación en matorrales	22
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA GENERADO	25
2.3 CARBONO ALMACENADO	28
2.3.1 Resumen por fracción de vegetación	28
2.3.2 La agricultura, los cultivos leñosos y la fijación de CO ₂	30
2.3.3 CO ₂ fijado por el matorral	35
2.3.4 CO ₂ fijado por los pies menores	41
2.3.5 CO ₂ fijado por los pies mayores	42
3 POTENCIAL DE LA VEGETACION FORESTAL	49
3.1 POTENCIALIDAD DE LOS DISTINTOS ECOSISTEMAS FORESTALES EN ACUMULACIÓN DE CARBONO	49
3.2 ANÁLISIS DE LA FIJACIÓN DE CARBONO POR COMPARACIÓN DE INVENTARIOS FORESTALES	50
3.2.1 Pies mayores	50
3.2.2 Pies menores	54
3.3 LA SELVICULTURA DEL CARBONO	55
3.4 MODELIZACIÓN Y SIMULACIONES (CO ₂ FIX)	59
3.4.1 Casos de estudio	65
4 CONCLUSIONES	90
5 GLOSARIO DE TERMINOS	92
5 BIBLIOGRAFIA	96

0 RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una estimación global del CO₂ almacenado por la vegetación leñosa de Aragón y se plantea el papel de los bosques como sumidero. En este contexto algunas especies clave de la región son utilizadas como modelo de diferentes alternativas de gestión selvícola para la optimización de la fijación de CO₂.

La estimación de la biomasa y su transformación a CO₂ se ha calculado con base en ecuaciones alométricas de distribución de biomasa calculadas para las especies españolas y con los datos del Inventario Forestal Nacional.

Se ha obtenido información cuantitativa y cualitativa de 67 estratos vegetales (clasificación) en cuanto a capacidad de almacenamiento y tasa de fijación así como la cantidad de CO₂ almacenado por la vegetación leñosa agrícola por cultivo y término municipal.

La cifra global obtenida de CO₂ almacenado asciende a 206 millones de toneladas y la tasa de fijación media de la vegetación forestal arbórea es de 2.26 t CO₂ eq/ha año.

Un software de modelización selvícola (CO2FIX) se ha utilizado para evaluar diferentes alternativas de gestión desde el punto de vista de la fijación de CO₂. Se ha comprobado que el incremento de fijación puede llegar hasta el 70 % en algunos casos (Pino Carrasco).

0 ABSTRACT

On the framework of a global estimation of the CO₂ stored on woody vegetation in Aragon (a Spanish region of ca. 50.000 Km²) and the role of forests as CO₂ sink, some key species living in the region evaluated were used for modelling different forest management alternatives for Carbon sequestration optimization.

Estimates of biomass and CO₂ conversion were calculated on the basis of allometric equations calculated for Spanish species from National forest inventory raw data.

Quantitative and qualitative data on CO₂ stored and fixation rates from 67 natural vegetation strata are presented and CO₂ stocks in woody crops by municipality as well.

Total CO₂ reserve obtained reached 206 millions of tons and the average fixation rate was 2.26 t CO₂eq/ha year for woodlands.

CO2FIX software was used for modelling and simulating different scenarios. In the light of this model tool up to 70% of increment of CO₂ uptake can be achieved on the best practice for Carbon sequestration practice (i.e. in Aleppo pine).

1 INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 El cambio climático y los gases de efecto invernadero

El clima de la Tierra no es estático, ha estado y está sometido a variaciones en todas las escalas temporales, desde decenios a millones de años, con algunos episodios realmente destacables, evolucionando de forma natural. Sin embargo, existen ya pruebas convincentes y un consenso científico de que se ha puesto en marcha un nuevo tipo de evolución del clima, que se ha denominado “cambio climático” o “cambio global”, y que define la variación global del clima de la Tierra, y es debido también a causas naturales, pero sobre todo está influenciado por la acción del hombre sobre el planeta. El modo de producción y consumo energético de la población humana, sobre todo la industrializada, está provocando una alteración global del clima, que está provocando a su vez, serios impactos tanto sobre la tierra como sobre los sistemas socioeconómicos.

Este cambio climático está provocado por el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI). Estos gases envuelven al planeta reteniendo la energía térmica en la capa inferior de la atmósfera terrestre, permitiendo así la vida en el planeta tal y como la conocemos. Cuando los niveles de estos gases aumentan demasiado también lo hacen los niveles de energía retenida, provocando así un cambio en los ciclos de energía global que perturba las pautas naturales del clima.

Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los compuestos clorofluorcarbonados (CFC) y el ozono. De ellos la contribución relativa del efecto invernadero es del 60, 15, 5, 12 y 8% respectivamente. Por otra parte la vida media de estos gases en la atmósfera es de 50-200, 10, 120-150 y 0-400 días respectivamente. De estos gases sólo los CFC son de origen exclusivamente industrial. Buena parte de los aumentos que experimentan el CO₂, el metano y el óxido nitroso tienen su origen en los ecosistemas terrestres, pero entre un 8 y un 12 % de las emisiones de CO₂, cerca del 30% de las de metano y un alto porcentaje de las del óxido nitroso se deben a la intensa perturbación que ha realizado el ser humano en los ecosistemas terrestres.

La concentración actual de CO₂ atmosférico es 30% superior a la existente antes de la revolución industrial, y se están realizando grandes esfuerzos para intentar estabilizar la concentración de este gas en unos niveles aceptables. Para este propósito se han adoptado medidas conducentes a reducir las emisiones pero también se pretende aprovechar la capacidad de almacenamiento de carbono de los ecosistemas.

1.1.2 El carbono y su ciclo

El carbono del planeta se almacena en 5 grandes compartimentos: las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos y la biomasa vegetal. Estos compartimentos no son estancos unos de otros, sino que se encuentran interconectados mediante flujos y procesos (figura 1). Además, las actividades humanas tienen una repercusión directa sobre el flujo de carbono entre esos compartimentos, afectando a la distribución de carbono en cada uno de ellos. Se puede afirmar que del ciclo del carbono se conoce bastante bien la parte terrestre exógena, peor la oceánica exógena, pero aún menos lo referente al ciclo endógeno (sea terrestre o marino), aunque esto último sólo tendría efectos a escala geológica y no es de preocupación a un plazo de cientos o miles de años.

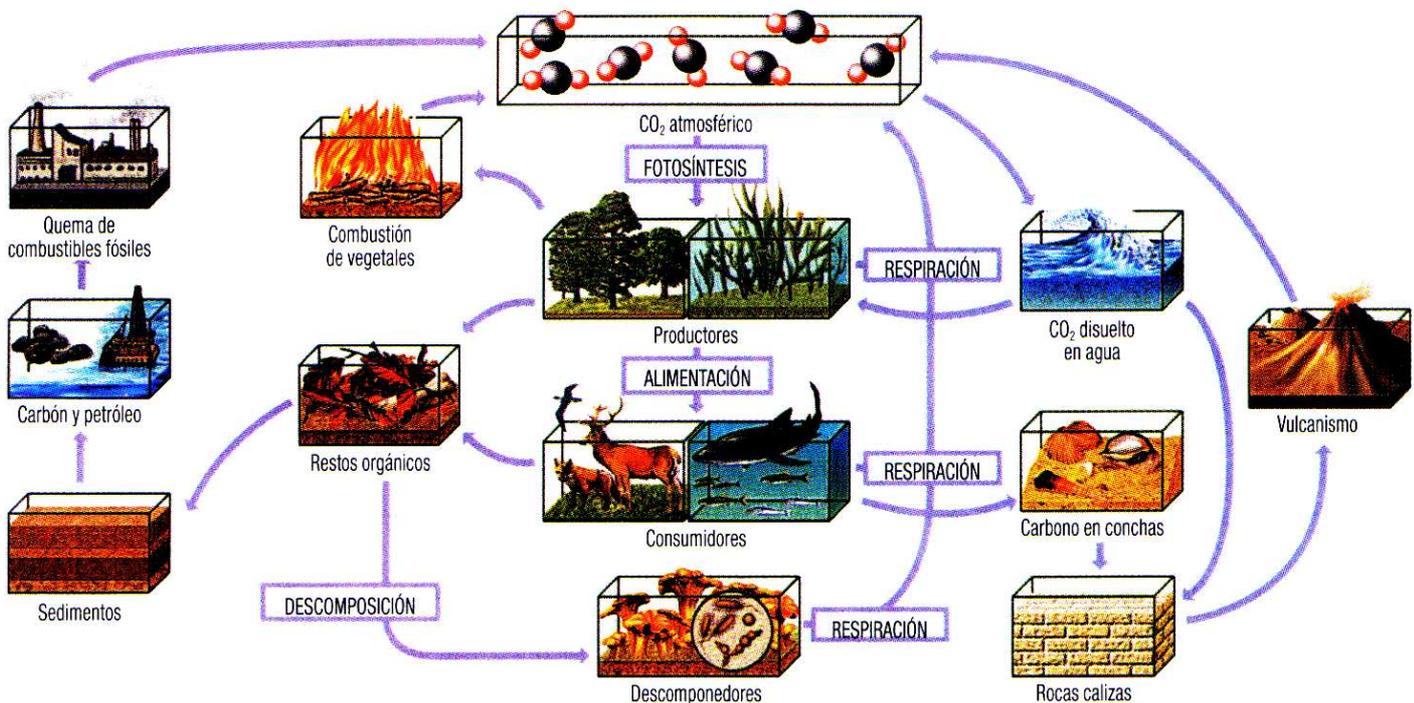


Figura 1.- El ciclo del carbono

1.1.3 El Protocolo de Kyoto en el contexto europeo y español

Las primeras pruebas de la influencia de la actividad humana en el clima salieron a la luz en 1979, en la primera Conferencia Mundial sobre el Clima. Desde entonces la preocupación pública por las cuestiones ambientales fue en aumento, y los gobiernos tomaron cada vez más conciencia de los problemas ambientales. La Naciones Unidas y sus Estados Miembros, conscientes de la gravedad de este problema mundial del cambio climático, adoptaron en 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Se encuentran adheridos a la Convención 188 Estados y la Comunidad Europea. A partir de aquí, se han creado organismos a nivel mundial y se han realizado numerosas reuniones e informes, que han derivado en la adopción de medidas a nivel mundial para luchar contra el cambio climático. Entre estas medidas está el Protocolo de Kyoto.

Este Protocolo fue aprobado en diciembre de 1997, en la tercera Conferencia de las Partes, de la Convención Marco, celebrada en Kyoto. En él se esbozaron

compromisos jurídicamente vinculantes de recorte de emisiones. Se recogían las normas básicas, pero no se especificaban con detalle cómo deberían aplicarse. El protocolo sólo podía entrar en vigor cuando fuera ratificado al menos por 55 Partes de la Convención, entre ellas un número de países industrializados incluidos en el Anexo I que representara al menos el 55 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono de dicho grupo en 1990. Así, el Protocolo de Kyoto pudo entrar en vigor el 16 de febrero de 2005. A fecha de junio de 2007, 84 países han firmado el Protocolo y 175 (incluidos los anteriores) lo han ratificado y aceptado.

Las normas del Protocolo se centran en los siguientes aspectos:

- Compromisos, con inclusión de objetivos sobre emisiones jurídicamente vinculantes y compromisos generales
- Ejecución, incluidas las medidas nacionales y tres nuevos mecanismos de ejecución
- Reducción al mínimo del impacto en los países en desarrollo, incluida la utilización del Fondo de Adaptación
- Contabilidad, información y examen, incluido el examen en profundidad de los informes nacionales
- Cumplimiento, incluido un Comité de Cumplimiento para evaluar y ocuparse de los casos problemáticos

Los objetivos sobre emisiones del Protocolo son jurídicamente vinculantes para las Partes incluidas en el Anexo, entre ellas España. Se prescriben objetivos de reducción o limitación de los GEI para 38 países y para el conjunto de la Comunidad Europea. Estos objetivos se enumeran en el Anexo B del protocolo.

En general, el compromiso mundial, para los países desarrollados y los países en proceso de transición a economía de mercado, es reducir individual o conjuntamente, durante el quinquenio 2008-2012 al menos un 5% las emisiones de 1990 de los gases de efecto invernadero objeto de control. La Unión Europea, aceptó un compromiso de reducción, para el mismo período, del 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las emisiones de 1990. Este compromiso se distribuyó entre los Estados miembros en el Consejo de Ministros de Medio Ambiente de 16 de junio de 1998, correspondiéndole a España en este “reparto de la carga” un incremento del 15% sobre las emisiones de 1990.

Además de reducir las emisiones, el Protocolo establece distintos mecanismos para el cumplimiento de los compromisos:

- Comercio de emisiones: Entre países o entre instalaciones. El conjunto máximo de emisiones para España es el resultado de sumar las que producía en 1990 (que se considera como año base), más un 15% de incremento.
- Mecanismo para un desarrollo limpio: Un país desarrollado puede invertir en otros países en desarrollo para ejecutar proyectos destinados a reducir las emisiones de estos gases. El país inversor se apunta en su cuenta las reducciones conseguidas y el receptor consigue nuevas inversiones.
- Implementación conjunta: Es similar a la anterior pero entre países desarrollados o países en transición a economía de mercado. En este caso el receptor de la inversión debe descontarse de su cuenta las toneladas de emisión transferidas al país inversor (en cierto modo es como si vendiera una parte de sus derechos de emisión).
- Los sumideros de CO₂, que son principalmente los bosques. Este mecanismo, que todavía tiene que desarrollarse, está orientado en principio a acciones de reforestación, pero no puede resolver compensaciones importantes.

Así, los dos grandes mecanismos para frenar el cambio climático son por un lado disminuir la producción de CO₂ y por otro aumentar la fijación del mismo, objetivo en el que juegan un papel destacado los sistemas forestales, especialmente los bosques.

1.1.4 Papel de la absorción por sumideros en la estrategia española de cambio climático

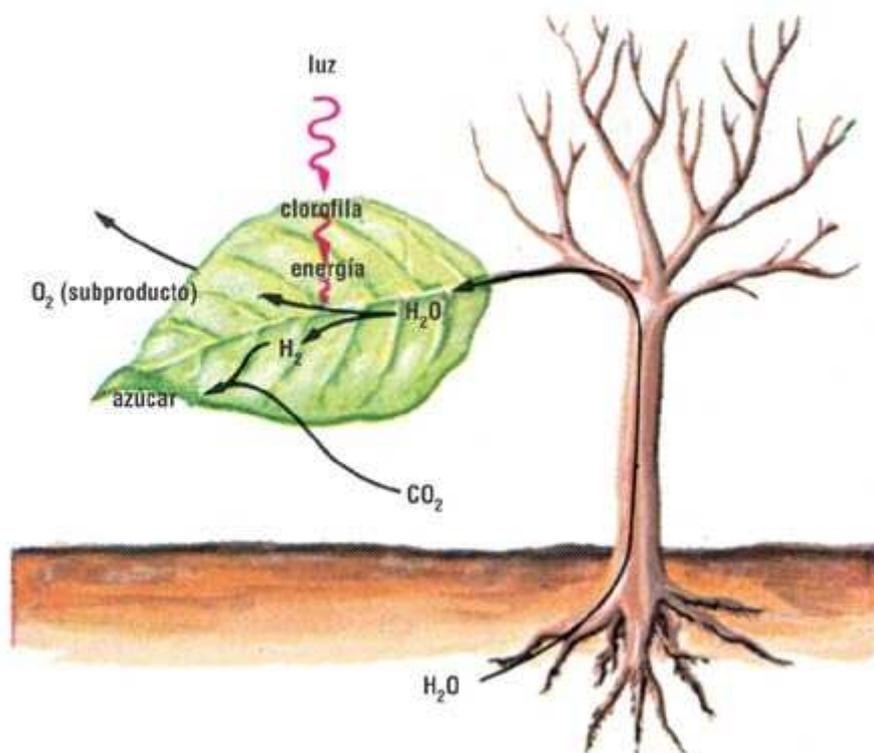


Figura 2.- La fotosíntesis

El proceso de fijación de carbono por la vegetación se debe a que las plantas son organismos autótrofos que producen su materia viva o biomasa mediante la fotosíntesis a partir de la energía solar y del CO₂ atmosférico con el concurso del agua. Obviamente se requieren otros elementos pero cuantitativamente y para el fin que nos ocupa éstos son los actores fundamentales del proceso. Podríamos entender el proceso como una clara aplicación de la ecuación que relaciona la energía con la materia ($E=mc^2$).

La biomasa es una variable estructural clave para conocer el papel de la vegetación en el ciclo del carbono y sus alternativas de gestión. Su cálculo o la estimación de sus existencias es esencial para el posterior análisis del contenido del carbono fijado por las plantas.

Un sumidero es todo proceso o mecanismo que hace desaparecer de la atmósfera un gas de efecto invernadero. Un reservorio dado puede ser un sumidero de carbono atmosférico si, durante un intervalo de tiempo, es mayor la cantidad de carbono que afluye a él que la que sale de él.

En el marco del Protocolo de Kyoto se refiere a la eliminación de carbono de la atmósfera derivada de ciertas actividades en el sector de uso de la tierra, cambio de uso del suelo y selvicultura (LULUCF). Estas actividades son forestación y

reforestación (artículo 3, párrafo 3 del Protocolo de Kyoto) y la gestión de tierras agrícolas, gestión de bosques, gestión de pastizales y restablecimiento de la vegetación (artículo 3, párrafo 4 del Protocolo de Kyoto: actividades adicionales elegibles por las Partes del Protocolo).

La definición de “bosque” adoptada por España establece como parámetros básicos:

- Cubierta mínima de copas: 20%
- Unidad mínima de superficie: 1 hectárea
- Altura mínima de los árboles en su madurez: 3 metros

En cuanto a las actividades elegibles en el ámbito del párrafo 4 del artículo 3 del Protocolo de Kyoto, España ha elegido la gestión de bosques y la gestión de tierras agrícolas.

Pero no todo lo que se absorbe como consecuencia de estas actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura, es contabilizable. Las normas de contabilización del Protocolo de Kyoto establecen que sólo aquellas absorciones producidas por actividades realizadas desde 1990, directamente inducidas por el hombre y, ante todo, verificables, pueden ser contabilizadas, y sólo se contabilizarán las absorciones producidas por estas actividades entre 2008 y 2012, es decir, no se contabiliza el carbono almacenado, sino que se contabiliza el aumento de carbono absorbido que cumple con los requisitos que establece el Protocolo, durante el periodo de compromiso.

Además de estas normas, para la gestión forestal se ha establecido para España un techo igual a 0,67 MtC/año, lo que supone un máximo de 12,28Mt de CO₂ para todo el primer periodo de compromiso.

El potencial de absorción por sumideros se ha estimado en un 2% de las emisiones del año base. Como se decía anteriormente, este 2% se calculó siguiendo los criterios establecidos por el Protocolo e Kyoto de “carbono absorbido contabilizable”, esto quiere decir que el potencial de captación es más alto, pero el potencial de carbono “contabilizable” es mucho menor. Sin embargo, este potencial no sólo depende de las propias formaciones vegetales, las condiciones del medio y las limitaciones en la contabilidad. Los factores fundamentales que hacen que el potencial pueda aumentar o disminuir son los condicionantes económicos, sociales y, sobre todo, políticos.

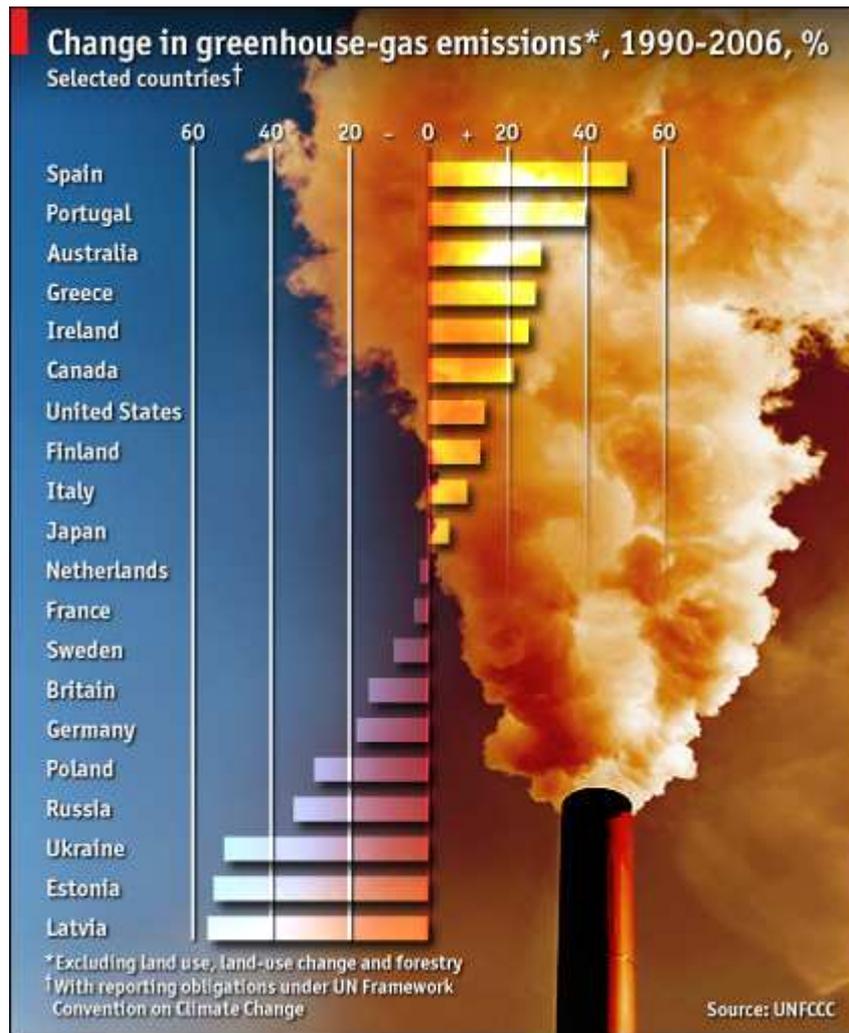


Figura 3.- Emisiones de gases de efecto invernadero en el período 1990-2006 (en %) por países

1.2 OBJETIVO DEL TRABAJO

Conocer con distintos grados de aproximación en función de las fuentes de información disponibles, cuanto carbono se encuentra inmovilizado en los tejidos vegetales de las distintas especies leñosas que componen los ecosistemas terrestres de Aragón. El análisis cuantitativo y cualitativo de ésta información permitirá conocer el papel potencial de dicha vegetación como posible sumidero de carbono a través de distintas alternativas de gestión.

Los principales aspectos de este estudio son:

- Cuantificación del Carbono existente en las formaciones vegetales de Aragón.
- Establecimiento y aplicación de metodologías de estimación acordes con las recomendaciones del IPCC.
- Estudio del papel como sumidero ante distintas alternativas de gestión forestal de algunas formaciones características de nuestra región, mediante el uso de simulaciones.

No se va a considerar el contenido de carbono orgánico o mineral en suelos por los siguientes motivos: En primer lugar no existe información precisa a una escala utilizable de clasificación de suelos, en segundo lugar tampoco hay un consenso científico en la metodología para su estimación y en tercer lugar y para ser consecuente con la metodología IPCC aplicada en nuestro país que utiliza la metodología menos exhaustiva, aplicando un valor de cero, por lo que sólo se consideran las emisiones y absorciones debidas a la biomasa viva.

El papel de la vegetación puede ser muy variado si consideramos las complejas relaciones de ésta con el resto de los seres vivos. No es el objetivo de este estudio enumerar ni cuantificar las múltiples relaciones e interacciones que la vegetación tiene en el ciclo global del carbono, pero sí una vez establecidas las premisas de partida y el marco aplicable de las determinaciones, estimar cualitativa y cuantitativamente el papel de las principales formaciones de vegetación forestal en el aspecto que nos ocupa.

2 FUNCIONALIDAD DE LA VEGETACION COMO SUMIDERO DE CO₂

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Clasificación de la vegetación

Debido a las distintas fuentes de información y calidad de la misma respecto a la vegetación se ha hecho una clasificación de ésta para abordar su contabilidad de carbono de forma independiente.

El primer filtro conceptual utilizado ha sido excluir del cómputo todo tipo de producción primaria anual o herbácea, principalmente porque no hay un almacenamiento previamente en los estratos vegetales de biomasa en este tipo de vegetación sino que la producción de biomasa o crecimiento anual es un simple flujo de C en el sistema. Un periodo vegetativo no es suficiente plazo temporal para abordar la cuestión que nos ocupa. Somos conscientes de que existen procesos de acumulación de carbono (y de emisión) en los suelos y que dependen fuertemente de su vegetación, pero la fijación, acumulación y emisión de carbono o gases de efecto invernadero en suelos no es objeto de este trabajo. En otras palabras, consideramos que todo el carbono fijado por el proceso fotosintético con una finalidad de utilización (natural o antrópica) dentro de un ciclo anual no puede ser computado porque dicho carbono es liberado de nuevo a la atmósfera dentro de ese periodo de tiempo por respiración celular de cualquier organismo. Esta idea no incluye únicamente la alimentación humana o animal sino también la oxidación o digestión aeróbica por cualquier tipo de microorganismos, principalmente bacterias. De ahí, la importancia que representa gestionar adecuadamente tanto cultivos como pastizales con objeto de almacenar CO₂ al menos en el suelo, sustituyendo el consumo de otros productos que emiten más CO₂ en su proceso de producción, como por ejemplo las fibras vegetales frente a las sintéticas o las considerables ventajas en esta materia de la producción ganadera extensiva frente a la intensiva.

Hecha esta aclaración, la vegetación, leñosa por tanto, se ha dividido en una primera aproximación en agrícola y forestal.

Dentro de la forestal se han considerado las siguientes fracciones (figuras 4 a 6):

- forestal arbórea mayor, entendida como el conjunto de las formaciones boscosas compuestas por “pies mayores” (árboles cuyo diámetro normal es superior a 7,5 cm)
- forestal arbórea menor, como aquella compuesta por los pies menores, y
- matorral

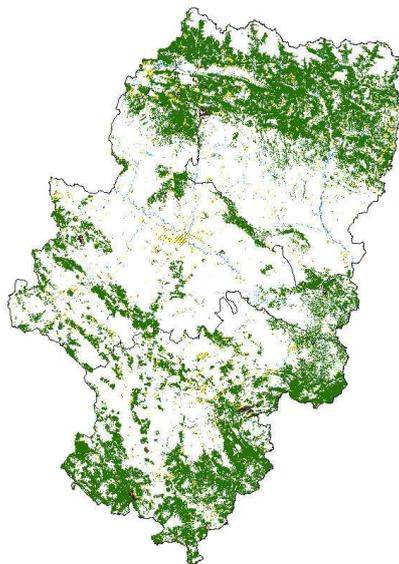


Figura 4.- Distribución de la vegetación forestal de pies mayores y menores

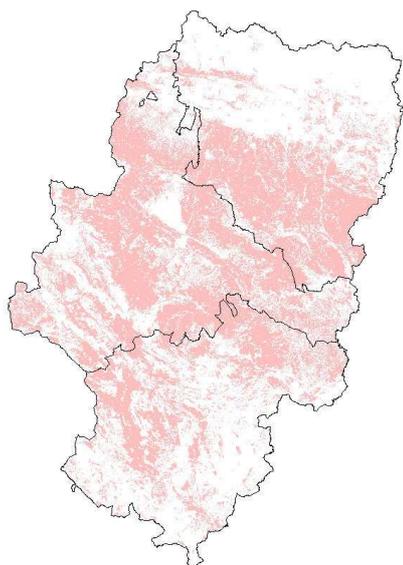


Figura 5.- Distribución de la vegetación agrícola

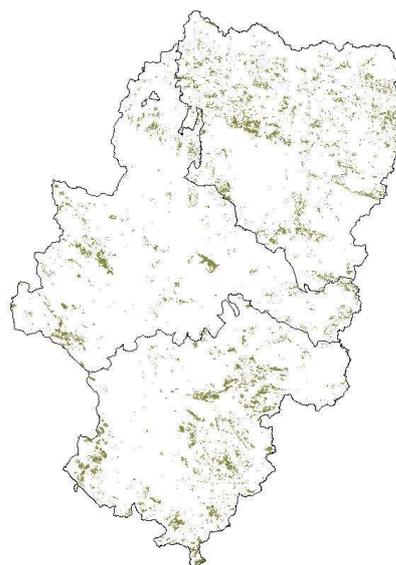


Figura 6.- Distribución del matorral

Estas 4 fracciones de vegetación (agrícola, forestal mayores, forestal menores y matorral) han sido tratadas de diferente manera por motivos obvios (fuentes de información y capacidad de gestión) y principalmente por su diferente repercusión cuantitativa en el ciclo del carbono tanto en la cantidad de carbono como en su dimensión temporal.

Para facilitar la comprensión y comparación de las magnitudes, todos los valores obtenidos se presentan unidades de peso de CO₂ equivalente (CO₂). En las tablas aportadas en soporte digital estas unidades de peso son kilogramos (Kg.) para el caso

de los cultivos agrícolas salvo que se especifique lo contrario y Toneladas (t) para el caso de la vegetación forestal.

En todos los casos tanto la concepción como las metodologías diseñadas y utilizadas se encuentran dentro los márgenes y recomendaciones por el IPCC para el cómputo de carbono y suponen una importante innovación tanto por la escala de aplicación, los resultados obtenidos y sus posibles conclusiones. Posteriormente se detalla por fracción la metodología seguida.

2.1.2 Estimación de C almacenado

2.1.2.1. Estimación de C almacenado en la vegetación agrícola

Para evaluar el CO₂ fijado por los cultivos agrícolas de Aragón debemos conocer la biomasa en forma de materia seca que contiene para cada especie. Este valor está estrechamente relacionado con el contenido de carbono, que por unidad de biomasa se considera un valor promedio de aproximadamente el 50%, asumiendo que existen ligeras diferencias en este valor según las diferentes especies el contenido de carbono utilizado ha sido 47, 35 % (Montero *et al.* 2002):

Así podemos considerar la siguiente ecuación (ec.1):

$$C = BM \times 0,4735 \quad (\text{ec.1})$$

Siendo C, el contenido de carbono y BM el contenido de biomasa estimado para la especie y la circunstancia. La metodología seguida para la estimación del CO₂ fijado por los cultivos agrícolas consiste en el cálculo, a partir del peso de materia seca, del contenido de carbono almacenado en dicha biomasa y a partir de éste aplicando la relación existente entre los pesos atómicos del C (12) y de la molécula de CO₂ (44) $44/12=3,67$

Para este estudio, se ha distinguido entre cultivos leñosos y cultivos herbáceos, dado que los cultivos leñosos permanecen durante varios años en el suelo y que los herbáceos solo persisten durante el año en curso.

También se ha diferenciado, a su vez, entre cultivos de regadío y de secano, ya que los cultivos de regadío, tienen un aporte de agua adicional y así, es esperable que puedan tener un mayor desarrollo vegetativo y una mayor producción primaria (producto agrícola o cultivo y biomasa).

Parámetros utilizados para el cálculo

Para cada especie en ambos regimenes de cultivo se ha obtenido la siguiente información:

- la superficie por municipio (S)
- la edad media (EM) de las plantaciones
- el marco en las que se encuentran éstas (D)
- la producción del cultivo (P).

También ha sido necesario obtener los tamaños medios de las diferentes especies a través de ciertos parámetros medidos en un número de ejemplares para cada especie leñosa no forestal. Las magnitudes a medir resultan ser:

- altura total del ejemplar (TF)

- altura de la copa (TC)
- perímetro del tronco a 20 cm. del suelo (Per)
- diámetro de la copa a lo largo de la calle de plantación (DL)
- diámetro de la copa entre calles (DE)
- número de las ramas secundarias en la que se divide el tronco principal (R).

Con estas medidas se obtiene un modelo cercano al prototipo del ejemplar representativo para cada especie.

Los primeros datos: superficie de cultivo por municipio, producción, edad media y marco de plantación se han obtenido a través del Anuario Estadístico Agrario y el Anuario de Estructura de Cultivos Leñosos de Aragón para el año 2005. Se ha decidido trabajar con los datos del 2005, por ser el año más completo en cuestión a los datos publicados y por compatibilidad temporal con las fuentes de información del resto de las fracciones de vegetación (IFN3).

También se han realizado medidas alométricas en las especies frutales leñosas existentes en los campos de ensayo del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), correspondientes al Campus de Aula Dei en Montañana (Zaragoza), y para aquellas especies que no se encontraron en estos ensayos las medidas se han realizado en otras parcelas seleccionadas del territorio aragonés. A la vez se han tomado las medidas in situ, se ha recogido información sobre la plantación a medir, como la edad de los ejemplares, marco de plantación, etc. para posteriormente hacer un ajuste de los datos obtenidos.

Los cultivos leñosos estudiados han sido los que presentan una superficie significativa, respecto a la superficie total ocupada por las especies frutales leñosas en Aragón, son los siguientes:

- Manzano (*Malus domestica*)
- Peral (*Pyrus communis*)
- Albaricoque (*Prunus armeniaca*)
- Cerezo (*Prunus avium* o *Prunus cerasus*)
- Melocotón- Nectarina (*Prunus persica-Prunus persica* var. *nectarina*)
- Ciruelo (*Prunus domestica*)
- Almendro (*Prunus amygdalus dulcis*)
- Vid (*Vitis vinifera*)
- Olivo (*Olea europaea*)

El interés por el estudio de la producción de biomasa y fijación de CO₂ es muy reciente, por eso a pesar de existir abundante información sobre el cultivo y aprovechamiento agrícola de estas especies se constata la falta de ecuaciones para estimar la biomasa en las especies agrícolas. En el libro publicado por el INIA "Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles" (Montero *et al.*, 2005), aparecen ecuaciones para obtener el valor modular de biomasa aérea y radical en función del diámetro del fuste para varias especies forestales (ver apartado Forestal arbórea de pies mayores). En nuestro caso, para las especies agrícolas, después evaluar distintos modelos correspondientes a especies forestales de similar morfología (algarrobo, castaño, encina) se tomaron la correspondiente a "otras frondosas" por arrojar unos valores de biomasa más congruentes a la espera de una validación y/o elaboración de nuevos modelos.

En el caso del olivo, se ha utilizado el modelo ya existente en dicha publicación.

Para todas las especies el modelo logarítmico utilizado es el siguiente (ec.1):

$$BM = CF \times A \times d^b \quad (\text{ec.1})$$

Donde BM es la biomasa estimada para cada especie en función de d (diámetro del fuste); CF= $e^{(SEE^2/2)}$, un factor de corrección; $A=e^a$ y a, b y SEE son los parámetros del modelo, cuyos valores aparecen en la tabla 1.

Tabla 1.- Valores de a, b y SEE del olivo y “otras frondosas”, para la biomasa aérea y la biomasa radical.

	a	b	SEE
Otras frondosas (aérea)	-1.87511	2.29843	0.014718
Otras frondosas (radical)	-1.38199	1.96764	0.063674
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> (aérea)	-0,943709	1,94124	0,243446
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> (radical)	-2.33764	2.11152	0.341218

Tras obtener los valores de las biomásas, se aplica la fórmula descrita anteriormente para el cálculo del carbono contenido en cada caso y tan sólo queda por obtener los kilogramos de CO₂ contenidos, mediante la proporción entre el peso molecular de CO₂ y el peso del átomo de carbono (44/12=3,67).

2.1.2.2. Estimación de C almacenado en la vegetación forestal arbórea de pies mayores

a) Explotación de la información disponible (IFN y MFE)

Las dos herramientas disponibles y utilizadas para explotar la información existente han sido, por un lado las bases de datos del Inventario Forestal Nacional (IFN) y por otra parte la cartografía temática digital de los mapas de vegetación, en particular el Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE).

Los inventarios forestales a gran escala se han utilizado tradicionalmente para conocer el estado de los bosques, dar cuenta de su evolución por comparación entre dos mediciones sucesivas y ayudar a la planificación forestal. En España a mediados de los años 60 se desarrolló el Primer Inventario Forestal Nacional (IFN1) que fue fundamental para conocer el estado de partida de nuestros montes y sirvió 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 IFN2 así como el establecimiento de 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. Baste recordar que herramientas que hoy nos parecen triviales (teledetección, ortofotografías, sistemas de información geográfica) estaban en sus albores cuando se empezó el IFN2.

El IFN esta basado en la medición, cada 10 años, de unos 90.000 puntos de muestreo en toda España dispuestos de forma regular sobre una malla de un kilómetro de lado. Cuando un nodo de esta malla se sitúa encima de un bosque, se instala un punto de muestreo (3.639 en Aragón para el IFN3, figura 7) que consta de una parcela

concéntrica de cuatro radios (5, 10, 15 y 25 m.). En las coronas definidas por estos radios se mide la altura y el diámetro de los árboles que alcanzan un diámetro, a 1,3 m. (pies mayores), y otros parámetros relacionados con el estado erosivo, vitalidad, biodiversidad, etc.

Dos son los problemas fundamentales que dificultan la comparación de los sucesivos ciclos del IFN, uno es la diferente cartografía de base utilizada en cada uno de los IFN y otro es el manejo de ingentes bases de datos (como ejemplo baste citar que para este trabajo de estimación del C almacenado se ha procesado de forma individual la información de 88.460 árboles).

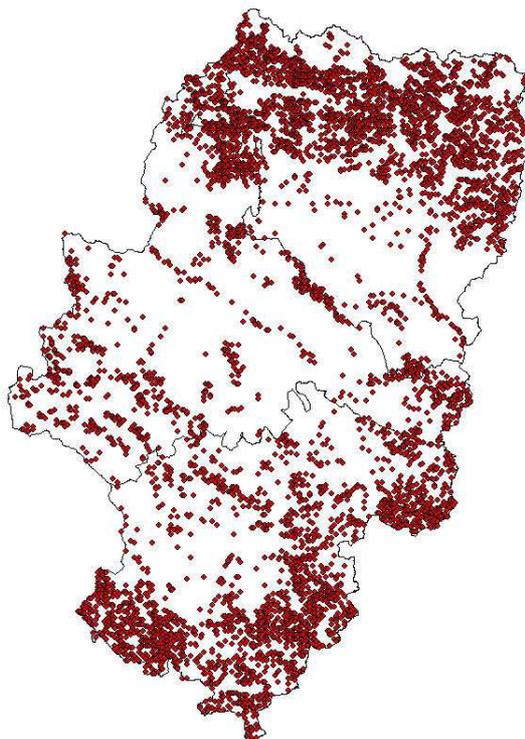


Figura 7.- Parcelas de muestreo del IFN3 (Inventario Forestal Nacional 3)

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).

Dado que el objetivo es cuantificar con detalle el Carbono actual se ha utilizado como base cartográfica la propia del IFN3 (el Mapa Forestal de España a 1:50000, MFE) cuyo nivel de detalle puede llegar a teselas de 2 ha. A continuación se muestra el mapa de la ubicación de las parcelas analizadas en Aragón sobre el citado mapa forestal (figura 8). Como puede apreciarse en el mapa y en el de detalle de avance de resultados, por el nivel de detalle del mapa no todas las teselas disponen de parcela para su estudio o cuantificación, por lo que es necesario diseñar un método que permita proyectar la información del muestreo puntual (parcelas del IFN3) al total de la superficie forestal arbolada del territorio de estudio.

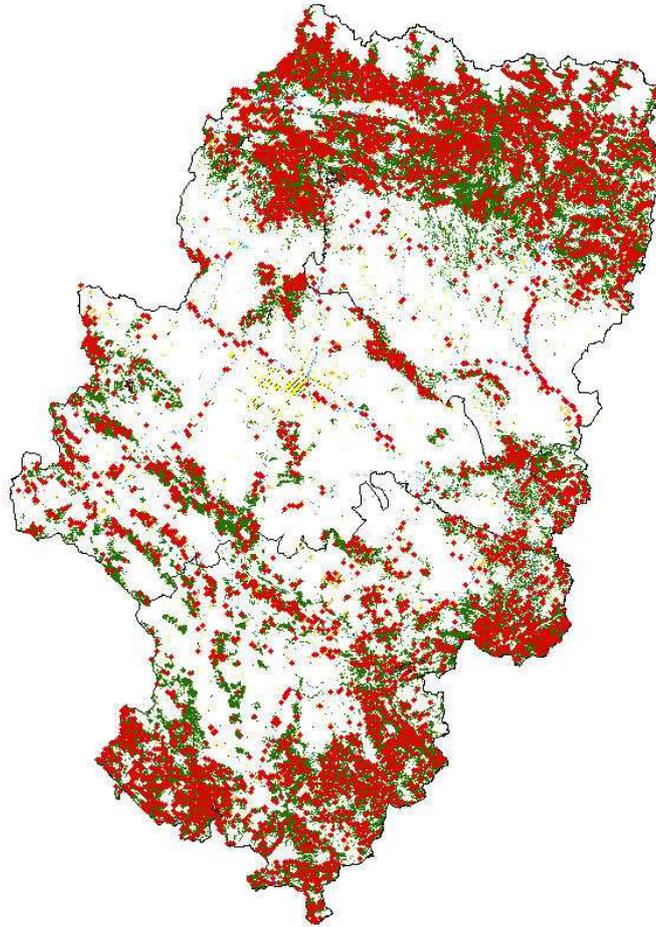


Figura 8.- Ubicación de las parcelas del IFN3 analizadas en Aragón sobre el Mapa Forestal de España 1:50.000

A partir de la información obtenida del IFN3, las masas forestales que superan el millón y medio de hectáreas, han sido divididas en 67 tipos distintos o estratos, en función de la especie forestal dominante, su ocupación porcentual, el estado de la masa entendido como clases naturales de edad¹ y la fracción de cabida cubierta.

En algunos casos la formación forestal dominante, definida por la especie o especies principales que la componen, se repite en las tres provincias aragonesas consideradas, sin embargo se ha decidido mantener la clasificación provincial debido a las diferencias ecológicas existentes entre éstas aunque compartan la misma especie forestal principal. Claros ejemplos de ello podrían ser los pinares de *P. sylvestris* o *P. nigra* que habitan en las provincias de Huesca y Teruel.

Cuantitativamente el estrato más importante de Aragón en cuanto a superficie se refiere, es el formado por los bosques de *Pinus sylvestris* de la provincia de Huesca con una ocupación superior al 70%, en un estado de latizal o fustal y con una fracción

¹ Las clases naturales de edad son las fases de desarrollo de una masa sin intervención humana y regular. Estas clases se definen como:

- Diseminado: Plantas recién nacidas.
- Repoblado: Dura hasta la tangencia de las copas (se tocan las copas de unos árboles con otros).
- Monte Bravo: Las ramas cortan la luz al suelo, las ramas que no reciben luz directa se secan y caen, esto es la poda natural. En el monte bravo empieza a haber competencia.
- Latizal: Los fenómenos de competencia son muy grandes, se produce la diferenciación de copas, se habla de árboles dominantes y árboles dominados. Este latizal se asocia con una diámetro normal menor de 20cm (no siempre es así).
- Fustal: diámetro normal mayor de 20cm, ahí la competencia es máxima

de cabida cubierta entre el 70 y el 100%. Este estrato de vegetación supone más de 96.000 ha. Le siguen en orden de importancia las masas de Zaragoza compuestas por *Quercus ilex* o *Quercus ilex* con *Pinus halepensis* con predominancia de la encina en estado de latizal o fustal y con una fracción de cabida cubierta entre 20 y el 100%. Este estrato alcanza las 57.000 ha. El tercero en importancia superficial lo componen las masas de Zaragoza de *Pinus halepensis* con una ocupación superior al 70%, en estado de latizal o fustal y con una fracción de cabida cubierta media, entre 40 y el 70% esta formación alcanza las 55.000 ha. Cinco estratos más, principalmente compuestos por Quercineas o por las masas de *Pinus sylvestris* y *halepensis* similares a las de Huesca y Zaragoza respectivamente pero en este caso en la provincia de Teruel, totalizan cada uno de ellos más de 40 000 ha.

b) Estimación de la biomasa y CO₂ eq almacenado

b.1. Parámetros y modelos

Para proceder al cálculo se necesita disponer de información del estado de crecimiento en que se encuentran los montes, para así poder predecir su evolución y calcular el carbono almacenado y el que puede almacenar según las distintas alternativas de gestión.

La estimación de la biomasa seca para las especies forestales arbóreas presenta un gran interés en estudios de flujos de nutrientes y más recientemente para la cuantificación de carbono relacionado con el cambio climático. Para su cuantificación es necesaria la construcción de modelos de estimación específicos que cuantifiquen el peso de biomasa seca.

Principalmente existen dos formas ampliamente usadas para estimar la biomasa forestal a partir de datos de inventario:

- Factores de expansión de biomasa (BEF)
- Ecuaciones de estimación de biomasa

Los factores de expansión de biomasa 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 de árbol o masa (habitualmente expresado en Tm).

Por otro lado, las ecuaciones de estimación de biomasa son relaciones entre peso seco de biomasa y alguna variable medida sobre el árbol o que representa las condiciones del sitio donde dicho árbol vive (densidad, productividad...).

Para la utilización de los datos en estudios de cuantificación de C y de funcionamiento de ecosistemas, normalmente se realiza el estudio por separado de las diferentes fracciones del árbol:

- Biomasa aérea
- 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

Estas ecuaciones de biomasa suelen hacerse por métodos destructivos por medición y pesada de las distintas fracciones aplicados a una muestra grande de árboles. Para este trabajo se han utilizado las ecuaciones obtenidas para las 32 especies principales

de España realizadas por el Centro de Investigaciones Forestales (CIFOR) del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (INIA) (Montero *et al.* 2005).

Si bien todos los métodos de estimación tienen la limitación de realizarse mediante muestreos de árboles y extrapolación al conjunto de la especie y calidades de estación, el método escogido para el conjunto de la vegetación de Aragón es perfectamente aplicable.

Se muestra en el gráfico 1 un ejemplo de ajuste de este tipo de ecuaciones.

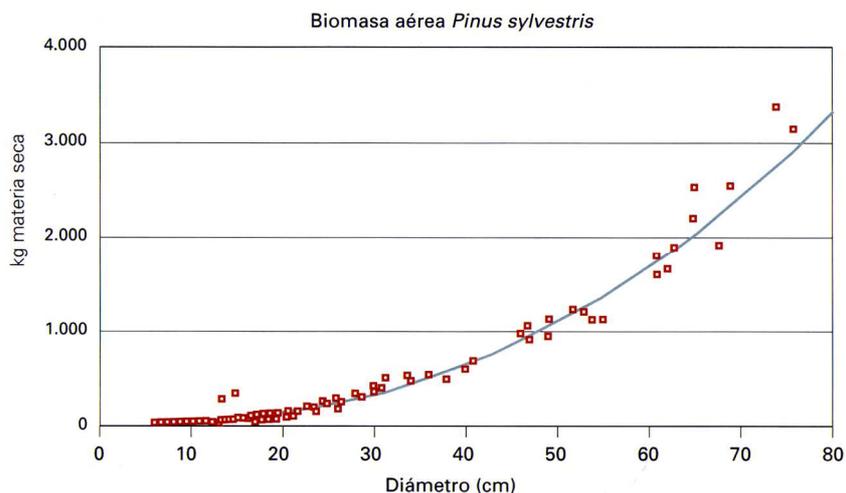


Gráfico 1.- Ejemplo de ajuste de una ecuación para el cálculo de biomasa aérea para *Pinus sylvestris*

El método de ecuaciones de biomasa frente al de factores de expansión presenta la doble ventaja de, por un lado, ofrecer información de las diferentes fracciones del árbol (con especial relevancia en la cuantificación del sistema radical por separado) y, por otro realizar la estimación en un solo proceso de ajuste con un único 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).

El citado autor después de probar distintos modelos escogió la ecuación alométrica linealizada como modelo logarítmico porque, a pesar de que sus coeficientes de determinación no son los mejores, es el modelo que mejores resultados da al aplicarla en las clases diamétricas menores como puede apreciarse en la gráfico 1.

La ecuación es la misma que la ya descrita en el apartado agrícola aplicándose el modelo específico a las 32 especies o los generales de otras frondosas u otras coníferas para las especies de menor representación incluidas en el inventario.

b.2. Cálculo por árbol, especie, parcela y estrato.

Tras el procesado de la información del IFN3 y la cuantificación del Carbono existente por árbol y por especie de acuerdo a las ecuaciones descritas se ha procedido a la totalización del Carbono por parcela y especie.

Para poder transferir esta información por parcela al total de la superficie forestal se ha promediado dicha información por el tipo de estrato forestal provincial al que pertenece la parcela y, 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 han obtenido los valores globales.

Toda esta información se ha integrado en un sistema de información geográfica para su presentación, análisis y utilización posterior, no sólo para la obtención de los valores globales.

2.1.2.3 Estimación del C almacenado en la vegetación forestal arbórea de pies menores

La metodología para cuantificar el carbono fijado por esta fracción de vegetación ha sido la siguiente. En primer lugar se ha calculado para todas las parcelas del inventario la biomasa por especie y parcela a partir de la información individualizada por árbol, con la salvedad de que el valor asignado al diámetro en todos los casos será de 5 cm, como diámetro de clase media de esta fracción de vegetación (árboles menores de 7,5 cm de diámetro). Posteriormente se ha totalizado por parcela y se ha calculado el valor medio por estrato (siempre referido por unidad de superficie) de forma similar al cálculo de existencias de los pies mayores. El procedimiento de cálculo entre biomasa, carbono y peso equivalente de CO₂ es el mismo que en el caso anterior.

El problema surge cuando queremos extrapolar estos valores al total de la superficie forestal caracterizada por el mapa forestal. Hay que recordar que los valores del IFN son sólo un muestreo sistemático que no incluye información de todas y cada una de las teselas o polígonos que conforman la realidad. Dicha realidad se encuentra muy bien reflejada en la cartografía temática del Mapa Forestal Español 1:50.000 pero no hace ninguna referencia en la definición de sus estratos a la presencia o ausencia de regenerado o pies menores. Si bien en el caso de los pies mayores no surge problema porque la definición del estrato implica la presencia de pies mayores y pueden aplicarse los valores medios obtenidos, en el caso de los pies menores no es posible aplicar el mismo criterio ya que todas las unidades de vegetación no tienen porque disponer de dicho piso de vegetación, por ejemplo todas las masas regulares más o menos coetáneas y muchas de las irregulares.

Puesto que la caracterización del mapa forestal se basa en los pies mayores y no todas las parcelas del IFN cuentan con representación de pies menores hay que determinar el peso de los pies menores por estrato forestal. Para afinar más en la calidad de la información, en lugar de aplicar el porcentaje de parcelas que presentan pies menores del total de las parcelas, se ha decidido incluir también la información de la especie. Por ello ha aplicado un coeficiente de corrección basado en la relación existente entre “unidades de muestreo” de ambas fracciones (pies mayores y pies menores). Dicha unidad de muestreo ya no es la parcela sino la especie en la parcela, pudiendo haber más de una unidad por parcela. Si para el cómputo de los pies mayores hay 5.315 parcelas y para el de pies menores el número de parcelas es 3.195, el número de unidades muestreadas en ambos casos es 8.691 y 4.507 respectivamente por lo que la relación a aplicar es del 51,85% (8.691/4.507).

2.1.2.4 Estimación en matorrales

Los matorrales, según Ruiz de la Torre (1981), son un tipo de agrupación vegetal definido por su estructura o por su aspecto, conferidos por el hecho de que el estrato superior, o el más alto con espesura, está caracterizado por el predominio de matas, plantas plurianuales leñosas, de menos de 7 metros de altura, con tallo ramificado desde su base, de manera que no se distingue entre tronco y copa. Estas comunidades son de especial importancia por el papel que adquieren en la dinámica del cambio de uso del suelo dentro de los ecosistemas, sobretodo en la zona del mediterráneo; (Di Castri *et al.*, 1981) así como por la gran superficie que ocupan, cada vez mayor por motivo de estos cambios.

Para la estimación del CO₂ fijado por el matorral, en primer lugar se realizó a partir de la cartografía digital (IFN3) de la vegetación un análisis de distribución para conocer el grupo de especies que lo forman y, en cada caso, su área de distribución a lo largo de la Comunidad Autónoma.

Tras este proceso, se dividió el conjunto del matorral en 11 grupos principales, repartidos de la siguiente forma, según su similitud en el tamaño y porte (tabla 2):

Tabla 2.- Relación de matorrales estudiados y la nomenclatura a utilizar para caracterizar las parcelas en el inventario forestal nacional 3 (IFN 3).

<i>Erica cinerea</i>	Mat 1
<i>Calluna vulgaris</i>	Mat 2
<i>Arctotaphylos uva-ursi</i>	Mat 3
<i>Cistus ssp.</i>	Mat 4
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Mat 5
<i>Thymus ssp.</i>	Mat 6
<i>Lavandula ssp.</i>	Mat 7
<i>Genista ssp.</i>	Mat 8
<i>Quercus coccifera</i>	Mat 9
<i>Pistacia lentiscus</i>	Mat 10
<i>Rhamnus lycioides</i>	Mat 11
<i>Similar herbáceas</i>	Mat 99

Después de obtener los grupos principales de matorrales de Aragón y la superficie que ocupan en cada caso, se han estudiado los diferentes métodos para estimar la biomasa del matorral.

Hay dos métodos para el cálculo de la biomasa en los matorrales, directo (destrutivo) o indirecto (análisis dimensional). Los métodos directos, que consisten en la extracción del material y su posterior pesado, proporcionan una estimación muy precisa pero presupone un esfuerzo, a veces inviable, por la necesidad de replicar el estudio en un número suficiente de muestras (Ojea *et al.*, 1992) lo que resulta ser costoso tanto en tiempo como económicamente (Uresk *et al.*, 1977). Los métodos indirectos consisten en medir diferentes variables morfológicas (altura, diámetros...) para estimar mediante modelos matemáticos la biomasa vegetal.

Comparando los dos métodos, este último resulta ser menos agresivo y menos costoso, obteniendo resultados similares (Whittaker y Woodwell, 1968; Ibáñez *et al.*, 1999; Hierro *et al.*, 2000; Passera *et al.*, 2001; Sternberg y Shosany, 2001) con la ventaja de poder repetir el estudio en sucesivas ocasiones. Mediante el método indirecto, a lo largo de los años, se pueden desarrollar modelos de evolución temporal de biomasa (Navarro y Blanco, 2006) en función de la edad. Uno de los problemas

más importantes es la dificultad para estimar la edad del matorral sin información suficiente (último incendio, desbroces, pastoreo...).

Después de estudiar los diferentes métodos para calcular la biomasa almacenada por el matorral, se ha determinado que era más adecuado utilizar ecuaciones obtenidas mediante medidas morfológicas, conseguidas por métodos directos a través de muestreos con características estructurales similares entre taxones.

Los parámetros morfológicos utilizados son: el volumen aparente, obtenido con los diferentes parámetros medidos (superficie, altura) y la fracción de cabida cubierta.

Estas ecuaciones fueron logradas a partir de regresiones entre su volumen aparente, obtenido por medición directa de su altura y superficie ocupada, y su peso seco. Para ello, en cada especie fueron elegidos individuos de tamaños diferentes y a continuación procesados para su secado a 60° durante 72 horas, y así obtener el peso seco (biomasa). La ecuación utilizada fue la siguiente (ec. 3), y los valores obtenidos de los coeficientes y el coeficiente de regresión resultante (r^2), para cada tipología de matorral considerada, y el conjunto global de las mismas, se muestran en la tabla 3.

$$\text{Peso seco} = \text{Coef a} \times \text{Volumen aparente} + \text{Coef b} \quad (\text{ec.3})$$

Tabla 3.- Valor de los coeficientes y r^2 , para las diferentes tipologías de matorral y para el conjunto en global

Tipo	Coef a	Coef b	r^2
MAT 1	1,1085	0,0912	0,9344
MAT 2	3,077	0,1588	0,9959
MAT 3	13,61	0,0588	0,9152
MAT 4	1,7018	0,0617	0,9193
MAT 5	0,7718	0,3025	0,9156
MAT 6	3,1703	0,016	0,9482
MAT 7	2,9582	0,0448	0,7925
MAT 8	3,3665	-0,3792	0,9431
MAT 9	2,6666	0,2956	0,9844
MAT 10	4,2895	-0,0406	0,8144
MAT 11	1,3951	-0,1536	0,9806
Global	2,6934	0,0756	0,7538

Conocida la relación de carbono existente en la materia seca, ya utilizada en el resto de las fracciones de vegetación, y comúnmente aceptada y recomendada por el IPCC (0,5), se obtiene el carbono total. Para transformar dicho valor a peso de CO₂ equivalente solo queda multiplicar por la proporción entre el peso molecular de CO₂ y el peso del átomo de carbono (44/12=3,67).

A partir de la información del Inventario Forestal Nacional 3 (IFN3), en el que aparecen en cada parcela las especies de matorral existente, su altura media y su fracción de cabida cubierta, se aplicaron los códigos que se refieren a las tipologías de los matorrales analizados. Con dicha codificación fueron aplicados los valores de las regresiones obtenidas por tipología de matorral a cada registro de la base de datos (parcela de muestreo del inventario).

Al igual que en los casos anteriores, la integración de esta información en un sistema de información geográfica nos ha permitido obtener tanto la estimación total como el análisis territorial. Para cada parcela del inventario, se consideran hasta tres especies

(o grupos de especies) como máximo, y aplicando a cada especie su porcentaje de ocupación y su altura media se calcula el CO₂ equivalente por especie. Posteriormente se realiza totaliza la información por parcela. Se calculan los valores medios por estrato de vegetación y se aplican estos valores medios a la totalidad de las teselas del mapa forestal por cada estrato, al igual que con las otras fracciones de vegetación.

Todo este proceso ha sido aplicado a la superficie forestal explorada por el IFN3 y que descansa sobre estratos forestales arbóreos. Tras el análisis detallado del Mapa Forestal de España 1:50.000, que viene sirviendo de base cartográfica del trabajo, se ha constatado que existía una considerable superficie que no se había considerado en esta estimación, por una total ausencia de arbolado, y por tanto sin parcelas de muestreo en el IFN3, a pesar de que en dicho inventario se consideran ocupaciones de especies arbóreas muy bajas y, por lo tanto, gran parte de la biomasa del matorral ya se encontraba contabilizada.

Esta superficie, no muestreada en el IFN3, ha sido estimada en 221.002 ha y, ante la falta de información² específica, tanto sobre especies que la componen, como de sus características morfológicas para aplicar las ecuaciones de estimación de biomasa obtenidas, se ha decidido estimar su biomasa con base en los valores medios obtenidos de la superficie de la que sí se cuenta con información (21.609 registros correspondientes a 4.642 parcelas y aplicadas a 1,5 millones de ha aproximadamente). Aplicando el valor medio de CO₂ eq por hectárea (4,003 t CO₂ eq.) a esta superficie se obtienen 884.671 toneladas más. Esta corrección también es válida para solventar el problema existente en el IFN con el boj. Dicha especie en el IFN3 es considerada como arbórea y se ha comprobado que es inventariada como tal si es acompañante de otras arbóreas, pero en las zonas que aparece sin otra especie arbórea, dicho punto del inventario no se considera arbolado y por tanto no se muestrea. Esta es una de los principales razones por las que se incluyen esas 221.002 ha de indeterminación.

También se han realizado otras predicciones con base en distintos parámetros medios de talla y ocupación, obteniéndose cifras similares y dentro de los límites lógicos. Como ejemplo de éstas se presentan dos cálculos basados en una altura media de 70 ó 50 cm y ocupación del terreno del 10 ó 20 %. Aplicando la ecuación de ajuste media de todos los matorrales que se analizaron en nuestro laboratorio (muestra combinada de todas las especies sin distinguir en grupos) a los valores indicados, se han obtenido unos valores de CO₂ eq. de 724.733 ó 1.090.930 de toneladas (t CO₂ eq.), muy similares a los obtenidos con la otra metodología explicada.

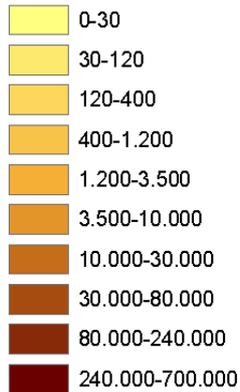
² La exploración de la información del Mapa Forestal de Aragón, no ha aportado resultados satisfactorios, porque, si bien la identificación de las especies está realizada con mucho detalle, no lo es igualmente en cuanto a la ocupación superficial o altura de la vegetación (parámetros básicos para la estimación de su biomasa). Asimismo, la precisión cartográfica no es comparable con la del reciente Mapa Forestal de España y en muchos casos, resulta discordante en cuanto a los límites de las teselas que definen la vegetación, bien por el desfase temporal o bien por la metodología de realización.

2.2 DESCRIPION DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO GENERADO

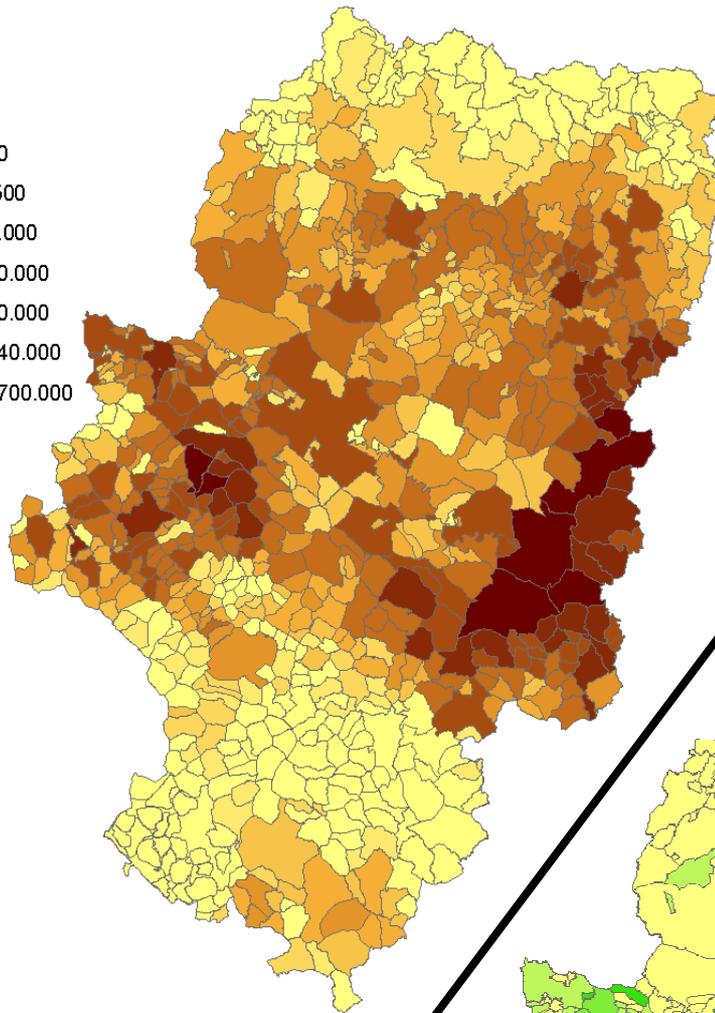
La integración de la información en un sistema de información geográfica permite realizar análisis territoriales globales así como por especie. A modo de ejemplo se presenta el mapa de la distribución por término municipal del Carbono total en los cultivos leñosos de Aragón y el aportado por los olivos.

Total cultivos leñosos

t CO2 eq



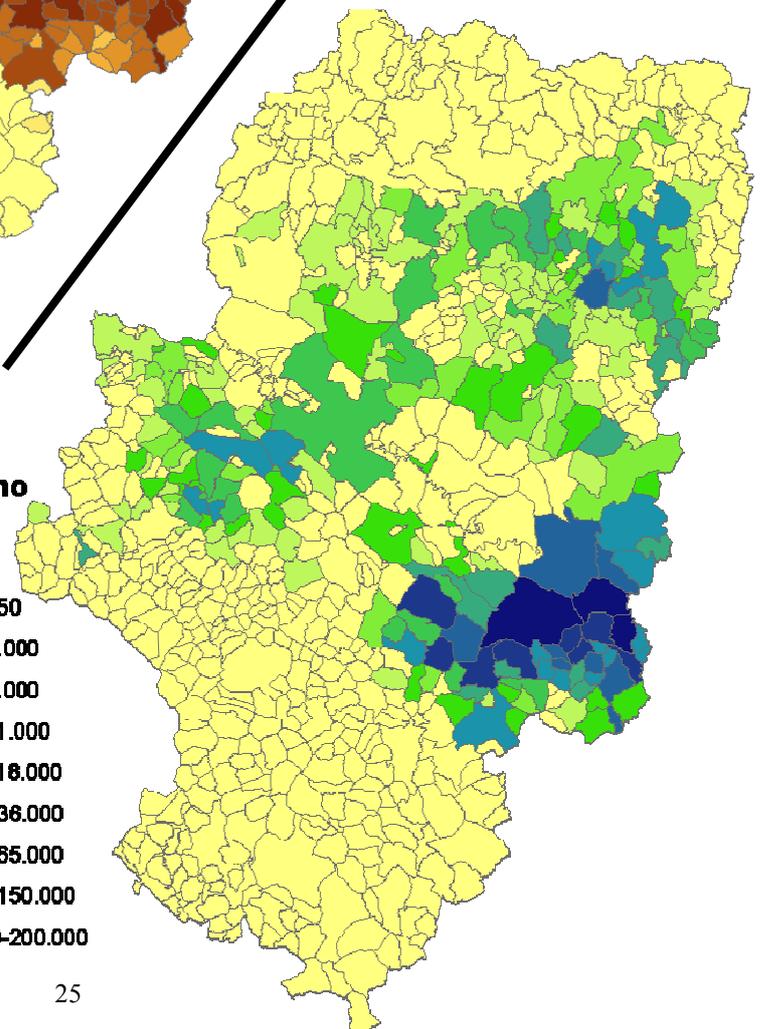
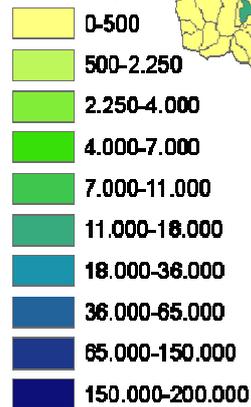
CARBONO TOTAL



CARBONO DEL OLIVO

Olivo seco

t CO2 eq



De forma análoga la integración de la información de la vegetación forestal producida en el sistema de información geográfica permite consultas de mucho más detalle y pormenorizadas a cualquier territorio así como su agrupación. En la figura 9 se muestra el detalle de una consulta puntual en una tesela del noreste de Huesca y la cantidad de CO₂ eq. acumulada en una de sus dos especies (21=*P. sylvestris*) en sus distintas fracciones de los árboles:

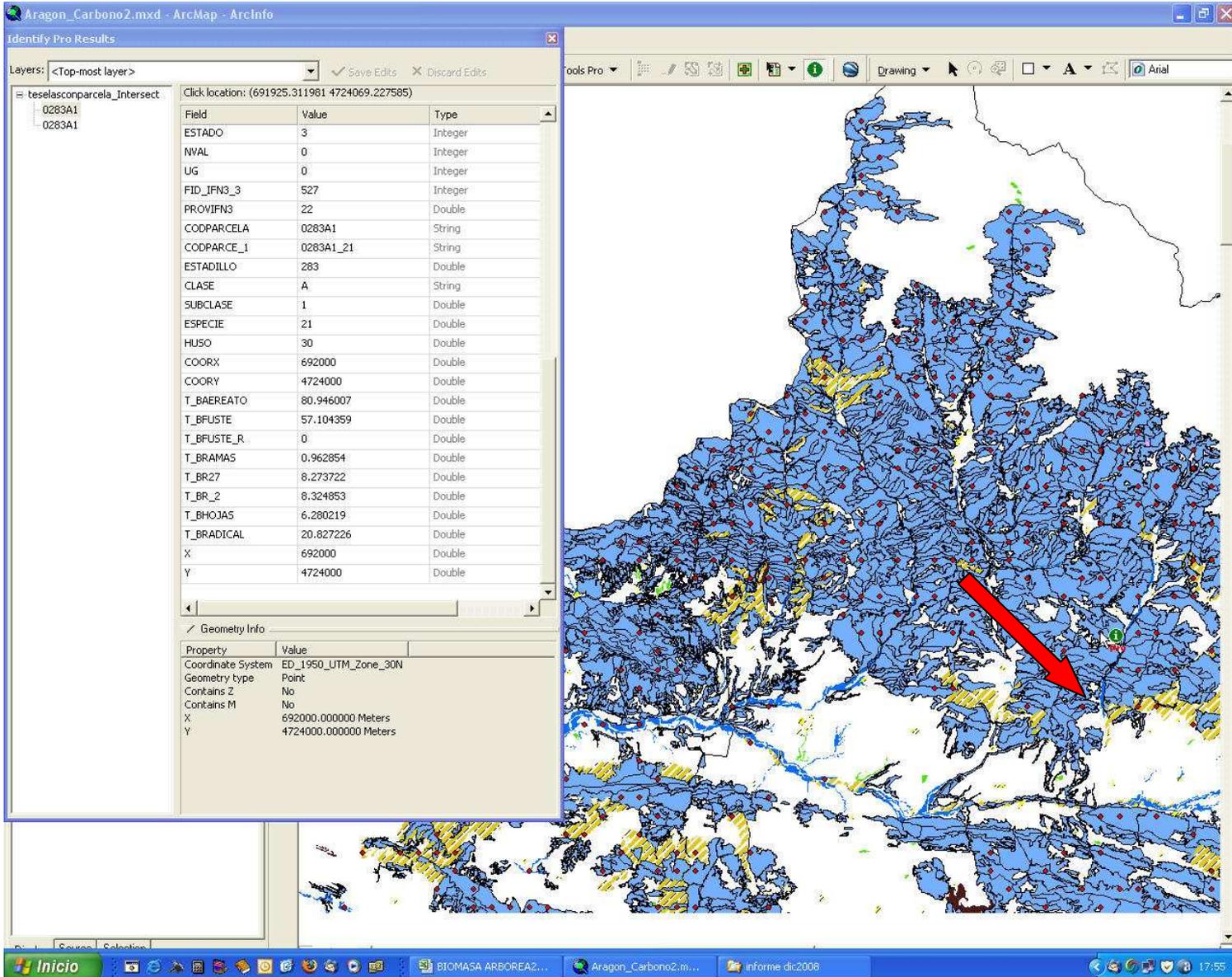


Figura 9.- Ejemplo de una consulta puntual en una tesela del noreste de Huesca y la cantidad de CO₂ eq. acumulada en una de sus dos especies (21=*P. sylvestris*) en sus distintas fracciones de los árboles.

La resolución de las coberturas utilizadas es tal que no se puede mostrar un mapa global de todo Aragón ya que el número de divisiones ocultan la información. Por ello se muestra en las siguientes imágenes detalles pormenorizados de la información existente en el sistema y un mapa de distribución de la cantidad de CO₂ eq. en una zona determinada (figura 10).

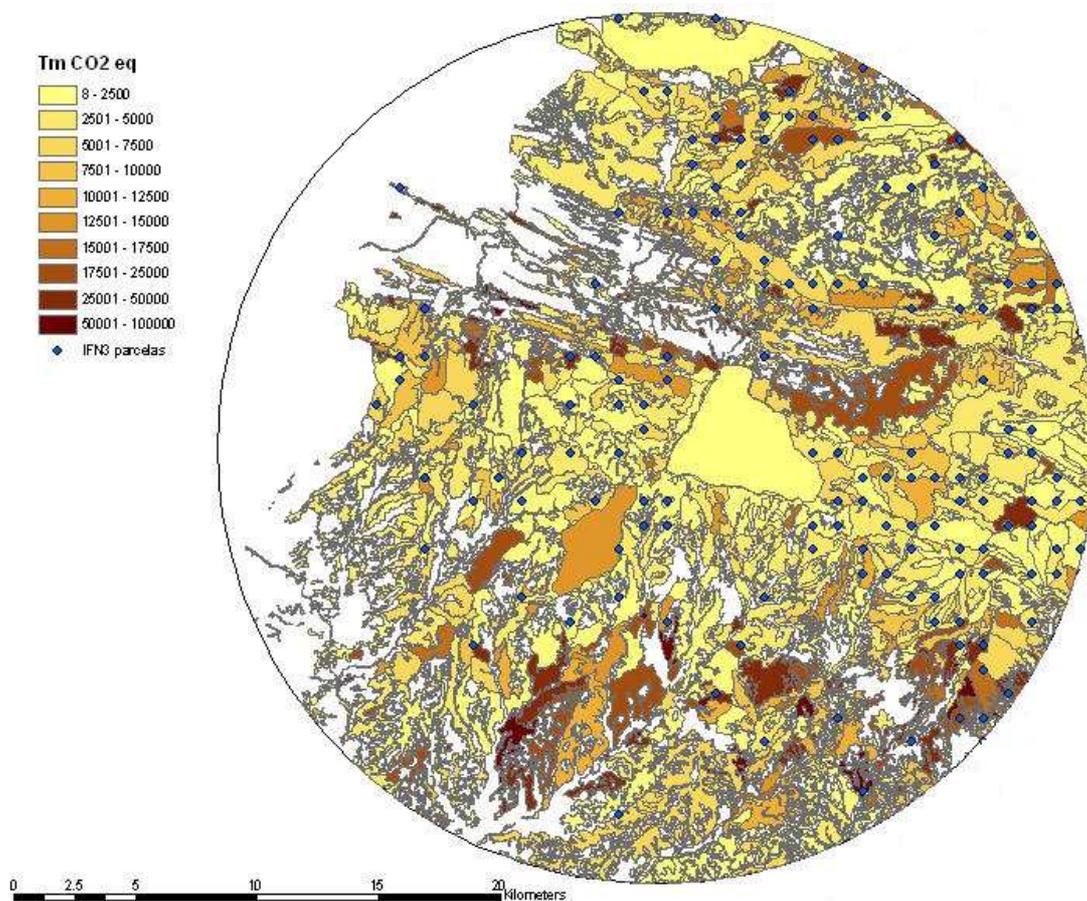
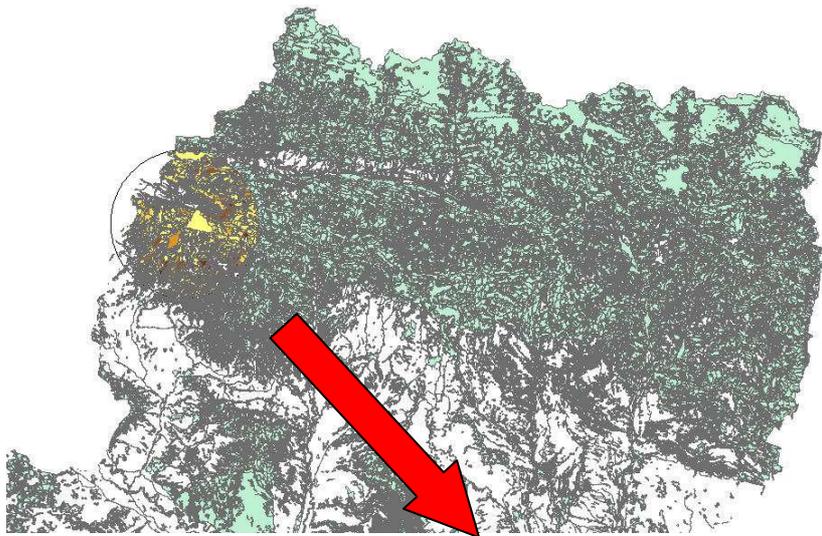


Figura 10.- Mapa de distribución de la cantidad de CO₂ eq. en una zona determinada.

Con este ejemplo se puede comprobar como a pesar de no existir parcelas de muestro del Inventario Forestal Nacional se puede obtener un valor estimado de la cantidad de CO₂ existente en el territorio.

2.3 CARBONO ALMACENADO

2.3.1 Resumen por fracción de vegetación

Las cifras globales se presentan en las tablas adjuntas. Toda la información ha sido obtenida y procesada a la máxima escala de resolución disponible. Esta escala de resolución se materializa en 1:50.000 para la forestal, y en el caso de la agrícola el nivel informativo esta referido al término municipal.

Las estimaciones de existencias de CO₂ eq almacenado en sumideros, más relevantes del trabajo son las siguientes:

La cantidad de CO₂ equivalente que se encuentra en la vegetación agrícola leñosa en Aragón, de acuerdo a la metodología e hipótesis utilizadas en este trabajo, asciende aproximadamente a 12,5 millones de t CO₂ eq. Existen datos pormenorizados por municipio, régimen hídrico y especie pero, a modo de resumen, se presenta la tabla 4 en t de CO₂ equivalente:

Tabla 4.- Cantidad de CO₂ (t CO₂ eq.) en la vegetación agrícola leñosa en Aragón.

REGIMEN	AEREA	RADICAL	TOTAL
Regadío	3 665 706	2 465 643	6 131 349
Secano	4 009 390	2 335 124	6 344 514
Total	7 675 096	4 800 767	12 475 863

La cantidad de CO₂ equivalente que se encuentra en la vegetación forestal arbórea compuesta por pies mayores (tabla 5) asciende aproximadamente a 158 millones de t CO₂ eq., divididas en 121 millones correspondientes a la biomasa aérea y 37 millones a la radical.

Tabla 5.- Cantidad de CO₂ (t CO₂ eq.) en la vegetación forestal de pies mayores en el total de Aragón y desglosado por provincias.

Provincia	AEREA	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

Existen datos pormenorizados por cada uno de los estratos de vegetación forestal y provincia pero, de forma general, se puede decir que en esta fracción de vegetación los bosques arbolados aragoneses acumulan 104 t/ha de CO₂ eq.

Los pies menores (árboles normalmente en estado de regeneración y caracterizados por tener un diámetro normal inferior a 7,5 cm) también han sido procesados y analizados, aunque la finalidad de su estudio ha sido analizar la evolución y posibilidades de la vegetación, más que su valor absoluto de fijación. Los valores obtenidos se resumen a continuación (tabla 6):

Tabla 6.- Cantidad de CO₂ (t CO₂ eq.) en la vegetación forestal de pies menores.

	AEREA	RADICAL	TOTAL
Huesca	1 749 233	2 499 730	4 248 963
Teruel	2 465 010	2 773 831	5 238 842
Zaragoza	1 359 877	1 861 393	3 221 269
TOTAL	5 574 120	7 134 954	12 709 074

Respecto a la vegetación de matorral existente los valores globales obtenidos se presentan en la tabla 7:

Tabla 7.- Cantidad de CO₂ (t CO₂ eq.) en la vegetación de matorral en el total de Aragón y desglosado por provincias.

Provincia	TOTAL
Huesca	9 575 133
Teruel	5 825 831
Zaragoza	6 929 301
Total	22 330 265 (+ 884 671)

Como cifra global, se puede afirmar que, con la metodología expuesta, el papel de la vegetación leñosa de Aragón como sumidero de carbono, alcanza un valor de **206 332 370** toneladas de CO₂ equivalente.

2.3.2 La agricultura, los cultivos leñosos y la fijación de CO₂

Como ya se ha indicado, el objetivo fundamental de este trabajo es aportar información acerca del papel de la vegetación como fijadora de carbono.

La recopilación de información y los cálculos realizados en general y en este sector en particular se han hecho para tener una visión global de la vegetación leñosa en todo su conjunto y ser comparada entre sus distintos tipos, aunque dicho estudio o su información no pueda ser utilizado para la contabilidad de unidades de absorción propiamente dichas por falta de un acuerdo o metodología establecida.

El Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión para el período 2008-2012 de España contempla las actividades previstas en el marco del protocolo de Kyoto en el sector de uso de la tierra, cambio de uso del suelo y silvicultura (LULUCF). Estas actividades son forestación y reforestación (artículo 3, párrafo 3 del Protocolo de Kyoto) y la gestión de tierras agrícolas, gestión de bosques, gestión de pastizales y restablecimiento de la vegetación (artículo 3, párrafo 4 del Protocolo de Kyoto: actividades adicionales elegibles por las Partes del Protocolo).

El PNA hace especial mención a la gestión de cultivos y a la biomasa, refiriéndose a que *“... la absorción principal en estos sistemas (excepto en los cultivos leñosos en los que la biomasa aérea debe tenerse en cuenta) es el suelo (acumulación de carbono orgánico en el suelo) por lo que la información necesaria se restringe al tipo de actividad (incluyendo tipo de cultivo y características de los suelos) y cuándo se inició en el tiempo. En este caso es necesario conocer los datos de actividad del año 1990, al calcularse las absorciones producidas por estas actividades a través del sistema “neto-neto”. Las estadísticas que se utilicen como dato de actividad pueden ser de cualquier ámbito (local, regional, nacional) pero deben producir estimaciones coherentes a nivel nacional en su conjunto.”*

Por otra parte, así como en el caso de la forestación, reforestación y gestión forestal el Plan Nacional de Asignación hace especial mención metodológica a los Inventarios Forestales, en el caso de la gestión de cultivos tan sólo hace referencia a estadísticas de la actividad. Por englobarse ambas actividades en el potencial de absorción por sumideros (estando limitado éste al valor del 2 %) y asumiendo que las absorciones pueden superar dicho límite no se hacen más disquisiciones metodológicas en el Plan que *“...la importancia de este tipo de trabajos para el establecimiento de sistemas de obtención de datos y generación de información sobre estas actividades”*.

Tras esta aclaración y a partir del trabajo realizado con los cultivos leñosos se puede describir su situación cualitativa y cuantitativa como fijadora de Carbono.

Como se ha dicho anteriormente y siguiendo la metodología expuesta, la cantidad de Carbono almacenado asciende aproximadamente a 12,5 millones de t CO₂ eq. Este valor global ha sido obtenido a partir de la estadística agrícola, como se ha comentado en la metodología y su resolución espacial es la del término municipal. El primer resumen a presentar (tabla 8) es cómo se reparte dicha cantidad entre las distintas especies o producciones y su régimen de cultivo, distinguiendo entre regadío y secano.

Tabla 8.- Distribución del Carbono acumulado (t de CO₂ eq) en la vegetación leñosa agrícola por régimen hídrico y fracción de biomasa

CULTIVO	REGIMEN	AEREA	RADICAL	TOTAL
Manzano	Regadío	740 625	496 080	1 236 705
Peral	Regadío	590 244	425 639	1 015 883
Albaricoque	Regadío	37 032	24 804	61 836
Cerezo	Regadío	186 265	124 763	311 028
Meloc- Necta	Regadío	1 373 514	919 997	2 293 512
Ciruelo	Regadío	51 266	36 969	88 236
Almendro	Regadío	224 862	141 800	366 662
Vid	Regadío	208 803	213 091	421 894
Olivo	Regadío	253 094	82 498	335 593
Subtotal	Regadío	3 665 706	2 465 643	6 131 349
Manzano	Secano	773	558	1 331
Peral	Secano	866	703	1 569
Albaricoque	Secano	1 064	768	1 832
Cerezo	Secano	189 367	126 840	316 207
Meloc- Necta	Secano	14 089	10 160	24 249
Ciruelo	Secano	7 896	6 008	13 904
Almendro	Secano	1 427 486	1 029 395	2 456 881
Vid	Secano	284 992	290 844	575 836
Olivo	Secano	2 082 857	869 849	2 952 706
Subtotal	Secano	4 009 390	2 335 124	6 344 514
Total		7 675 096	4 800 767	12 475 863

La información detallada por tipo de cultivo y municipio se encuentra recogida en el fichero cultivos leñosos.xls pero una distribución provincial de los cultivos en secano para su análisis se presenta en la tabla 9.

Tabla 9.- Superficies de cultivo en secano y CO₂ fijado por provincia

SUP [ha]	CO ₂ [t eq]	HUESCA	TERUEL	ZARAGOZA	TOTAL
SUP MANZANO		0	1	23	24
CO ₂ MANZANO		0	55	1 276	1 331
SUP PERAL		6	0	55	61
CO ₂ PERAL		154	0	1 414	1 569
SUP ALBARICOQUE		0	1	35	36
CO ₂ ALBARICOQUE		0	51	1 679	1 730
SUP CEREZO		34	135	2 945	3 114
CO ₂ CEREZO		3 452	13 404	299 046	315 902
SUP MELOCOTON (nec.)		0	62	201	263
CO ₂ MELOCOTON (nec.)		0	5 717	18 533	24 249
SUP CIRUELA		2	0	241	243
CO ₂ CIRUELA		114	0	12 073	12 187
SUP ALMENDRO		10 944	18 632	29 491	59 067
CO ₂ ALMENDRO		455 089	774 995	1 226 673	2 456 757
SUP VIÑA		3 140	3 622	26 159	32 921
CO ₂ VIÑA		54 923	63 354	450 982	569 259
SUP OLIVO		6 556	21 500	8 398	36 454
CO ₂ OLIVO		531 024	1 741 460	680 141	2 952 625
CO ₂ BIOMASA RADICAL		376 356	877 549	1 076 915	2 330 820
CO ₂ BIOMASA AEREA		668 401	1 721 486	1 614 902	4 004 789
CO ₂ TOTAL		1 044 757	2 599 035	2 691 817	6 335 609

Destacan entre los cultivos de secano de forma global el olivo y el almendro con gran diferencia respecto a los demás cultivos. Provincialmente el valor más alto de un cultivo es el del olivo de la provincia de Teruel seguido del almendro de Zaragoza.

Análogamente los resultados en regadío se encuentran en la tabla 10.

Tabla 10.- Superficies de cultivo en regadío y CO₂ fijado por provincia

SUP [ha]	CO ₂ [t eq]	HUESCA	TERUEL	ZARAGOZA	TOTAL
SUP MANZANO		1 727	127	3 359	5 213
CO ₂ MANZANO		409 704	30 129	796 871	1 236 705
SUP PERAL		3 030	110	2 851	5 991
CO ₂ PERAL		513 792	18 653	483 439	1 015 883
SUP ALBARICOQUE		113	47	590	750
CO ₂ ALBARICOQUE		9 317	3 875	48 644	61 836
SUP CEREZO		459	72	2 532	3 063
CO ₂ CEREZO		46 609	7 311	257 109	311 028
SUP MELOCOTON (nec.)		7 762	1 950	5 640	15 352
CO ₂ MELOCOTON (nec.)		1 159 604	291 320	842 588	2 293 512
SUP CIRUELA		247	10	829	1 086
CO ₂ CIRUELA		20 068	812	67 355	88 236
SUP ALMENDRO		740	232	2 692	3 664
CO ₂ ALMENDRO		74 053	23 217	269 393	366 662
SUP VIÑA		1 867	49	7 734	9 650
CO ₂ VIÑA		81 641	2 143	338 197	421 981
SUP OLIVO		2 157	1 638	6 164	9 959
CO ₂ OLIVO		72 685	55 196	207 711	335 593
CO ₂ BIOMASA RADICAL		963 352	165 215	1 337 120	2 465 687
CO ₂ BIOMASA AEREA		1 424 121	267 441	1 974 187	3 665 749
CO ₂ TOTAL		2 387 473	432 656	3 311 307	6 131 436

En regadío, por otra parte los cultivos más destacados son los de melocotón y nectarina seguidos por los de manzano y peral. Por provincia destaca Huesca con el cultivo de melocotón y nectarina, siendo el único cultivo por provincia que supera el millón de t de CO₂ equivalente.

Con estos valores también se puede calcular el ratio de acumulación espacial en t CO₂ eq/ha existente por cultivo y régimen de aporte de agua (tabla 11).

Tabla 11.- Ratio de acumulación de CO₂ eq/ha por cultivo y régimen

CULTIVO	SECANO	REGADIO
MANZANO	55,46	237,23
PERAL	25,71	169,57
ALBARICOQUE	48,06	82,45
CEREZO	101,45	101,54
MELOCOTON (nec.)	92,20	149,39
CIRUELA	50,15	81,25
ALMENDRO	41,59	100,07
VIÑA	17,29	43,73
OLIVO	81,00	33,70

Analizando estos ratios de acumulación, se observan diferencias para todos las especies, salvo para el cerezo, entre su cultivo en secano o regadío. Una vez más estos datos son orientativos y no pueden considerarse como absolutos por proceder de muestreos con una finalidad aproximativa.

2.3.3 CO₂ fijado por el matorral

Los resultados globales obtenidos de CO₂ equivalente acumulado por el matorral en Aragón ascienden a 23 millones de t CO₂ eq., aproximadamente. Este valor se obtiene a partir de las 22.330.265 t CO₂ eq. resultantes de la estimación realizada según la metodología expuesta, más el valor que resulte de aplicar un coeficiente de corrección (aproximadamente el 4 %) para la estimación de la superficie no muestreada por el IFN3. En la tabla 12 se desglosa por provincias estos valores.

Tabla 12.- Cantidad de CO₂ equivalente acumulado (t CO₂ eq.) por el matorral en el total de Aragón y desglosado por provincias.

Provincia	TOTAL
Huesca	9 575 133
Teruel	5 825 831
Zaragoza	6 929 301
Total	22 330 265

Las formaciones cuyo estrato arbustivo más contribuye a la fijación de CO₂ están muy condicionadas por el valor absoluto de su superficie así, los pinares de *P. sylvestris* oscenses ostentan esta primera posición, aproximándose al millón y medio de toneladas. En segundo lugar destacan los pinares de *P. halepensis* de Zaragoza, totalizando entre los densos y menos densos, los 2 millones. Los encinares y quejigales, más o menos abiertos, de ambas provincias, les siguen en esta clasificación con valores individuales por estrato superior al medio millón de toneladas.

La información pormenorizada se presenta en la tabla 13.

Tabla 13.- Resumen por estrato de vegetación forestal de las características cualitativas y cuantitativas en cuanto a fijación de carbono por el matorral existente en estas formaciones.

Prov. Estrato	Formación forestal dominante	Ocupación (%)	Estado de masa	Fracción de cabida cubierta (%)	ratio tCO ₂ eq/ha	Sup (ha)	biomasa total del matorral tCO ₂ eq
22_01	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	15,47	95 443	1 476 135
22_02	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	15,51	36 418	564 956
22_03	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus uncinata</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	10,36	11 899	123 289
22_04	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus uncinata</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	12,26	12 631	154 868
22_05	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q.humilis</i>) o con <i>Quercus ilex</i> o con otras frondosas	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	17,22	15 181	261 382
22_06	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus faginea</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	16,46	13 526	222 579
22_07	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus faginea</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	12,69	22 001	279 234
22_08	<i>Pinus uncinata</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	14,19	20 340	288 520
22_09	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	21,92	14 757	323 524
22_10	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	22,74	21 540	489 819
22_11	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	14,29	21 397	305 730
22_12	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	12,12	14 621	177 249
22_13	<i>Abies alba</i> y <i>Abies alba</i> con <i>Pinus sylvestris</i> o con <i>Pinus uncinata</i> o con <i>Fagus sylvatica</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	12,47	8 064	100 577
22_14	<i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q.humilis</i>) solos o con <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	14,90	17 675	263 428

22_15	<i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q.humilis</i>) solos o con <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	15,89	42 919	681 862
22_16	<i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus halepensis</i> o con <i>Juniperus spp.</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	15,53	14 743	228 933
22_17	<i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	40 - 69	15,97	36 944	590 172
22_18	<i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Juniperus spp.</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 39	16,53	29 791	492 484
22_19	<i>Fagus sylvatica</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	6,17	11 413	70 436
22_20	<i>Fagus sylvatica</i> con <i>Pinus sylvestris</i> o con otras frondosas	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	12,40	18 209	225 818
22_21	<i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	20,72	15 799	327 371
22_22	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus halepensis</i> solos o con <i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus faginea</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	18,04	9 221	166 340
22_23	<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q. humilis</i>), <i>Quercus faginea</i> , <i>Juniperus spp.</i> y otras frondosas	>=70; 30<=Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	17,46	40 070	699 725
22_24	Plantaciones de <i>Populus nigra</i> y <i>Populus x canadensis</i>	>=70	Todos	5 - 100	12,89	5 440	70 117
22_25	Árboles de ribera	>=70; 30<=Esp.<70	Todos	5 - 100	26,99	8 461	228 314
22_26	Matorral con arbolado ralo y disperso	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	5 - 19	15,53	49 074	762 269
44_01	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	6,98	46 691	325 907
44_02	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	6,17	30 617	188 914
44_03	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	8,31	13 940	115 807
44_04	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	12,85	28 135	361 448
44_05	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	14,63	40 215	588 476
44_06	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	11,81	23 249	274 577

44_07	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	6,94	23 956	166 257
44_08	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	8,83	22 800	201 342
44_09	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	9,25	15 846	146 613
44_10	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	12,86	13 106	168 557
44_11	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	13,42	11 208	150 403
44_12	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i>	30<Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	9,98	15 335	153 004
44_13	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i>	30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	9,27	16 358	151 701
44_14	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 100	7,89	18 803	148 445
44_15	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	10,07	16 706	168 216
44_16	<i>Juniperus thurifera</i> y <i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus ilex</i>	>=70; 30<Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	8,96	27 737	248 453
44_17	<i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus faginea</i> con <i>Pinus pinaster</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	9,95	22 150	220 381
44_18	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i> o con <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	11,81	10 985	129 698
44_19	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i> o con <i>Juniperus thurifera</i> o con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus pinaster</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	40 - 69	8,82	24 546	216 534
44_20	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i> o con Otras frondosas	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 39	14,59	21 654	316 018
44_21	<i>Juniperus thurifera</i> y <i>Juniperus thurifera</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus sylvestris</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	10,79	10 809	116 686
44_22	<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus halepensis</i> y <i>Pinus sylvestris</i>	>=70; 30<Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	12,95	20 313	263 128
44_23	<i>Quercus ilex</i>	>=70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	9,22	33 641	310 194
44_24	<i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	>=70; 30<Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	19,69	10 934	215 276
44_25	Plantaciones de chopos	>=70; 30<Esp.<70	Todos	5 - 100	3,68	3 242	11 938

44_26	Árboles fuera del monte, ribera arbolada	>=70; 30<Esp.<70	Todos	5 - 100	18,74	5 158	96 644
44_27	Matorral con arbolado ralo y disperso	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	5 - 19	9,97	37 223	371 213
50_01	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	24,68	32 633	805 307
50_02	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	22,18	51 519	1 142 549
50_03	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	23,39	28 781	673 217
50_04	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30≤Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	24,07	23 681	569 970
50_05	<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus nigra</i> con otros pinos	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	20,92	8 406	175 886
50_06	<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus nigra</i> con otros pinos	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	19,80	10 045	198 875
50_07	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	20,83	15 202	316 597
50_08	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	10,46	14 432	150 988
50_09	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i>	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	14,47	54 768	792 618
50_10	<i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus faginea</i> con otras frondosas	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	24,85	27 330	679 127
50_11	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus faginea</i> achaparrados	>=70; 30≤Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	16,16	39 576	639 649
50_12	Plantaciones de <i>Populus spp.</i>	>=70	Todos	5 - 100	6,60	2 314	15 281
50_13	Árboles de ribera	>=70; 30≤Esp.<70	Todos	5 - 100	22,42	10 164	227 852
50_14	Matorral con arbolado ralo y disperso	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	5 - 19	18,12	29 884	541 386

Desde el punto de vista cualitativo de la tipología del matorral, más que en que estrato arbóreo se encuentra dicho matorral, puede ser interesante ver la contribución de las diferentes tipologías de matorral definidas en el trabajo (tablas 2 y 14), entendiendo que el nombre de la tipología se corresponde con matorrales y arbustos similares, no sólo a los contemplados bajo su nombre específico. Se puede comprobar que los ratios relativos de acumulación por tipo de matorral son inferiores a los de los estratos forestales de vegetación mostrados en la tabla 13, ello es debido a que en éstos el ratio está compuesto por más de un tipo de matorral y sus ratios se acumulan. La contribución porcentual se ha calculado con base en las parcelas estudiadas, por lo que tan sólo se ofrece un valor relativo al no disponer de la distribución espacial total por tipo de matorral y sí por tipo de estrato. En la tabla 14 se muestran estos valores.

Tabla 14.- Promedio del ratio de acumulación de tCO₂eq/ha y su contribución porcentual de las diferentes categorías de matorral definidas en el trabajo.

Categoría	Promedio de ratio de acumulación tCO₂eq/ha	Contribución porcentual
Gayubas y madre selvas	8,20	22%
Aliagas	4,05	17%
Coscojas	8,07	16%
Espinos	2,26	14%
Lentiscos	4,80	13%
Tomillos	1,04	4%
Espliegos	1,84	4%
Romeros	1,95	4%
Jaras	1,61	3%
Brezos subar bustivos	4,47	1%
Brezos arbustivos	2,51	1%

2.3.4 CO₂ fijado por los pies menores

Esta fracción de vegetación forestal tiene una contribución escasa para el cómputo del CO₂ fijado en su biomasa por el escaso tamaño de sus integrantes (diámetro normal, o a 1,3 m del suelo, inferior a 7,5 cm), pero su análisis nos permite obtener información de gran interés acerca de la evolución de las masas forestales si se hace de forma comparada en el tiempo como se detalla en el capítulo 3.

La funcionalidad del regenerado es evidente en términos de su potencial de crecimiento y por tanto de fijación de Carbono. Además el principal criterio de la sostenibilidad forestal es asegurar la permanencia de la vegetación arbórea con la regeneración de nuevos individuos y esta fracción de vegetación aporta información relevante para su conocimiento.

Los resultados globales de carbono fijado por los pies menores en t CO₂ equivalente globales y por provincia aragonesa, y distinguiendo entre la parte aérea y radical, son los reflejados en la tabla 15.

Tabla 15.- Carbono fijado por los pies menores (t CO₂ eq.) en el total de Aragón y desglosado por provincias.

	AEREA	RADICAL	TOTAL	% sobre Pies mayores
Huesca	1 749 233	2 499 730	4 248 963	5 %
Teruel	2 465 010	2 773 831	5 238 842	10 %
Zaragoza	1 359 877	1 861 393	3 221 269	12 %
TOTAL	5 574 120	7 134 954	12 709 074	8 %

2.3.5 CO₂ fijado por los pies mayores

En lo que se refiere a los bosques corresponden los estratos más productivos o eficientes en cuanto a cantidad de CO₂ equivalente acumulado en su biomasa, en primer lugar los formados por abetales de *Abies alba* puro o mezclado, pinares de *Pinus sylvestris*, *P. uncinata* o *Fagus sylvatica*, con una ocupación de la especie principal superior al 70%, en estado de latizal o fustal y con una fracción de cabida cubierta indiferente (20-100) porque en estas formaciones ésta suele ser muy alta. En estos casos su ratio espacial de biomasa alcanza un valor de casi los 400 t CO₂eq/ha. Los estratos compuestos por *Pinus uncinata* pirenaicos de similares características con 325 t CO₂eq/ha, le siguen en capacidad de absorción. La interpretación de estos altos valores hay que buscarla en la historia reciente de estas formaciones por la falta de explotación o aprovechamiento, acaecida probablemente por su dificultad y baja rentabilidad, lo que ha dado lugar a la existencia de masas forestales formadas por pies de elevadas dimensiones y posiblemente ya en fase extracortable o pasadas de turno. La tercera formación y las siguientes se corresponden con formaciones forestales altamente productivas en buenas calidades de estación. Nos referimos a los no muy abundantes hayedos oscenses (11.600 ha) y al conjunto de pinares de calidad de *Pinus sylvestris*, *nigra* y *pinaster* de las provincias de Huesca y Teruel. Todos estos estratos superan las 200 t CO₂eq/ha duplicando el ratio de las formaciones más esclerófilas del género *Quercus* que raramente superan las 100 t CO₂eq/ha.

Combinado la información sobre superficies con la productiva se puede obtener una clasificación de las formaciones más interesantes desde el punto de vista del carbono retenido en nuestra comunidad. Así a la cabeza y con mucha diferencia del resto se encuentran con los pinares productivos oscenses de *Pinus sylvestris* por su elevada representación territorial y su alta productividad, con 22 millones de t CO₂eq, en segundo lugar, con la mitad aproximadamente están sus homólogos de Teruel y, en tercer lugar con 6,6 millones los bosques pirenaicos de *Pinus uncinata* por el motivo expuesto anteriormente.

Por otra parte las formaciones forestales naturales menos representadas en superficie son los abetales puros o mixtos de la provincia de Huesca con una extensión de 8.000 ha. También por debajo de las 10.000 ha aparecen los pinares de *P. nigra* zaragozanos y algunas formaciones oscenses de Quercineas jóvenes en estado de repoblado o monte bravo. Estas últimas corresponden a los recientes abandonos agrarios y a la ocupación natural de esos terrenos por las especies propias del hábitat.

Los ratios inferiores de carbono acumulado por hectárea lo muestran los estratos lógicamente, y según los ritmos de la sucesión natural, menos productivos por las duras condiciones ecológicas que son capaces de soportar y siempre explotando los recursos al máximo del medio. Estos son los formados por matorral y arbolado ralo y disperso en las tres provincias con unos valores del orden de 20 t CO₂eq/ha. También tienen unos ratios bajos de acumulación superficial los montes jóvenes (repoblado y monte bravo) de mezcla de pinos así como los de Quercineas (~30 t CO₂eq/ha), los sabinas abiertos (38 t CO₂eq/ha) y los encinares-sabinas adultos (42 t CO₂eq/ha).

Al combinar la capacidad de almacenar carbono de las formaciones con su extensión territorial, se pueden obtener resultados sobre aquellos estratos que menos contribuyen cuantitativamente en Aragón a la fijación de carbono. Con menos de medio millón de t CO₂ eq. se encuentran los quejigales turolenses jóvenes y los repoblados y montes bravos de mezcla de pinos (*P. halepensis*, *P. nigra* y *P. sylvestris*) de Huesca y Zaragoza con baja cubierta superficial. En general los pinares de las tres provincias con fracción de cabida cubierta baja (20-40%) acumulan del orden de 800.000 t CO₂ eq. por estrato sin distinción de especie.

El resumen gráfico de los ratios de carbono almacenado por hectárea en los principales tipos de formaciones forestales se presenta a continuación (gráfico 3).

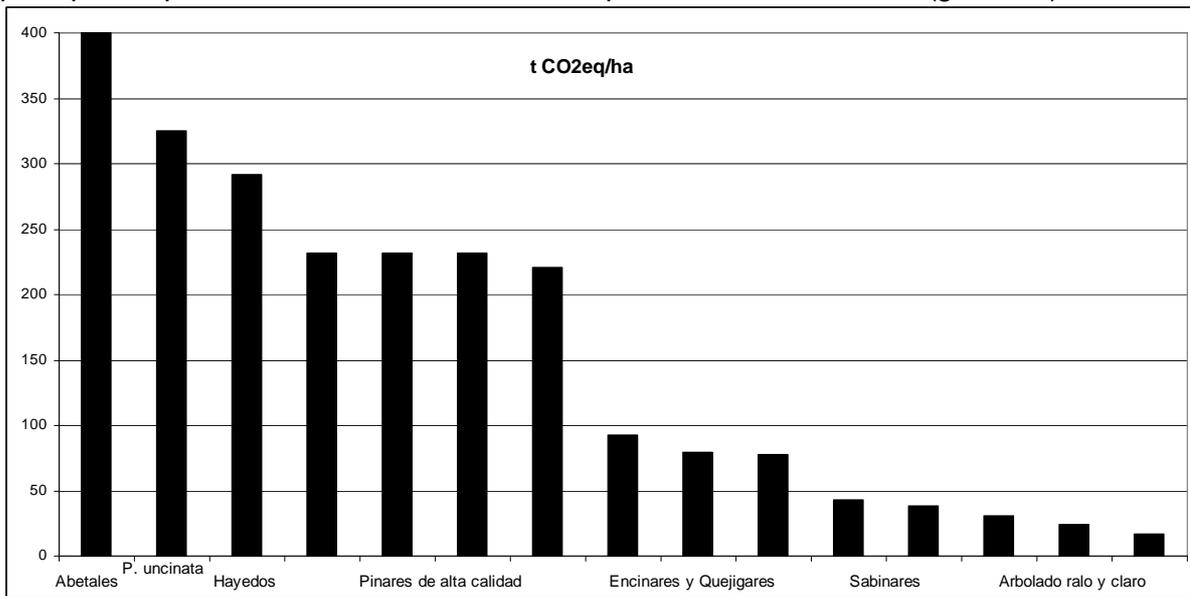


Gráfico 3.- Ratios de acumulación de carbono (t CO₂eq/ha) en los principales tipos de formaciones forestales

Además, y también de forma gráfica por especie principal de la formación, se puede comprobar en el gráfico 4 cuales son las especies de mayor transcendencia en la acumulación de carbono total en nuestra comunidad (incluyendo la información de su ocupación superficial).

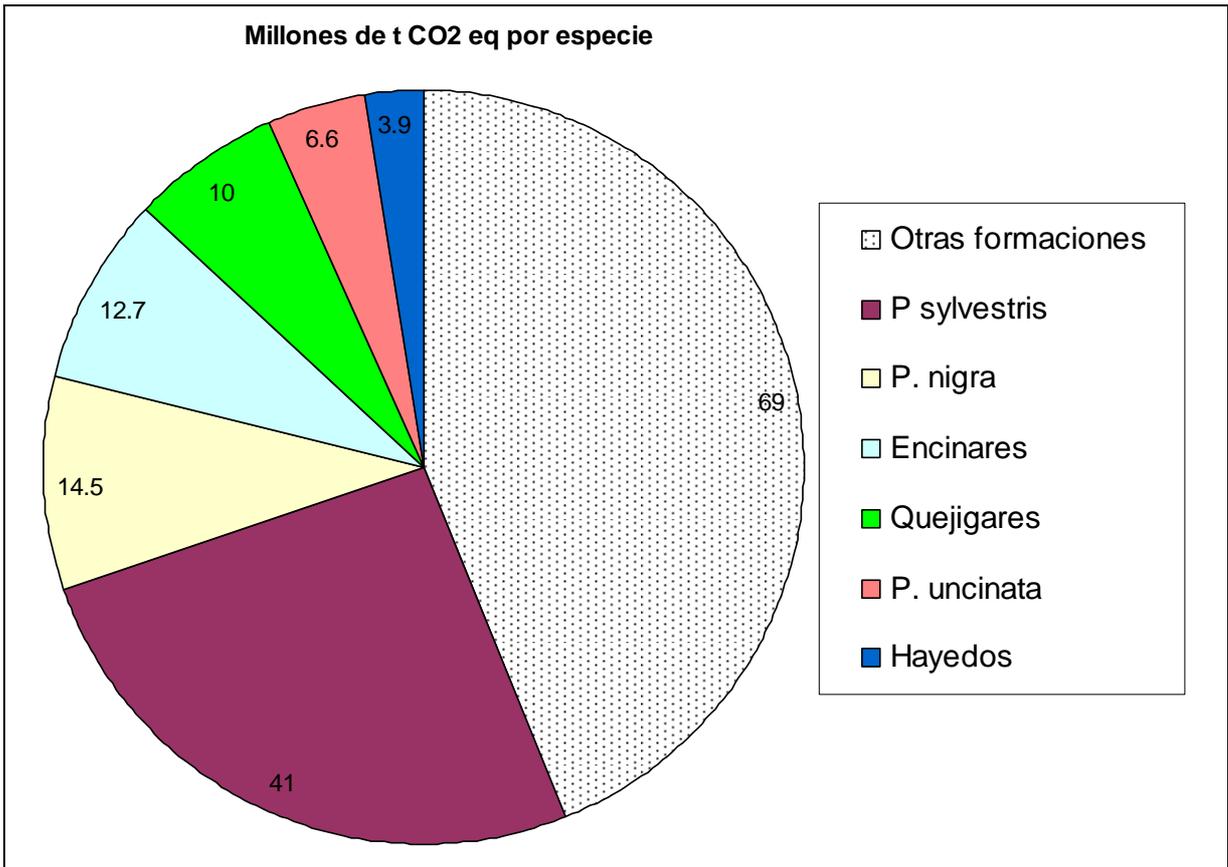


Gráfico 4.- Especies de mayor trascendencia en la acumulación de carbono total en Aragón (incluyendo la información de su ocupación superficial).

En la tabla 16 se encuentra desglosado el resumen por estrato de vegetación forestal de las características cualitativas y cuantitativas en cuanto al carbono almacenado por los pies mayores referido para el conjunto de Aragón.

Tabla 16.- Resumen por estrato de vegetación forestal de las características cualitativas y cuantitativas de acumulación de carbono por los pies mayores.

Prov Estrato	Formación forestal dominante	Ocupación (%)	Estado de masa	Fracción de cabida cubierta (%)	ratio tCO2eq/ha	Sup (ha)	biomasa pies mayores tCO2eq
22_01	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	231	95 443	22 086 645
22_02	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	105	36 418	3 814 603
22_03	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus uncinata</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	232	11 899	2 756 967
22_04	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus uncinata</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	110	12 631	1 383 305
22_05	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q.humilis</i>) o con <i>Quercus ilex</i> o con otras frondosas	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	139	15 181	2 112 504
22_06	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus faginea</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	177	13 526	2 399 279
22_07	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus faginea</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	87	22 001	1 913 599
22_08	<i>Pinus uncinata</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	325	20 340	6 606 354
22_09	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 -100	106	14 757	1 558 818
22_10	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	52	21 540	1 109 705
22_11	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	175	21 397	3 735 040
22_12	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	69	14 621	1 004 015
22_13	<i>Abies alba</i> y <i>Abies alba</i> con <i>Pinus sylvestris</i> o con <i>Pinus uncinata</i> o con <i>Fagus sylvatica</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	400	8 064	3 224 377
22_14	<i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q.humilis</i>) solos o con <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	99	17 675	1 749 138
22_15	<i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q.humilis</i>) solos o con <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	54	42 919	2 313 034

22_16	<i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus halepensis</i> o con <i>Juniperus spp.</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	136	14 743	2 011 525
22_17	<i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	40 - 69	79	36 944	2 934 276
22_18	<i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Juniperus spp.</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 39	43	29 791	1 271 251
22_19	<i>Fagus sylvatica</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	291	11 413	3 326 628
22_20	<i>Fagus sylvatica</i> con <i>Pinus sylvestris</i> o con otras frondosas	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	215	18 209	3 913 436
22_21	<i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	84	15 799	1 323 761
22_22	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus halepensis</i> solos o con <i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus faginea</i>	>=70; 30<=Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	43	9 221	396 898
22_23	<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus pubescens</i> (<i>Q. humilis</i>), <i>Quercus faginea</i> , <i>Juniperus spp.</i> y otras frondosas	>=70; 30<=Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	54	40 070	2 150 897
22_24	Plantaciones de <i>Populus nigra</i> y <i>Populus x canadensis</i>	>=70	Todos	5 - 100	16	5 440	85 720
22_25	Árboles de ribera	>=70; 30<=Esp.<70	Todos	5 - 100	68	8 461	573 747
22_26	Matorral con arbolado ralo y disperso	>=70; 30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	5 - 19	31	49 074	1 505 407
44_01	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	231	46 691	10 807 240
44_02	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	143	30 617	4 373 407
44_03	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	63	13 940	878 236
44_04	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	114	28 135	3 203 972
44_05	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	72	40 215	2 910 035
44_06	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	32	23 249	734 639
44_07	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	188	23 956	4 500 292
44_08	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	121	22 800	2 761 175

44_09	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	53	15 846	838 196
44_10	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	221	13 106	2 892 336
44_11	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	121	11 208	1 360 864
44_12	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i>	30<Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	209	15 335	3 203 468
44_13	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i>	30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	106	16 358	1 732 203
44_14	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 100	68	18 803	1 279 813
44_15	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	39	16 706	645 358
44_16	<i>Juniperus thurifera</i> y <i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus ilex</i>	>=70; 30<Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	29	27 737	810 499
44_17	<i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus faginea</i> con <i>Pinus pinaster</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	89	22 150	1 974 252
44_18	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i> o con <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	130	10 985	1 423 434
44_19	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i> o con <i>Juniperus thurifera</i> o con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus pinaster</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	40 - 69	88	24 546	2 167 797
44_20	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i> o con Otras frondosas	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 39	60	21 654	1 291 205
44_21	<i>Juniperus thurifera</i> y <i>Juniperus thurifera</i> con <i>Pinus nigra</i> o con <i>Pinus sylvestris</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	95	10 809	1 030 255
44_22	<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus halepensis</i> y <i>Pinus sylvestris</i>	>=70; 30<Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	32	20 313	643 760
44_23	<i>Quercus ilex</i>	>=70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	39	33 641	1 299 201
44_24	<i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	>=70; 30<Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	28	10 934	306 893
44_25	Plantaciones de chopos	>=70; 30<Esp.<70	Todos	5 - 100	4	3 242	12 081
44_26	Árboles fuera del monte, ribera arbolada	>=70; 30<Esp.<70	Todos	5 - 100	210	5 158	1 084 832

44_27	<i>Matorral con arbolado ralo y disperso</i>	>=70; 30<Esp.<70	Fustal. Latizal	5 - 19	17	37 223	615 135
50_01	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	116	32 633	3 800 126
50_02	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	64	51 519	3 303 054
50_03	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	30	28 781	862 373
50_04	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus nigra</i>	>=70; 30≤Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	21	23 681	502 262
50_05	<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus nigra</i> con otros pinos	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	70 - 100	183	8 406	1 534 623
50_06	<i>Pinus nigra</i> y <i>Pinus nigra</i> con otros pinos	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 69	104	10 045	1 045 688
50_07	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	155	15 202	2 348 832
50_08	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	146	14 432	2 102 414
50_09	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus ilex</i> con <i>Pinus halepensis</i>	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	77	54 768	4 242 274
50_10	<i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus faginea</i> con otras frondosas	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	20 - 100	93	27 330	2 539 546
50_11	<i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus faginea</i> achaparrados	>=70; 30≤Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5 - 100	35	39 576	1 401 041
50_12	<i>Plantaciones de Populus spp.</i>	>=70	Todos	5 - 100	36	2 314	83 479
50_13	<i>Árboles de ribera</i>	>=70; 30≤Esp.<70	Todos	5 - 100	138	10 164	1 398 772
50_14	<i>Matorral con arbolado ralo y disperso</i>	>=70; 30≤Esp.<70	Fustal. Latizal	5 - 19	24	29 884	726 509

3 POTENCIAL DE LA VEGETACION FORESTAL

3.1 POTENCIALIDAD DE LOS DISTINTOS ECOSISTEMAS FORESTALES EN ACUMULACIÓN DE CARBONO

La capacidad de fijación de carbono por la vegetación forestal es un factor que es necesario considerar en la planificación para la gestión. Para ello se contemplan tres grandes líneas de actuación:

- Incremento de la superficie forestal.
- Aprovechamiento del crecimiento natural de las masas (finito).
- Técnicas de gestión selvícola orientadas a la fijación (Selvicultura del C).

Resulta obvio que aumentar la superficie con vegetación leñosa en general y forestal en particular supone un incremento neto de biomasa y por tanto de CO₂ fijado.

A la vista de hechos y los datos publicados por el M^a de Medio Ambiente Medio Rural y Marino la opción de incrementar de la superficie forestal por medio de repoblaciones o reforestaciones de tierras agrarias en Aragón no ha sido utilizada. En las dos últimas décadas la superficie total repoblada en Aragón está por debajo de las 2.000 ha, alcanzando la cifra de 543 ha en 2006. Por otra parte la escasísima implantación en nuestro territorio del programa de reforestación de tierras agrarias (9.036 ha en 13 años) pone de manifiesto que esta opción que está contemplada no se ha empleado suficientemente. No todo terreno desarbolado es susceptible de ser repoblado, amén de la existencia de otras limitaciones ecológicas y de ordenación del territorio, no obstante en Aragón aún se podrían conseguir avances significativos muy notables en esta línea.

Las otras dos posibles líneas de trabajo son presentadas a continuación con más detalle a través del estudio o evolución de las masas forestales en el tiempo analizando los datos de los dos últimos inventarios forestales y con las alternativas de gestión selvícola desde un punto de vista de la fijación, también denominada selvicultura del Carbono.

La idea que subyace en ambas aproximaciones es que los organismos vivos no crecen indefinidamente y el conocimiento más o menos preciso del punto de la típica curva sigmoide que caracteriza el crecimiento nos puede permitir, mediante técnicas de gestión selvícola (que se detallan y modelizan en los casos de estudio) aprovechar esa potencialidad para optimizar la fijación de Carbono por los bosques.

3.2 ANÁLISIS DE LA FIJACIÓN DE CARBONO POR COMPARACION DE INVENTARIOS

3.2.1. Pies mayores

El objetivo de este apartado es cuantificar la evolución de la vegetación forestal compuesta por pies mayores en el período comprendido entre la medición de los dos últimos inventarios forestales (IFN2 y IFN3). Este período de tiempo se estableció originariamente en 10 años, pero las circunstancias hicieron que el segundo inventario nacional se desarrollara entre los años 1986 a 1996 y el tercero entre 1997 y 2007. Los valores de medios teóricos de cada uno de estos inventarios se establecen en 1990 y 2005 respectivamente.

Como ya se ha explicado anteriormente (ap. 2.1.3.a), el Inventario Forestal Nacional se basa en la medición diferida cada 10 años de parcelas para estudiar la evolución de existencias y estudiar la variación a lo largo del tiempo de todas las variables medidas y analizadas. La comparación global de resultados debe hacerse con muchas precauciones, debido principalmente a las diferentes metodologías utilizadas en cada uno de los inventarios, así como a la diferente calidad de la información por la mejora de la tecnología con el paso de los años.

Uno de los mayores problemas que impiden la precisa comparación de inventarios es la referida a la información cartográfica usada como base para extrapolar la información del punto de medición a la superficie de la masa forestal en la que se encuentra y es representada por dicho punto.

En el IFN2 se utilizó como base para estimar las superficies y para formar estratos el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000 del año 1974. Por otra parte, en el caso del IFN3, la base cartográfica utilizada ha sido el Mapa Forestal Español a escala 1:50.000, considerado ya como un proyecto continuo como el propio IFN con una tesela mínima representada de 6,5 ha que puede disminuir a 2 ha en casos concretos. El avance tecnológico acaecido en el periodo transcurrido entre 1974 y 2005 repercute claramente en la calidad del mapa forestal que sirve de base para el IFN3 permitiendo una calidad de la información muy superior a la existente en el segundo inventario nacional.

Este tema ya ha sido comentado en el apartado de metodología y ha sido tenido en cuenta para la comparación de la información obtenida del procesamiento de ambos inventarios.

Así el procesamiento de las bases de datos de ambos inventarios ha sido similar en cuanto a la caracterización individual de los árboles presentes en las parcelas de muestreo, así como su totalización por parcela. La información de ambos inventarios, cantidad de CO₂eq por parcela y especie, se ha tratado de forma que se pueda obtener la variación existente en el periodo de tiempo considerado (15 años).

De un total de 5.317 parcelas analizadas del IFN3, han sido objeto de análisis comparativo 3.581. Ha sido necesario un trabajo de depuración para identificar y utilizar para la comparación solamente aquellas parcelas comparables, esto es, aquéllas que habiendo sido medidas en el año 1990 han podido ser identificadas, localizadas inequívocamente y medidas en 2005. Con este proceso se excluyen un significativo número de parcelas que por incremento de la superficie arbórea, por cambios en la superficie forestal o por las diferencias metodológicas y de calidad del tercer inventario no se encuentran en ambos inventarios. Este valor se ha obtenido tras la depuración y filtrado de la información de las bases de datos y agrupación por parcela de la información de árboles y especies. El siguiente paso ha sido la comparación de existencias de CO₂ eq por fracciones, resumidas en sus partes aérea y radical respectivamente y promediadas por estrato de vegetación forestal.

La estimación del incremento de biomasa o de CO₂ absorbido basado en la comparación de inventarios con idéntica metodología de cálculo ha permitido obtener una aproximación sobre datos reales de existencias y no extrapolando datos de tasas de crecimiento pasados sobre proyecciones de futuro.

Hasta la fecha las previsiones publicadas de incremento de la capacidad de absorción de CO₂ por las masas forestales se habían realizado por estimación del aumento de biomasa basado en el crecimiento (pasado) medio de los árboles. Dicha metodología requiere hacer consideraciones de biomasa extraída y establecimiento de hipótesis acerca del crecimiento, conduciendo finalmente a unas predicciones con mayor grado de incertidumbre.

La imposibilidad de obtener valores globales de existencias del IFN2 comparables con el IFN3 por el problema cartográfico ya comentado, hace que el proceso de cálculo se base en estimaciones por parcela y estrato por unidad superficial y, finalmente, se realice con base en la precisa cartografía actual del mapa forestal de España 1:50.000.

El resumen de la comparación del más que suficiente número de parcelas (3.581) que cumplían los requisitos para dicha comparación es, que ha habido un incremento global de 90.000 t CO₂eq/ha en la parte aérea y 31.600 t CO₂eq/ha en la parte radical en el conjunto de dichas parcelas. Esto supone un incremento medio de casi 34 t CO₂eq/ha en el período comprendido entre inventarios, lo que traducido a una tasa anual equivale a 2,26 t CO₂eq/ha año.

La superficie forestal arbórea actual existente en Aragón ocupada por los estratos considerados es de un millón y medio de hectáreas aproximadamente, y este valor permite afirmar que la tasa de fijación de CO₂ en los últimos 15 años ha sido de 3,43 millones de toneladas al año. Esta cifra se repartiría provincialmente de acuerdo con los datos que se presentan en el gráfico 5.

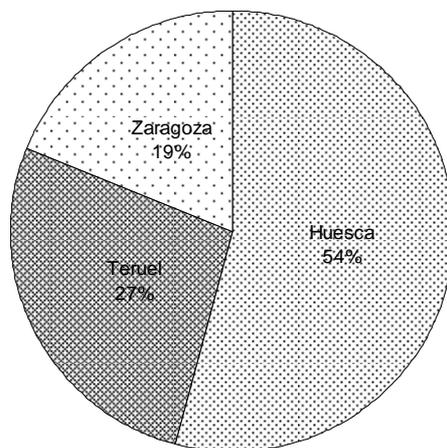


Gráfico 5.- Fijación de CO₂ por provincias (%) en los últimos 15 años.

Obviamente no todas las formaciones arbóreas contribuyen igualmente a esta cifra global y dado que el procedimiento de cálculo utilizado ha sido “ascendente”, es decir, partiendo de datos individuales de árbol por especie y agrupando posteriormente por parcela y estrato en fases sucesivas, se puede obtener información relativa a cada uno de los estratos forestales considerados en el Inventario Forestal Nacional.

Así, destaca en primer lugar en tasa de fijación de CO₂ por ha y año, con casi 10 toneladas, los abetales oscenses y los pinares de alta calidad, mientras que, en el extremo opuesto de las formaciones nos encontramos los sabinares de los páramos turolenses que no llegan a la media tonelada. Dado que el turno de explotación o corta de las choperas productivas (12 años) es inferior al periodo de tiempo comprendido entre los dos inventarios considerados (15 años) estos estratos no han sido considerados en este apartado.

En el gráfico 6 se pueden ver las diferencias relativas entre estos estratos diferenciándose la parte aérea de la radical.

En este gráfico se destaca no solo la gran variabilidad en el potencial fijador de las distintas formaciones o estratos, sino además como la contribución radical de algunas especies, principalmente frondosas, es mucho mayor que otras. Destacan por esta contribución radical los estratos que contienen *Fagus sylvatica*, *Quercus ilex* y *Q. faginea*.

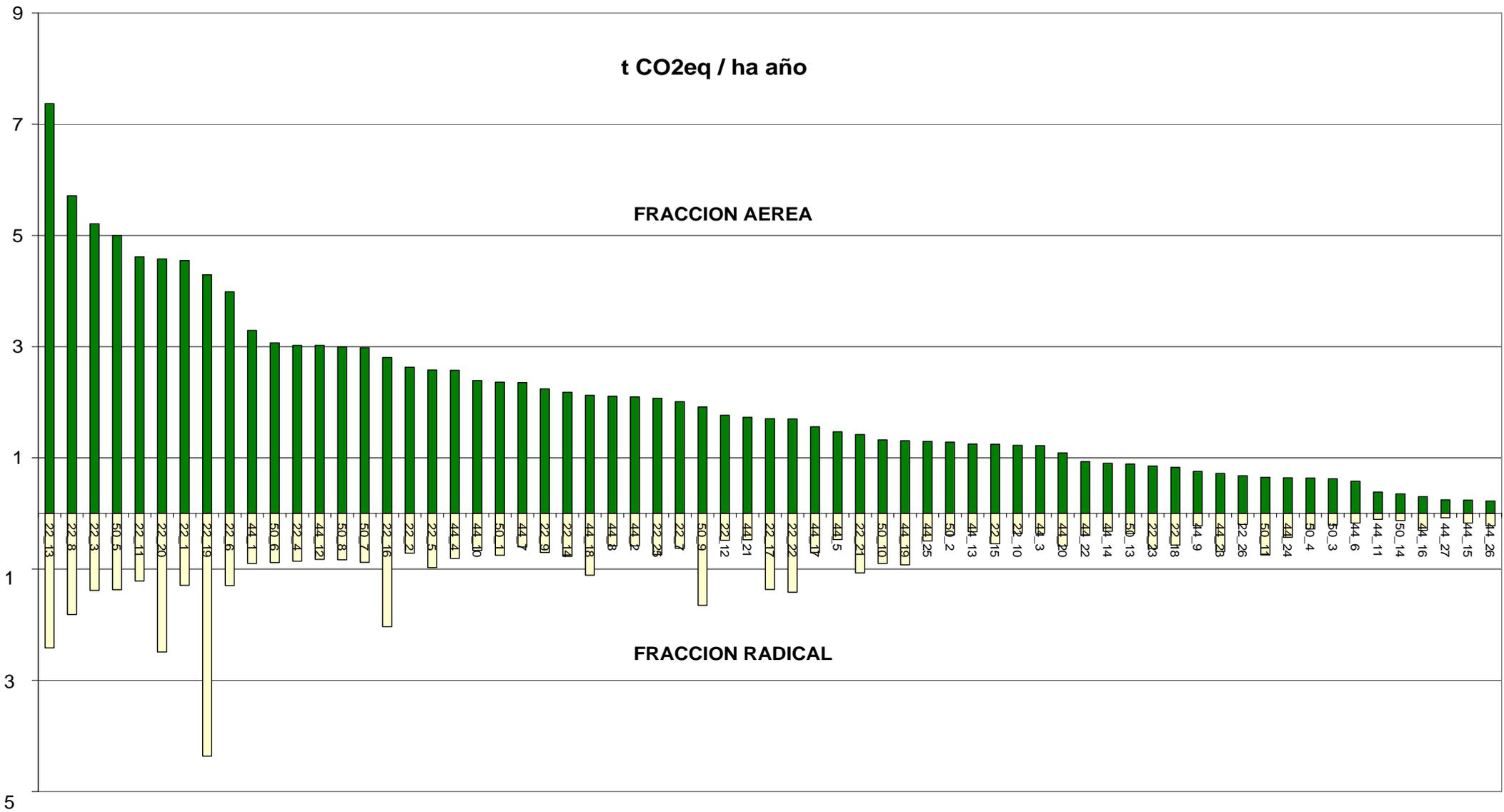


Gráfico 6.- Tasa de fijación de CO₂ aérea y radical de los distintos estratos forestales.

3.2.2 Pies menores

El primer aspecto a considerar en la comparación entre el segundo y tercer inventario forestal es el número total de parcelas en las que se constató la presencia de pies menores. Las diferencias metodológicas, especialmente de precisión y de consideración de especies entre ambos inventarios, ofrecen dificultades añadidas para su comparación. El distinto tratamiento que han tenido las especies secundarias en ambos inventarios ha motivado su exclusión para la obtención de resultados globales comparables. Las primeras cifras comparables son el total de parcelas que incluyen pies menores entre ambos inventarios, así mientras en el IFN2 3.833 parcelas disponían de este tipo de árboles, en el IFN3 la cifra se ve ligeramente reducida a 3.195 parcelas. El número total de árboles contabilizados y medidos (salvando las diferencias metodológicas) en el conjunto de especies que han tenido un tratamiento similar en ambos inventarios se presenta en la tabla 17:

Tabla 17.- Número de árboles de pies menores y su altura, en los inventarios IFN2 e IFN3, por provincias y en el total de Aragón.

	IFN 3		IFN2	
	Nº ÁRBOLES	ALTURA (m)	Nº ÁRBOLES	ALTURA (m)
Huesca	8.320	3,33	10.405	3,06
Teruel	9.602	3,02	10.926	2,75
Zaragoza	4.765	3,36	6.777	2,99
TOTAL	22.687	3,22	28.108	2.94

A la vista de estos datos, la primera conclusión que se observa es que con el paso del tiempo la fracción de arbolado correspondiente a los pies procedentes de regeneración no sólo no ha aumentado sino que en 1990 había casi un 24% más de árboles en estado juvenil que en 2005. Respecto a la altura media de éstos también observamos que son algo mayores (9%) lo cual concuerda lógicamente con la disminución en número. La interpretación de esta reducción puede ser debida principalmente a tres causas no excluyentes, por un lado la disminución de nuevos terrenos incorporados a monte arbolado, por otro la realización de trabajos selvícolas de clareos de montes (que generalmente eliminan los árboles de peor porvenir, dominados, defectuosos, etc.) y finalmente la falta de cortas de regeneración (que conllevan la consiguiente diseminación de semilla y formación del repoblado, primera clase natural de edad del arbolado).

Las comparaciones groseras de existencias entre inventarios (2º y 3º) apuestan por un incremento de la superficie forestal. Dicha comparación ha de realizarse con suma precaución por las diferencias en precisión y de metodología ya expuestas en este trabajo. De hecho, este resultado comparativo en parcelas homólogas territoriales no contradice dicho incremento como pudiera parecer por la disminución de pies menores. En todo caso, y a falta de los datos que puedan cuantificar los límites de cada de una de estas causas (aumento superficial o tratamientos selvícolas), lo que sí parece evidente es que los datos del segundo inventario reflejaban un gran aumento de área forestal por el abandono agrícola causado por el éxodo rural de las décadas anteriores.

La superficie forestal incrementada en el pasado ha continuado creciendo y se reflejan en unos valores actuales de existencias superiores a los del IFN2.

3.3 LA SELVICULTURA DEL CARBONO

La vegetación desempeña un papel central en el ciclo del carbono, tomándolo de la atmósfera y almacenándolo en sus tejidos a medida que crecen. En el protocolo de Kyoto, se propone la incorporación de la fijación de CO₂ como un objetivo dentro de los criterios de gestión de bosques. Sin embargo, los bosques no pueden fijar todo el exceso de CO₂ emitido por la actividad humana, por mucho que pudiésemos aumentar su superficie. Por otra parte y según el ciclo del C, de sus flujos y contenedores, el carbono fijado por el bosque retorna a la atmósfera, aunque se aumente parcialmente la fracción contenida en el contenedor de la vegetación. En la gestión forestal hay que tener muy en cuenta el tiempo que permanecerá retenido el carbono en la biomasa. La principal función de los bosques consiste en mitigar el problema temporalmente para permitir poner en marcha otras soluciones tecnológicas que permitan reducir la emisión de gases de efecto invernadero, que debe ser el objetivo final (Montero *et al.*, 2004).

El carbono en los ecosistemas forestales

El balance entre el carbono acumulado en el árbol, como resultado de su crecimiento, y el liberado por el desprendimiento y descomposición de hojas, ramas, frutos, cortezas, etc., determina la fijación neta de carbono por el árbol. El mismo razonamiento puede hacerse cambiando el concepto de árbol por el de masa forestal, incluyendo aquí el balance neto de todas las especies vegetales que lo componen: árboles, arbustos, matorrales.

Al intervenir selvícilmente se extraen diferentes fracciones de la biomasa que se acumulan en el bosque: madera, piñas, leñas y otros productos, cuyo aprovechamiento genera unos residuos. Una parte de ellos pueden ser extraídos del sistema, como las leñas y la madera, y otros, como ramillas finas y hojas, son quemados inmediatamente después o dejados en el suelo para que se descompongan e incorporen lentamente a la materia orgánica.

Cada uno de los productos finales, derivados de la madera, tienen un tiempo de uso medio (vida media), después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO₂ a la atmósfera. La selvicultura puede influir sobre la vida media de cada uno de los productos, mitigando o retardando más o menos la liberación de CO₂ y su incorporación al ciclo nuevamente. El tiempo durante el cual el carbono se mantiene formando, bien parte del árbol, bien parte de la madera de muebles, construcciones, papel, humus del suelo, etc., se considera que se encuentra almacenado aunque una parte importante no esté ya en el ecosistema forestal.

El conocimiento preciso de la dinámica del flujo neto de carbono entre el bosque y la atmósfera, o lo que es lo mismo, la cuantificación del balance emisión-captura, es uno de los principales retos que se plantean si se quiere incorporar la fijación de carbono como un objetivo más de la gestión forestal.

Por lo tanto, los procesos de captura-emisión de CO₂ en los productos forestales constituyen un complejo sistema con cuatro grupos generales de almacenamiento de carbono: biomasa aérea, biomasa radical, materia orgánica en descomposición y productos forestales almacenados fuera del bosque. Cada uno de estos reservorios tienen diferentes tiempos de residencia o vida media y diferentes rutas de incorporación como CO₂ atmosférico, lo que hace compleja su gestión a través de la selvicultura (Montero *et al.*, 2004).

Ordóñez y Masera (2001), para estimar la captura unitaria de carbono contenido en los diferentes almacenes del bosque, simplifican el sistema reduciéndolo a cuatro grupos, a los que añaden un quinto grupo que hace referencia al carbono que se ahorraría si la biomasa de todos o alguno de los reservorios del bosque fuese utilizada como biocombustible en sustitución de otros combustibles fósiles. Los mencionados grupos son los siguientes:

-Carbono fijado en la vegetación (Cv): es el carbono contenido en la biomasa viva aérea y radical.

-Carbono en descomposición (Cd): es el contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición, producido por las hojas, ramas, troncos y otras fracciones de biomasa muerta y depositada sobre el suelo, pero no incorporada al suelo mineral.

-Carbono en el suelo (Cs): es el carbono contenido en los horizontes que forman el perfil del suelo, originado por la meteorización de la roca madre y por la descomposición de restos vegetales incorporados al complejo arcillo-húmico como humus estable.

-Carbono en productos (Cp): es el carbono contenido en productos forestales durante el tiempo que el producto está en uso (puertas, ventanas, muebles, tableros, palets, madera de encofrados, embalajes, cartones, libros, papel prensa, papel de oficina, publicidad y otros). Cuanto mayor sea la vida media de un producto mayor será el tiempo de almacenamiento de carbono en el mismo, antes de ser reciclado o incorporado nuevamente a la atmósfera.

-Carbono ahorrado por sustitución de combustibles fósiles (Cf): se trata de una alternativa para reducir emisiones por sustitución de combustibles fósiles, utilizando en su lugar biomasa forestal para la producción de energía.

Cada uno de estos almacenes de carbono puede referirse a una hectárea esfuerzos o a cualquier otra unidad superficial, monte, municipio, comarca, provincia, comunidad autónoma o estado. El carbono total (Ct) será la suma del carbono acumulado en estos grupos (ec.4):

$$C_t \approx C_v + C_d + C_s + C_p + C_f \quad (\text{ec.4})$$

Desde el punto de vista de la silvicultura y la ecología tiene interés el carbono fijado en la vegetación, que es objeto de gestión a través de la silvicultura, incidiendo apreciablemente sobre el tipo de productos y, por lo tanto, sobre la vida media de los mismos, por ejemplo turnos cortos (ciclos de corta) darán lugar a un mayor porcentaje de madera de trituración y turnos largos a un mayor porcentaje de madera de sierra, que podrá utilizarse en construcción de viviendas, muebles, etc., con una vida media mayor. Por otra parte, mediante la silvicultura se puede contribuir directamente a la reducción de la superficie forestal incendiada.

Silvicultura y fijación de CO₂

La acumulación de biomasa y carbono en las masas forestales se puede incrementar a través de diferentes opciones. Como ejemplos se puede señalar, entre otros, el cambio de la amplitud del turno, la regulación de la densidad arbórea, la mejora del estado nutricional, la selección de especies y genéticos, el empleo de biotecnología, la adecuada gestión de los restos de corta, la protección frente a los incendios o el control de enfermedades y plagas. La mayor parte de estas actividades pueden

incrementar la tasa de acumulación de carbono entre 0,3 y 0,7 t C/ha año (Gracia *et al.*, 2005).

El almacenamiento del carbono depende de la composición específica del rodal y de la calidad de la estación (Bravo *et al.*, 2006a). Así, se ha demostrado que las coníferas contienen una mayor proporción de carbono que las frondosas (Ibáñez *et al.*, 2002). Bogino *et al.*, (2006) estudiando, en el monte de Valsaín (Sistema Central), rodales puros de *Pinus sylvestris* y de *Quercus pyrenaica* y rodales mixtos de ambas especies determinaron que en las masas de pino silvestre se almacena más carbono que en las de rebollo, dándose una situación intermedia en las masas mixtas. Las diferencias encontradas entre estas especies y otros casos pueden deberse a tres motivos principales: i) diferente configuración del fuste y del resto de la parte aérea del árbol de cada una de las especies, ii) diferente estructura forestal (es decir, diferente distribución diamétrica) generada por los diferentes tratamientos selvícolas aplicados y iii) insuficiente conocimiento de la biomasa subterránea lo que hace que infraestime su importancia.

Modificaciones del turno de aprovechamiento

El criterio más utilizado para la determinación del turno de corta es el denominado de máxima renta en especie. El bosque se corta cuando alcanza su crecimiento medio máximo, es el criterio más utilizado en España y ha permitido obtener de forma simultánea la maximización de la producción forestal y la obtención de otros bienes y servicios. El turno tiene un efecto sobre el almacenamiento de carbono en los bosques. Si bien los turnos cortos permiten obtener un mayor crecimiento anual medio, los turnos largos facilitan que la proporción de carbono en la corta final en relación con lo obtenido en cortas intermedias sea mayor (Bravo *et al.*, 2006a) y dado que los productos así obtenidos tienen como destino productos perdurables (muebles, construcción...) el almacenamiento de carbono, se produce por mucho más tiempo que en el caso de los turnos cortos. En estaciones poco productivas se recomienda alargar los turnos para conseguir almacenar carbono ya que se obtienen resultados similares que cuando se aplican turnos cortos en estaciones muy productivas. Por otro lado, los turnos largos permiten obtener productos de mayor tamaño que se pueden destinar a usos que almacenarán el carbono por más tiempo.

Si el alargamiento del turno es elevado pueden aparecer árboles muertos (en pie o derribados) que conllevan un aumento de la biodiversidad (Franklin *et al.*, 1997). Este aumento de la presencia de madera muerta tiene un importante impacto sobre el almacenamiento de carbono en los sistemas forestales porque la tasa de descomposición de la materia muerta varía con la especie, el tamaño del árbol, tipo de materia en descomposición (corteza, albura y duramen) y las condiciones estacionales (temperatura, humedad,...), y puede incrementar el riesgo frente a perturbaciones (por ejemplo, incendios) y por tanto de liberaciones bruscas de CO₂.

Un aspecto importante es la distribución de la biomasa en diferentes partes del árbol que puede permitir diferentes usos y por tanto un tiempo de almacenamiento diferente. Bravo *et al.*, (2006b) comprobaron que la proporción de la biomasa, y por tanto del carbono almacenado en el fuste de *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster* aumenta con la edad mientras que en las ramas disminuye. Este hecho tiene un impacto considerable sobre el posible aprovechamiento de la biomasa residual de los tratamientos selvícolas para la generación de energía. En general, se ha comprobado que en el caso de los pinares el porcentaje de biomasa que corresponde a las ramas de entre 2 y 7 cm, que es la más apropiada para la obtención de energía, decrece con la edad hasta una determinada edad, en la que aumenta ligeramente por el incremento de biomasa debido al engrosamiento de las ramas.

Claras

Las claras son una de las intervenciones selvícolas más importantes en los bosques gestionados de manera sostenible. Entre sus objetivos económicos y selvícolas destacan (Río, 1999):

- Reducir la competencia para procurar estabilidad biológica y mejorar el estado sanitario.
- Regular o mantener la composición específica y preparar la masa para la regeneración natural.
- Anticipar la producción de tal manera que al final del turno sea máximo.
- Incrementar el valor y dimensiones de los productos.

El régimen de claras queda definido por diferentes factores de la gestión forestal. En un trabajo de ensayo de distintos regímenes de claras en masas de pino negral en el Sistema Central se comprobó que un régimen intensivo de tres claras generaba mayores diámetros y un mayor incremento anual de carbono fijado: 1,96 t/ha año frente a las 1,77 t/ha año de un régimen más ligero (Bravo-Oviedo y Río, 2006). Lo mismo se puede decir para buenas calidades de pino silvestre en el mismo Sistema Central donde el incremento anual es mayor en regímenes de claras intensos (Montero *et al.*, 2003). En este caso la intervención siempre genera una mayor fijación de carbono en las masas tratadas que en las masas no intervenidas, incluso sin incluir el carbono subyacente en los productos generados en las claras o la sustitución de combustibles fósiles por la utilización de residuos de corta. Sin embargo no todas las intervenciones fijan la misma cantidad, variando entre porcentajes del 12,5% ó 8,7% frente al 3,5% en un escenario sin claras. En términos de incremento medio anual de carbono fijado por hectárea los escenarios con claras consiguen 2,65 t y 2,4 t frente a 2,36 t sin ellas, además de otros beneficios indirectos como la reducción de la intensidad de posibles incendios debido al efecto sinérgico producido al incrementar el crecimiento y reducir su vulnerabilidad.

Selvicultura y fijación de carbono en suelos

Las cortas forestales, especialmente las cortas a hecho y la preparación intensiva del suelo producen pérdidas de carbono edáfico (Turner y Lambert, 2000). El tratamiento de los restos generados en el aprovechamiento (triturándose y esparciéndose in situ) puede paliar en parte estas pérdidas de carbono.

Los restos de corta pueden significar del 20 al 35% del carbono contenido en el árbol, por lo que su aplicación contribuye a mantener el contenido de materia orgánica del suelo o, al menos, paliar su disminución. Algunos autores (Lal, 1997) estiman que un 15% del carbono de estos residuos puede ser transferido a la materia orgánica del suelo en corto plazo en los sistemas templados.

3.4 MODELIZACION Y SIMULACIONES (CO2FIX)

Desde la VII Conferencia de las Partes, o acuerdos de Marrakech, en 2001, el IPCC trabajó en la elaboración de un manual de buenas prácticas en el campo de LULUCF que fue adoptado en Octubre de 2003. Por otra parte se evidenció la necesidad de la elaboración de una herramienta que permitiera tratar con los problemas de la contabilidad de C, principalmente en proyectos de desarrollo limpio. Para abordar este problema (armonización de técnicas de cuantificación del ciclo del Carbono en ecosistemas forestales), se realizaron diversos proyectos de forma escalonada hasta llegar al actual CO2FIX v3.0. Esta herramienta informática tiene las siguientes características:

- Capacidad de simulación en rodales multiespecíficos e irregulares
- Parametrización del crecimiento por densidad del rodal
- Capacidad de incluir la competencia entre cohortes
- Inclusión de la distribución de C, líneas de transformación y vida final de la madera producida
- Dinámica del suelo
- Amplia variedad de sistemas forestales, de aprovechamientos y mortalidades
- Salidas gráficas.
- Módulo financiero de costes-beneficio
- Módulo de contabilidad de C para el cálculo de los créditos de C
- Módulo de bioenergía

La utilidad y/o explotabilidad del programa depende de la finalidad de su uso y de la información existente como punto de partida para las simulaciones que realiza. El amplio abanico de posibilidades de utilización que ofrece van desde la contabilidad de créditos de C en proyectos internacionales (mecanismos de desarrollo limpio o implementación conjunta), que no es nuestro caso, o la finalidad explotada en este estudio que es el análisis de la capacidad o posibilidades de diferentes ecosistemas forestales en función del tratamiento, gestión o selvicultura, aplicada a su capacidad fijadora y acumuladora de Carbono.

Así, esta herramienta consiste en una aplicación informática que mediante modelización realiza una contabilidad del carbono presente en los distintos reservorios o contenedores de C (biomasa vegetal, suelo, atmósfera, productos forestales transformados, etc). El modelo utiliza seis módulos dependientes, que interactúan por los flujos entre ellos según el siguiente esquema (Figura 11):

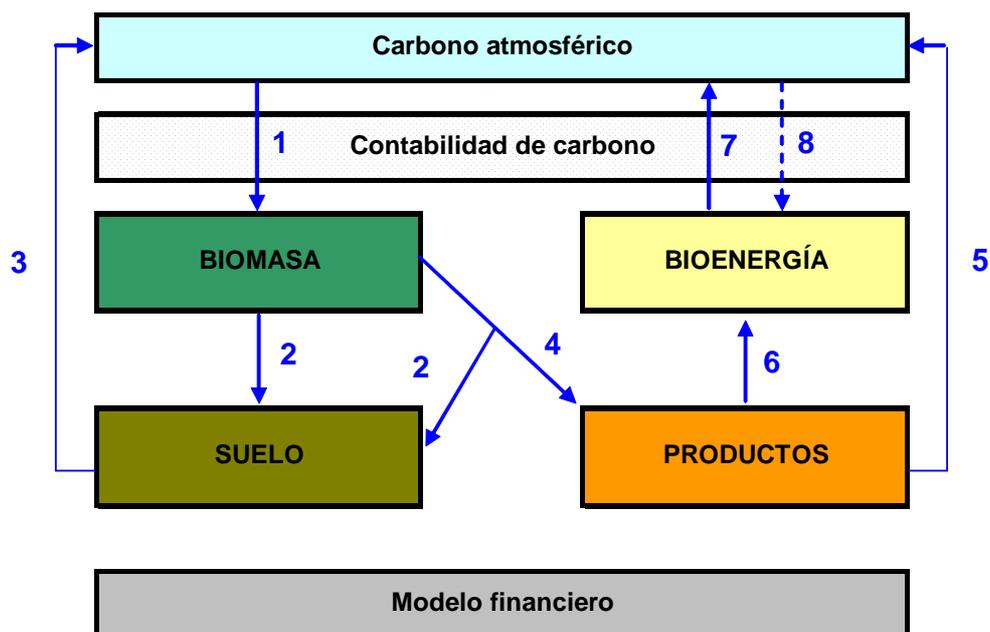


Figura 11.- Los módulos del CO2FIX v 3.1.

El carbono atmosférico es captado mediante la fotosíntesis por las formaciones vegetales, creando la biomasa (1). El modelo permite diferenciar la fijación del carbono entre las especies principales que componen el sistema forestal, así como las fracciones concretas que constituyen la biomasa del fuste, ramas, raíz y hojas.

Las producciones vegetales de las ramas, hojas y los árboles muertos, así como los residuos de los aprovechamientos forestales, pasan a formar parte del suelo por descomposición y humificación (2), liberando parte del carbono nuevamente a la atmósfera por la acción de los organismos descomponedores (3).

Los productos obtenidos a partir de la biomasa forestal (4) se clasifican según su uso y vida útil, considerando que una vez transcurrida ésta pasan de nuevo a la atmósfera bien por descomposición (5) o bien por su aprovechamiento energético (6,7) como combustible. Se considera asimismo que el empleo de la biomasa como combustible permite la sustitución de una cantidad energéticamente equivalente de combustibles fósiles (8).

Sin entrar en los detalles operativos de manejo del programa, ni en la utilización de todos sus módulos, por no ser objeto del estudio, ni la explicación del programa ni los módulos no utilizados, sí podemos describir los aspectos generales del mismo y, dentro del modulo de la biomasa y suelo, los fundamentos que tiene en cuenta. En primer lugar es necesario establecer los parámetros generales del estudio y/o simulación, así podemos especificar dentro del apartado *Comentarios* cualquier tipo de información definitoria, tal como el origen de los datos, la localización del caso en estudio, etc. El de *escenario* permite la definición de los diferentes situaciones o hipótesis que se van analizar para el mismo caso de estudio.

El de *parámetros generales* permite introducir los principales datos de entrada que describen el caso en estudio, así como los métodos de simulación escogidos (al igual que en el módulo de biomasa). Por ejemplo el modelo de crecimiento, que será aplicado a todas las cohortes y a todos los escenarios dentro de la simulación, las opciones del método de competición, la gestión de la mortalidad y otros módulos opcionales como el de productos o bioenergía (Figura 12).

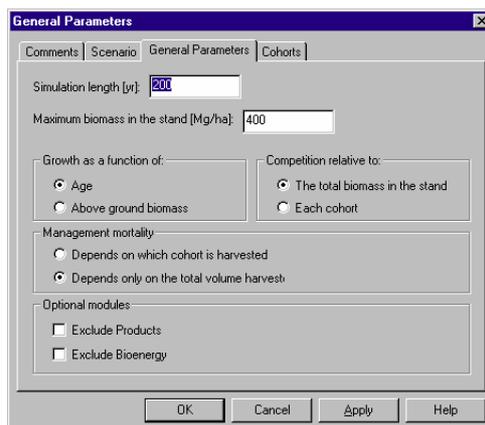


Figura 12.- Pantalla de *parámetros generales*, del menú principal *Parámetros generales*, con el caso de de método de crecimiento en función de la edad, la competencia relativa al total de la biomasa en la parcela y la gestión de la mortalidad dependiendo solamente del total de volumen cortado.

En el de *cohortes* se pueden especificar el nombre y tipos de cohortes que se quieran simular (Figura 13), también como en el capítulo de biomasa. El modelo es tan flexible que puede ser aplicado a una amplia variedad de tipos de bosques. A partir de plantaciones regulares monoespecíficas, es posible modelizar parcelas multiespecíficas e irregulares. El modelo utilizado en el programa es el “modelo cohorte” (Reed, 1980), donde cada cohorte está definida como un grupo de árboles individuales o como un grupo de especies, para los que se asume que presentan un crecimiento similar, y pueden ser tratados como una sola entidad en el modelo (Vanclay, 1989, Alder & Silva, 2000). Cada cohorte presenta su crecimiento, mortalidad, producción primaria y puede ser cortada. Además, se pueden definir interacciones entre las diferentes cohortes.

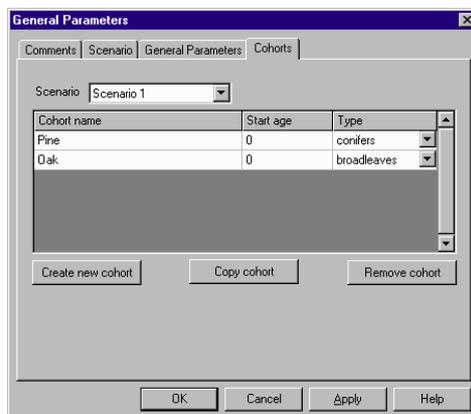


Figura 13.- Pantalla de *cohortes*, del menú principal *Parámetros generales*, en la que se presentan para el Escenario 1 dos tipos de cohortes.

El factor clave de cada cohorte (entendida como grupo funcional homólogo en el caso de sistemas multiespecíficos o complejos) es la producción del fuste por hectárea, dado que dicha información está fácilmente disponible para la mayoría de los tipos de bosque.

Modulo de biomasa

El factor conductor de cada cohorte en el módulo de biomasa es la producción de madera, en volumen por hectárea (Figura 14), dado que es la información más

fácilmente disponible para la mayoría de las tipologías de bosques. Se multiplica con la densidad de la madera y el flujo del contenido de carbono a lo largo de los años, dentro del componente de la madera del fuste. Los flujos entre otros componentes de la biomasa (raíces, ramas, follaje) son determinados por su crecimiento, relativo a la producción maderable, y sus respectivos contenidos en carbono. Los elementos de toda la biomasa producida que cae son incorporados al suelo, así como los residuos procedentes de las actividades selvícolas.

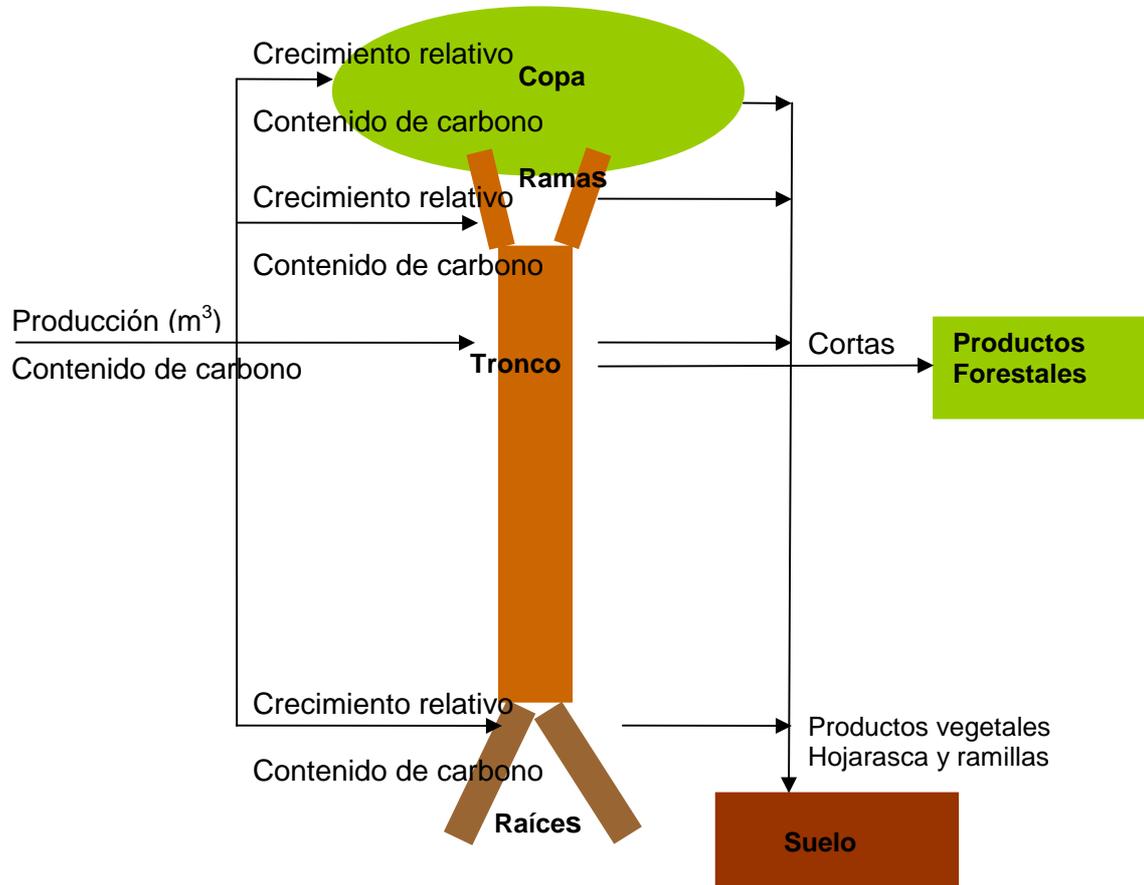


Figura 14.- Esquema del proceso y flujos en el módulo de biomasa para una cohorte

En este módulo es necesario introducir numerosos y variados datos, para cada escenario y cohorte establecidos, incluso la competencia entre las mismas, las curvas de mortalidad, y por supuesto la gestión selvícola que se plantea, en cada caso u opciones que se elijan. La figura 15 muestra un ejemplo de la complejidad de dicho módulo.

Age [yr]	Fraction Removed	Stems LogWo...	Stems PulpPap	Stems Slash	Branches LogWo...	Branches PulpPap	Branches Slash	Foliage Slash	Slash FireWood	Slash Soil
10	0.200	0	0	1.00	0	0.00	1.00	1.00	.9	0.10
20	0.350	0	0	1.00	0	0	1.00	1.00	.9	0.10
30	0.350	0	0	1.00	0	0	1.00	1.00	.9	0.10
40	0.350	0	0	1.00	0	0	1.00	1.00	.95	0.05
50	1	0	0	1.00	0	0	1.00	1.00	.95	0.05

Figura 15.- Tabla de selvicultura, con las cortas intermedias y final

Modulo de suelo

El programa utiliza el modelo Yasso de la dinámica del carbono en el suelo (Liski *et al.*, 2003). El modelo puede aplicarse tanto a coníferas como a frondosas, y ha sido probado para describir los efectos del clima en la descomposición, en varios tipos de suelo y en un amplio rango de ecosistemas. Este módulo se basa en tres apartados de suelo y cinco de descomposición (Figura 16). Necesita utilizar parámetros climáticos, y para cada escenario y cohorte, pueden obtenerse los stocks de carbono en el suelo.

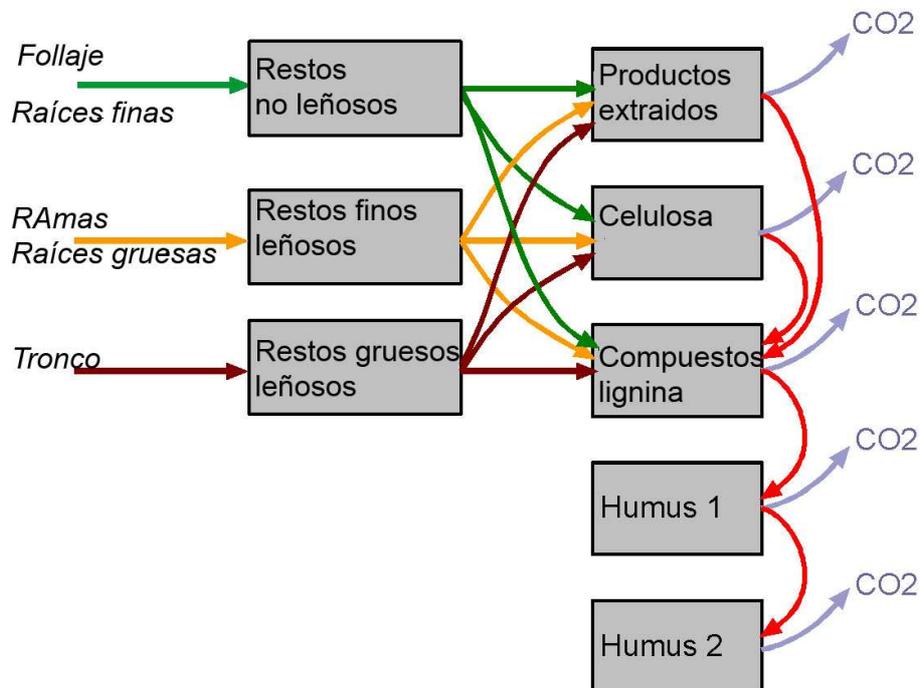


Figura 16.- Esquema de los flujos en el módulo de suelo. Cada rectángulo representa los compartimentos de carbono, las flechas los flujos de carbono.

Existen otros módulos de interés dentro del programa (productos forestales, bioenergía sustitutiva, financiero y contabilidad Kyoto), pero la falta de información en algunos casos y de finalidad para su aplicación han desaconsejado su implementación en el presente trabajo. La aplicación del módulo de contabilidad de Carbono según el protocolo de Kyoto podría ser interesante para el tema que nos ocupa pero su principal finalidad es cuantificar los créditos de reducción de emisiones fuera del territorio nacional (implementación conjunta y mecanismos de desarrollo limpio) o verificar si la actividad de gestión forestal cumple los requisitos para poder ser tenida en cuenta en los límites establecidos para dicha actividad.

Salidas del programa

Las salidas del programa pueden verse a través de gráficos o tablas, para los diferentes módulos, y permite la comparación entre diferentes escenarios. Ejemplos de ello pueden verse en los siguientes gráficos de las hipótesis planteadas en este estudio.

Para este trabajo se establecen distintas hipótesis de gestión forestal en algunas de las formaciones más abundantes superficialmente en la comunidad aragonesa, y se contrastan sus resultados para determinar qué tipo de gestión conduce a una mejora en el balance de carbono capturado.

El programa, y sus salidas gráficas en particular, está diseñado para trabajar en unidades de peso de Carbono sin realizar la transformación a CO₂ equivalente, por lo que se ha mantenido en este apartado dichas unidades de Carbono. Para transformar el peso de Carbono en CO₂ equivalente basta con multiplicar por 3,67.

3.4.1 CASOS DE ESTUDIO

Para comparar las distintas posibilidades que se plantean con objeto de mejorar el balance de carbono en la atmósfera, se han seleccionado las tres especies forestales arbóreas que mayor superficie ocupan en Aragón: el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y el pino laricio (*Pinus nigra*). El hecho de considerar estas especies se fundamenta asimismo en que, al tratarse de especies sobre las que se aplican la mayor parte de las cortas y tratamientos selvícolas, son en las que en mejor medida se podrán operar cambios a partir de los cuales se puedan mejorar las condiciones de captura de carbono, a través del manejo selvícola.

Además, también se ha realizado la simulación para los rebollares o melojares de *Quercus pyrenaica*, aunque por importancia cuantitativa debería haberse aplicado a *Quercus faginea*, pero la escasez documental para cumplimentar los requisitos del programa unido a la similitud morfológica de ambas especies, su forma de gestión y la existencia de datos (tablas de producción) selvícolas hacen más recomendable trabajar con esta especie y extrapolar sus resultados a formaciones similares aunque con distinta especie principal.

En todos los casos se ha considerado las fracciones de biomasa, en fuste, ramas, follaje y raíces, atendiendo a los datos proporcionados por especies por Montero *et al.* (2005).

Aunque en todas las hipótesis se han manejado las diferentes posibilidades de destino de la madera, no se considera su evaluación en este trabajo.

En las hipótesis de tratamiento que se plantean se han considerado las características culturales de las especies, intentando abarcar un abanico de posibilidades amplio que se resume en el siguiente esquema:

Pinus halepensis (Pino carrasco)

ACTUACIÓN – NO ACTUACIÓN
(Manejo moderado e intenso) – (Incendios con frecuencia de 120 o 60 años)

Pinus sylvestris (Pino silvestre)

TURNO MUY LARGO – TURNO LARGO

Pinus nigra (Pino laricio)

SELVICULTURA OBSERVADA – SELVICULTURA DE REFERENCIA

Quercus pyrenaica (Rebollo)

RESALVEO EN MONTE BAJO – TRANSFORMACIÓN A MONTE ALTO

Formación: Pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*)

Localización: Zuera (Zaragoza)

Tablas: Montero *et al.*, 2001

Hipótesis: Densidad 0,44 MgDM³/m³, Contenido en C 0,499 MgC/MgDM

Plazo de modelización: 361 años

Escenario 1: Manejo pasivo

Evolución natural, sin actuaciones, con incendio recurrente cada 120 años.

En el gráfico 7 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino carrasco con las hipótesis planteadas en este escenario.

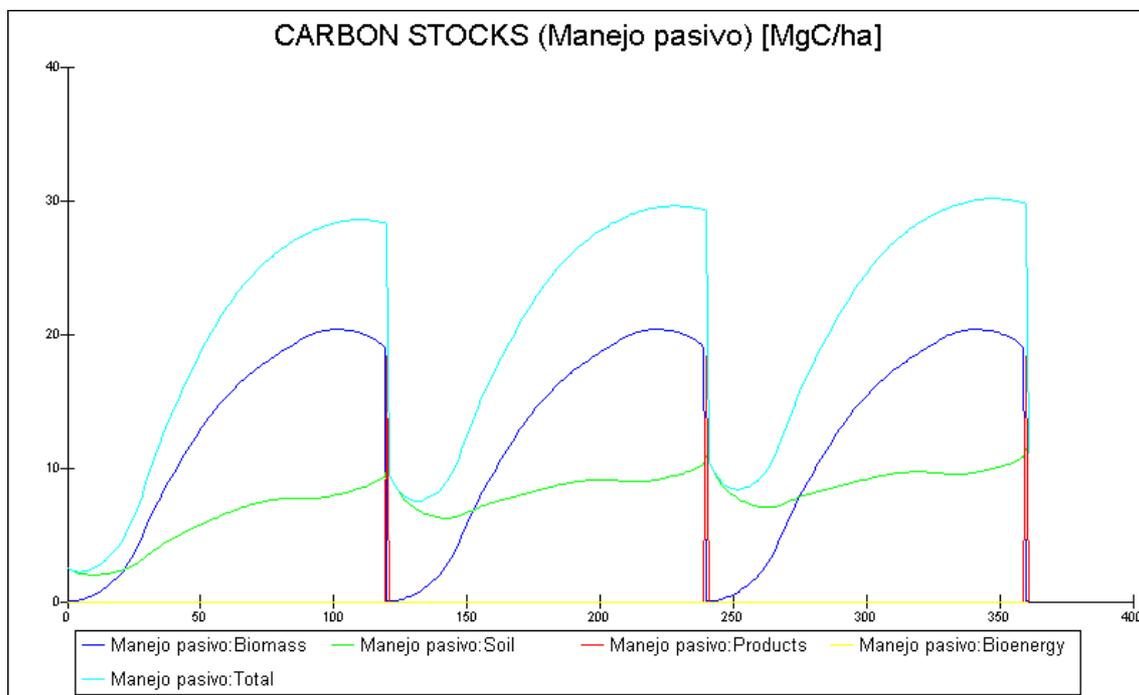


Gráfico 7.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 1: Manejo pasivo (evolución natural, sin actuaciones, con incendio recurrente cada 120 años) para *Pinus halepensis*.

El crecimiento del ciclo natural de la masa adopta la forma característica de una curva sigmoideal. Al final del turno físico establecido se observa un decaimiento paulatino de la curva de la biomasa debida a la mortalidad natural de los árboles senescentes. Cada 120 años se produce un incendio, de forma que casi todo el carbono de la biomasa existente es liberado a la atmósfera por combustión (salvo lo que pueda quedar en los fustes, ramas y suelo, según la intensidad del fuego). En este ejemplo se ha considerado que el 100% pasa a la atmósfera (quedando al final del ciclo tan sólo un 0,01 MgC/ha).

³ Por compatibilidad y posibles futuros usos del programa en este apartado se mantienen las unidades y terminología del programa: DM=materia seca (dry matter) y Mg= Megagramo (equivalencia en el S.I. de la Tonelada)

Se observa que ciclo tras ciclo la cantidad de carbono en el suelo va incrementándose poco a poco por la existencia de un flujo neto positivo, lo que puede considerarse como la captura de C resultante de estos ciclos productivos puesto que su permanencia en las reservas del suelo se cifra en miles de años. El carbono total fijado en el suelo en los tres periodos simulados sería de unos 11 MgC/ha.

La cantidad de carbono total acumulado en el sistema es de 11,01 MgC/ha, debido prácticamente en su totalidad al fijado en el subsistema suelo, ya que el de la biomasa se ha considerado que pasa a la atmósfera en casi su totalidad debido al incendio.

Escenario 2: Manejo pasivo 2

Se considera una evolución natural de la masa, sin actuaciones selvícolas, con ocurrencias de incendios forestales de la masa con una frecuencia de 60 años.

En el gráfico 8 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino carrasco con las hipótesis planteadas en este escenario.

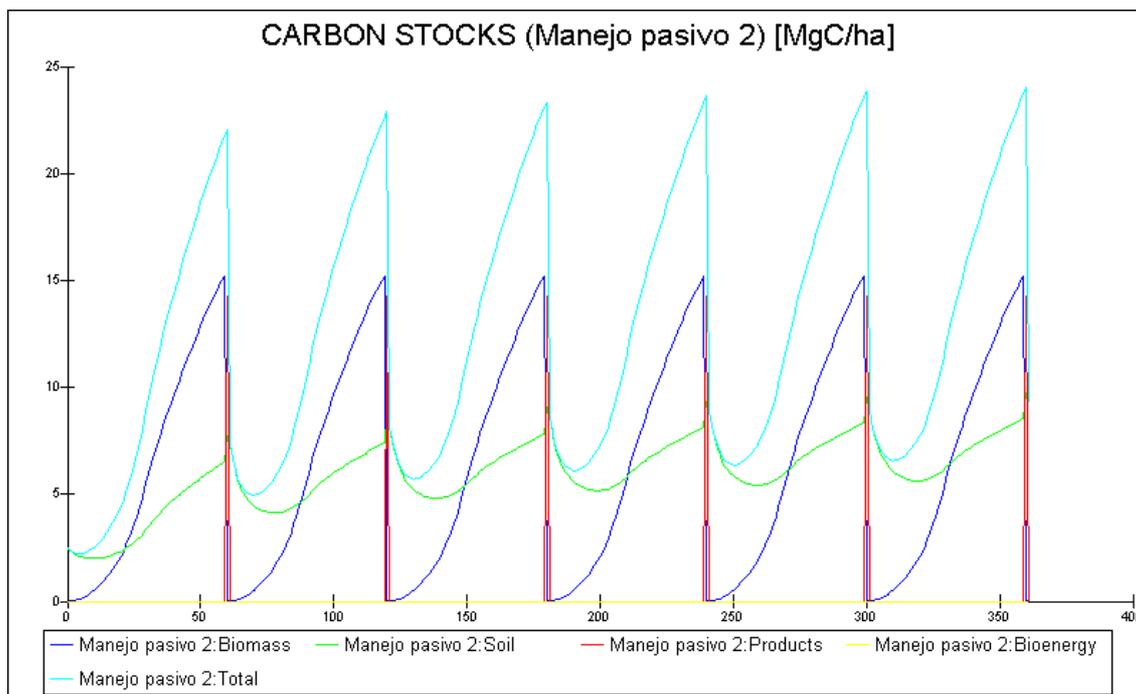


Gráfico 8.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 2: Manejo pasivo (evolución natural, sin actuaciones, con incendio recurrente cada 60 años) para *Pinus halepensis*.

Al igual que en el caso anterior, se considera que no existen actuaciones selvícolas intermedias. En este caso se ha simulado la periodicidad del incendio cada 60 años, produciéndose mucho mayor flujo acumulado de carbono dado el mayor número de liberaciones a la atmósfera, y una ligera disminución del stock en el suelo, hasta los 9,26 MgC/ha, al final del ciclo considerado. De igual forma que en el escenario anterior, se ha considerado que el 100% el carbono de la biomasa existente es liberado a la atmósfera, por lo que la cantidad de carbono total acumulado en el sistema es de 9,27 MgC/ha, es también debido prácticamente en su totalidad al fijado en el subsistema suelo.

Escenario 3: Manejo selvícola moderado

Ciclos productivos basados en un régimen de selvicultura con cortas frecuentes y poco intensas y corta final a los 80 años. Se han supuesto cortas cada 10 años, desde los 20 hasta la corta final. Las intensidades de la claras hasta los 40 años son inapreciables, tan sólo del 0,1% del volumen, para ir intensificándose a partir de entonces con extracciones cercanas al 8% las dos siguientes, del 12,5% y 16,2% las posteriores, y el 100% en la corta final.

En el gráfico 9 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino carrasco con las hipótesis planteadas en este escenario.

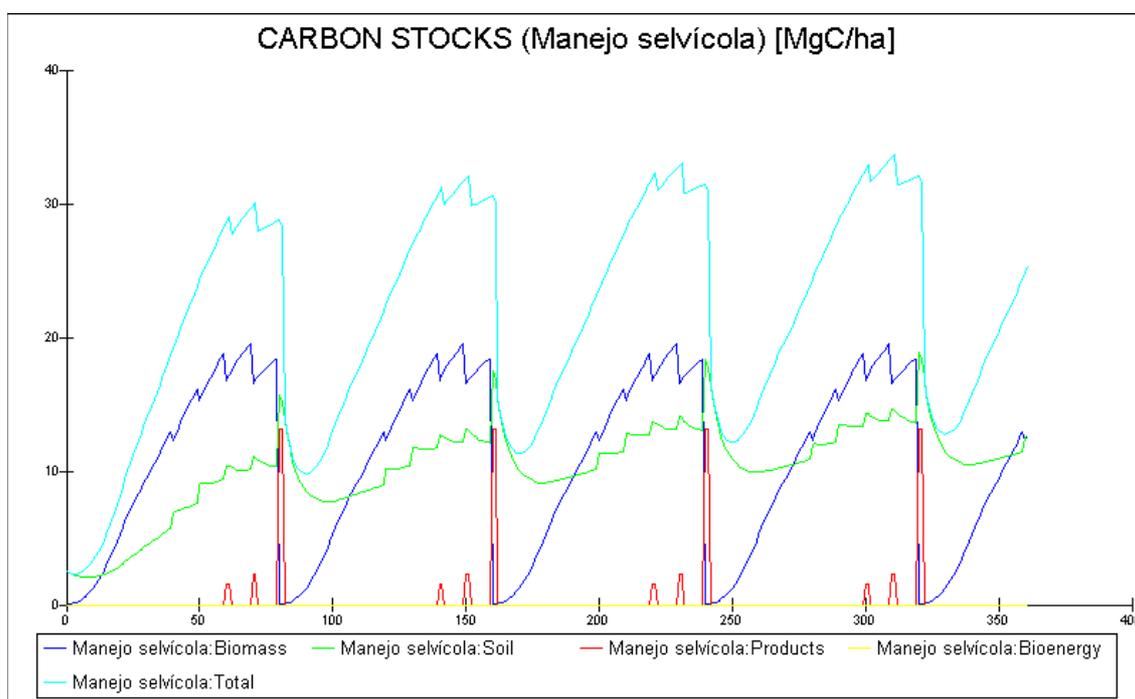


Gráfico 9.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 3: Manejo selvícola moderado (ciclos productivos basados en un régimen de selvicultura con cortas frecuentes y poco intensas y corta final a los 80 años) para *Pinus halepensis*.

Se observan los dientes de sierra característicos de la eliminación de biomasa por corta, así como el aprovechamiento de productos en las últimas cortas, en las que el material podrá tener ya dimensiones para facilitar su comercialización.

Tras cada tratamiento selvícola o corta se observa un incremento instantáneo del carbono en el suelo, que posteriormente es atenuado por la actividad de la fauna edáfica. La acumulación de carbono en la fracción del suelo es, en promedio anual, superior a los casos en los que no se aplican tratamientos selvícolas. Sin embargo el valor final en el año 361 es sólo ligeramente superior, llegando a los 12,57 MgC/ha. Estos valores para el subsistema biomasa es de 12,76 MgC/ha, muy superior a los casos de incendio forestal, como es lógico de prever, y para el sistema total de 25,33 MgC/ha. Estos datos totales de acumulación al final del período de modelización, en realidad no son comparables, ya que en este caso el proceso se encuentra en evolución, sin haber acabado un ciclo completo.

Escenario 4: Manejo selvícola intenso

Ciclos productivos basados en un régimen de selvicultura con dos cortas intermedias, más intensas que en el caso anterior, y corta final a los 108 años. Se ha seleccionado este ejemplo dado que gran parte de las masas se encuentran con edades muy avanzadas y sin ningún tipo de intervención, tratándose por lo tanto de reflejar un posible caso real de actuación, en masas de próximas a estas edades, en las que no se han realizado los clareos o primeras claras por no ser económicamente rentables. Se han utilizado datos reales según el diagrama de manejo de densidad elaborado para las masas naturales del valle medio del Ebro (Montes de Zuera y Castejón de Valdejasa y la Sierra de Alcubierre) realizado para la tesis doctoral "Bases para la gestión de masas naturales de *Pinus halepensis* Mill. en el Valle del Ebro" (Cabanillas, 2009).

En el gráfico 10 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino carrasco con las hipótesis planteadas en este escenario.

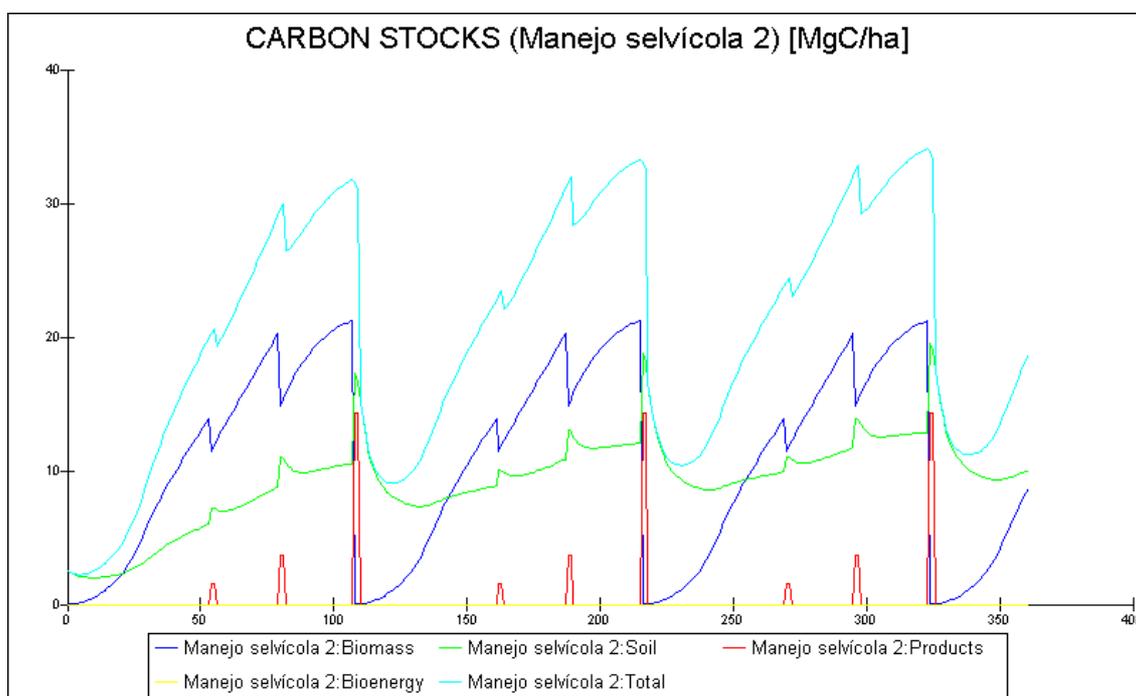


Gráfico 10.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 4: Manejo selvícola intenso (ciclos productivos basados en un régimen de selvicultura con dos cortas intermedias, más intensas que en el caso anterior, y corta final a los 108 años) para *Pinus halepensis*.

En este caso se observa que tras las actuaciones se produce un incremento puntual de carbono en el suelo debido al aporte de los residuos y su descomposición, que es rápidamente compensado por la actividad de los organismos edáficos, retornando a la tendencia previa de tasa de fijación en unos 7-8 años. En conjunto, la fijación del carbono en el suelo se produce en menor cantidad que en el caso de cortas más frecuentes, y también inferior que en el caso de incendios recurrentes cada 120 años, alcanzando un valor de 8,69 MgC/ha. Sin embargo, en cómputo de media anual la fijación media es mayor en los casos de aplicación de tratamiento selvícolas que en los casos de evolución natural. En este caso, los valores de fijación en el subsistema biomasa es de 9,96 MgC/ha, también muy superior a los casos de incendio forestal,

como es lógico de prever, e inferior al caso anterior de cortas más frecuentes, y para el sistema total de 18,65 MgC/ha. Al igual que en el escenario anterior, en este caso tampoco se cumple un ciclo completo al final del período de modelización y por lo tanto no son comparables los datos totales de acumulación al final del período de modelización.

Comparación de escenarios:

A continuación se presenta de forma gráfica (gráficos 11 a 13) el resultado de comparar la evolución de los distintos stocks de carbono según el tipo de tratamiento. Como valor comparativo se emplea el promedio de carbono en cada subsistema. El valor promedio (tablas 18 a 20) se refiere a la cantidad media de carbono que existe en cada subsistema durante el periodo contemplado, y se obtiene como razón entre el área bajo la curva y el número de años considerado en el modelo (en este caso 361 años).

SUBSISTEMA BIOMASA

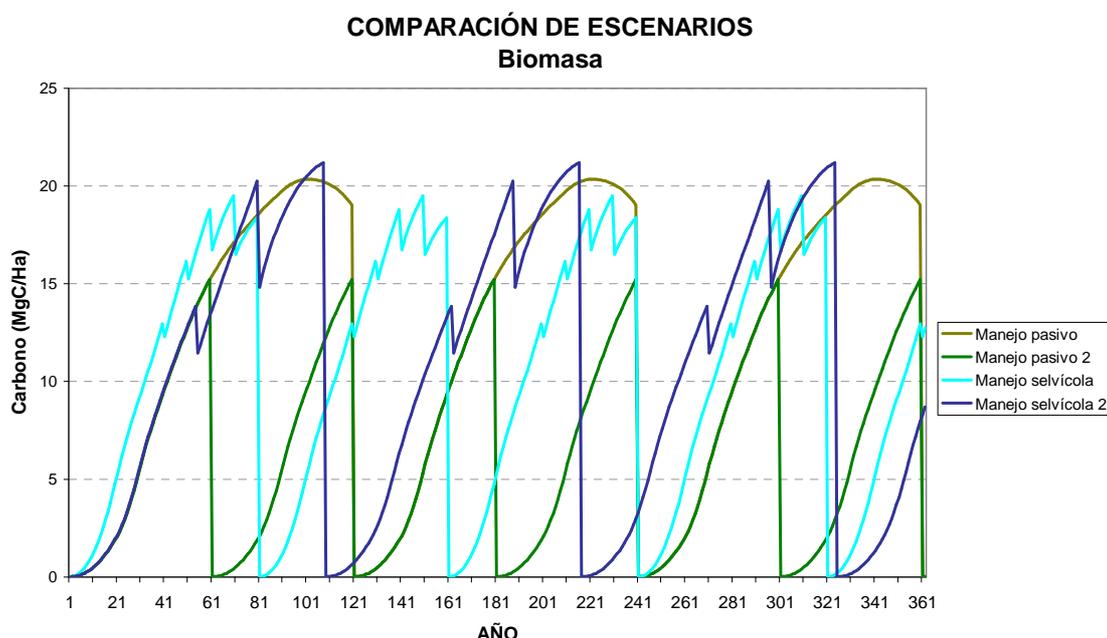


Gráfico 11.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de biomasa para *Pinus halepensis*.

Tabla 18.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **biomasa** para los distintos escenarios modelizados para *Pinus halepensis*.

Pasivo	Pasivo 2	Selvícola	Selvícola 2
12,55	6,26	10,50	10,57

El hecho de que la hipótesis de evolución natural con recurrencia de incendios cada 120 años rinda la mejor acumulación media de carbono en la fracción de biomasa no debe llevar a la errónea conclusión de que la inactividad representa la mejor opción ante las masas de pino carrasco. Esto es debido a que en la realidad la recurrencia de los incendios en estas masas es muy superior, por lo que en la práctica apenas se daría la situación ideal planteada por esta hipótesis, llegando a masas centenarias.

Más aún, lo que queda de manifiesto es que los tratamientos selvícolas (cualquiera de los dos) suponen una fijación de carbono muy superior (un 70% más) que lo que se consigue al considerar la hipótesis más realista de una recurrencia media entre incendios de 60 años. De hecho los datos obtenidos en estas masas indican que sólo algún rodal alcanza edades tan avanzadas como los 120 años, mostrando además pudrición del duramen, y por otra parte son numerosas las zonas de estas formaciones en las que la frecuencia de incendios se encuentra entre los 60-70 años.

SUBSISTEMA SUELO

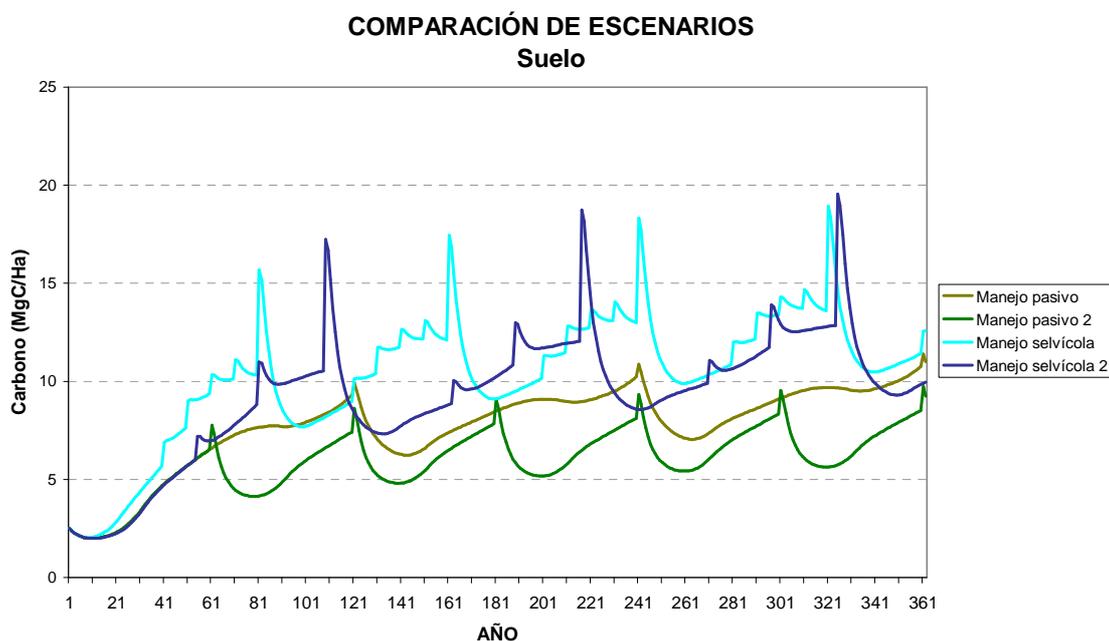


Gráfico 12.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de **suelo** para *Pinus halepensis*.

Tabla 19.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **suelo** para los distintos escenarios modelizados para *Pinus halepensis*.

Pasivo	Pasivo 2	Selvícola	Selvícola 2
7,69	5,98	10,37	9,31

Las mayores cantidades de carbono fijado en el suelo a lo largo del periodo contemplado de 361 años corresponden a los tratamientos selvícolas. Como en el subsistema biomasa, queda de manifiesto que los tratamientos selvícolas (cualquiera de los dos) suponen una fijación de carbono muy superior (entre un 73% y 56% más, según el escenario) que lo que se consigue al considerar la hipótesis más realista de una recurrencia media entre incendios de 60 años. Dado que el carbono del suelo es el menos lábil del sistema, puede concluirse que mediante la aplicación de estos tratamientos conseguimos una mayor fijación de carbono a largo plazo.

CARBONO TOTAL

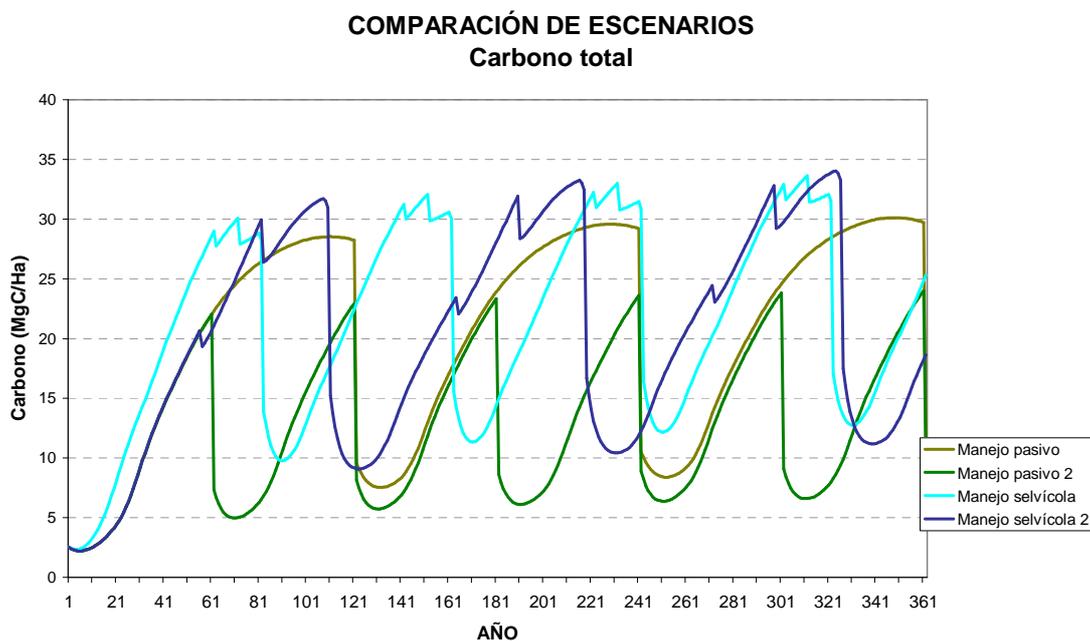


Gráfico 13.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el total del sistema para *Pinus halepensis*.

Tabla 20.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el **total** del sistema para los distintos escenarios modelizados para *Pinus halepensis*.

Pasivo	Pasivo 2	Selvícola	Selvícola 2
20,4	12,5	21,2	20,2

Como en los subsistemas anteriores, puesto que es el conjunto de ambos, se observa que los tratamientos selvícolas (cualquiera de los dos) suponen una fijación de carbono muy superior (entre un 70% y 62% más, según el escenario) que lo que se consigue al considerar la hipótesis más realista de una recurrencia media entre incendios de 60 años. Además habría que considerar el stock de carbono almacenado en los productos obtenidos en el caso de escenarios de manejo selvícolas con cortas más o menos frecuentes y más o menos intensas, que según destino, puede perdurar durante largos períodos de tiempo sin ser liberado a la atmósfera.

Considerando que la superficie que ocupa el pino carrasco en la Comunidad Autónoma de Aragón es de **269.848 ha** y un hipotético estado de equilibrio de clases de edad, la cantidad de carbono que estarían fijando sería la siguiente (tabla 21):

Tabla 21.- Valor de carbono total fijado (TgC⁴) en los sistemas de *Pinus halepensis* tratados selvícolamente según las hipótesis planteadas.

Pasivo	Pasivo 2	Selvícola	Selvícola 2
5,50	3,37	5,72	5,45

⁴ TgC: Teragramos de carbono (1 Tg = 10¹² g)

FORMACIÓN: PINARES DE PINO SILVESTRE (*Pinus sylvestris*)

Localización: Valle de Tena (Huesca)

Tablas: García Abejón, J.L. y Tella Ferreiro, G. en el sistema pirenaico (1986)
Calidad II

Hipótesis: Densidad 0,46 MgDM/m³, Contenido en C 0,499 MgC/MgDM

Plazo de modelización: 361 años

Escenario 1: Turno muy largo

Régimen moderado de claras. 120 años de turno.

Se han supuesto cortas cada 10 años, desde los 30 hasta la corta final. Las intensidades de la claras siguen las tablas de producción citadas, variando entre un 7% y un 3%, en volumen, hasta la corta final, con el 100%.

En el gráfico 14 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino silvestre con las hipótesis planteadas en este escenario.

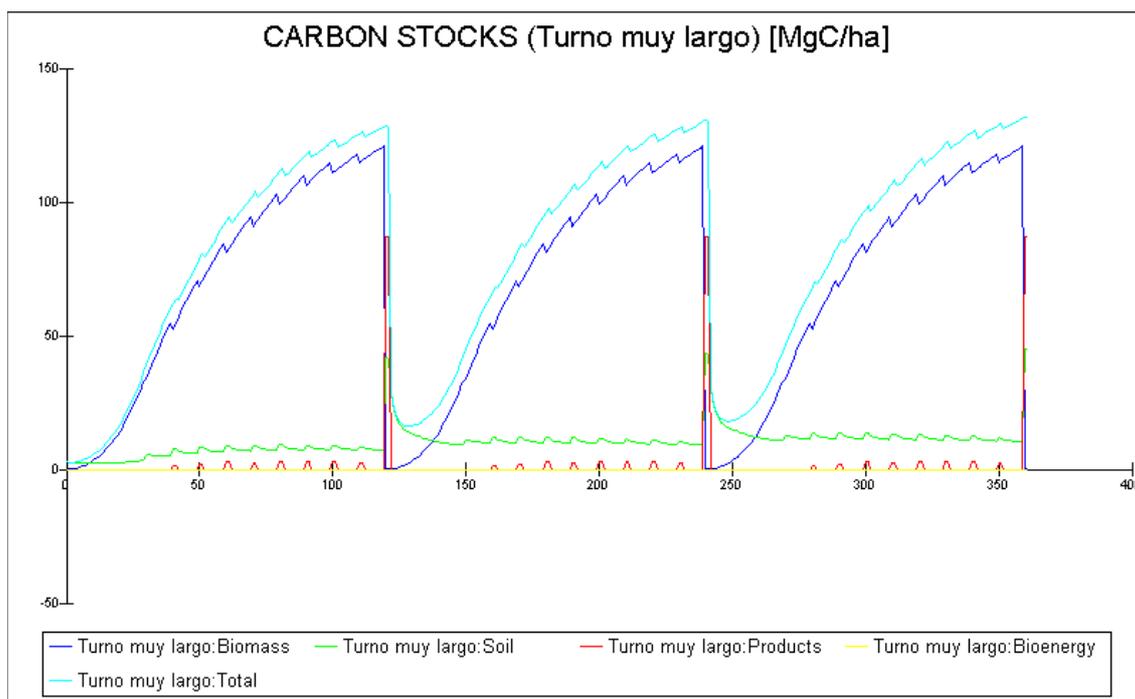


Gráfico 14.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 1: Turno muy largo (régimen moderado de claras, 120 años de turno) para *Pinus sylvestris*.

La mayor parte del carbono del sistema se acumula en la biomasa, liberándose una vez realizada la corta final casi todo el carbono, pasando a los productos. Proporcionalmente con respecto al carbono total, la fracción del suelo representa una cantidad comparativamente muy pequeña con respecto al caso del pino carrasco. La explicación radica en que la productividad de los pinares de silvestre es muy superior debido a las condiciones climáticas, que favorecen un mayor crecimiento debido a las

mayores precipitaciones de las cuencas pirenaicas con respecto a las zonas de la depresión del Ebro donde vegeta el carrasco.

Escenario 2: Turno largo

Régimen moderado de claras. 80 años de turno.

Se han supuesto cortas cada 10 años, desde los 30 hasta la corta final. Las intensidades de la claras siguen las tablas de producción citadas, variando entre un 7% y un 5%, en volumen, hasta la corta final, con el 100%.

En el gráfico 15 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino silvestre con las hipótesis planteadas en este escenario.

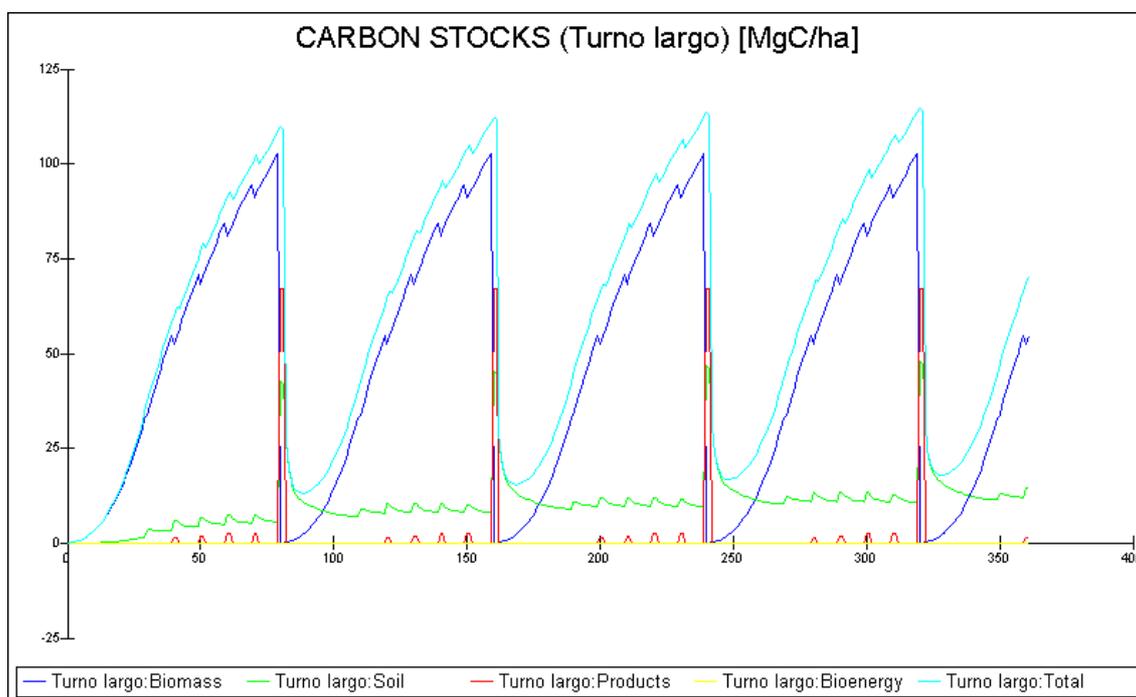


Gráfico 15.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 2: Turno largo (régimen moderado de claras, 80 años de turno) para *Pinus sylvestris*.

En cuanto a las magnitudes de los diferentes subsistemas respecto del total, ocurre como en el escenario anterior.

Comparación de escenarios:

A continuación se presenta de forma gráfica (gráficos 16 a 18) el resultado de comparar la evolución de los distintos stocks de carbono según el tipo de tratamiento. Como valor comparativo se emplea el promedio de carbono en cada subsistema (tablas 22 a 24).

SUBSISTEMA BIOMASA

COMPARACIÓN DE ESCENARIOS Biomasa

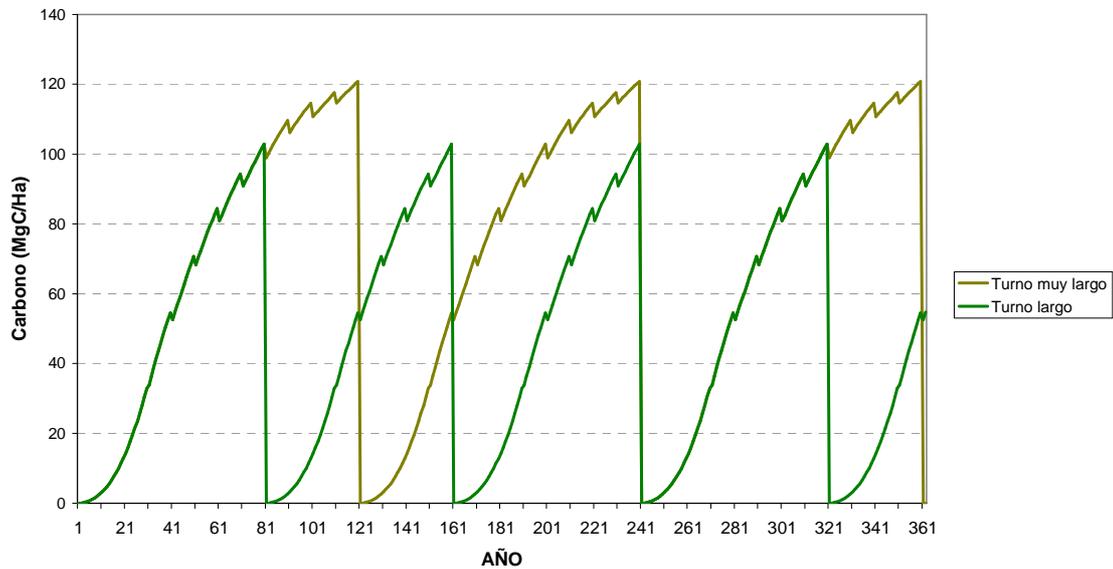


Gráfico 16.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de biomasa para *Pinus sylvestris*.

Tabla 22.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **biomasa** para los distintos escenarios modelizados para *Pinus sylvestris*.

Turno muy largo	Turno largo
70,31	46,61

Se observa una muy clara ventaja en relación con el carbono capturado por la biomasa mediante la aplicación de turnos largos, representando un 51% más de captura.

SUBSISTEMA SUELO

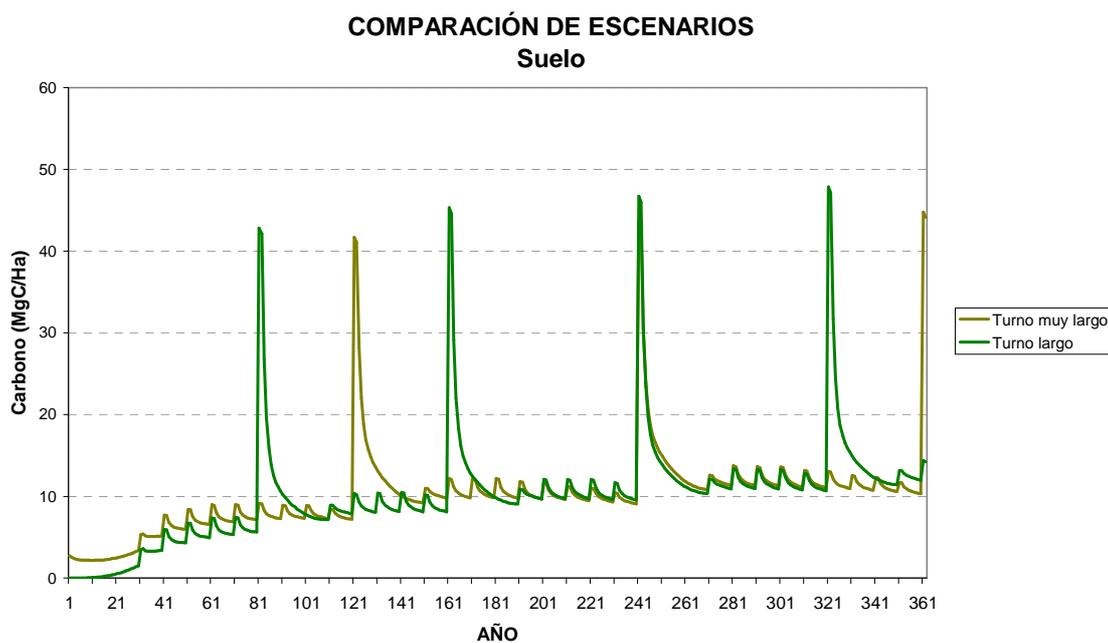


Gráfico 17.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de suelo para *Pinus sylvestris*.

Tabla 23.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **suelo** para los distintos escenarios modelizados para *Pinus sylvestris*.

Turno muy largo	Turno largo
10,31	10,39

No se aprecian diferencias entre la aplicación de los distintos tratamientos, en lo que respecta a la acumulación de carbono en el suelo.

CARBONO TOTAL

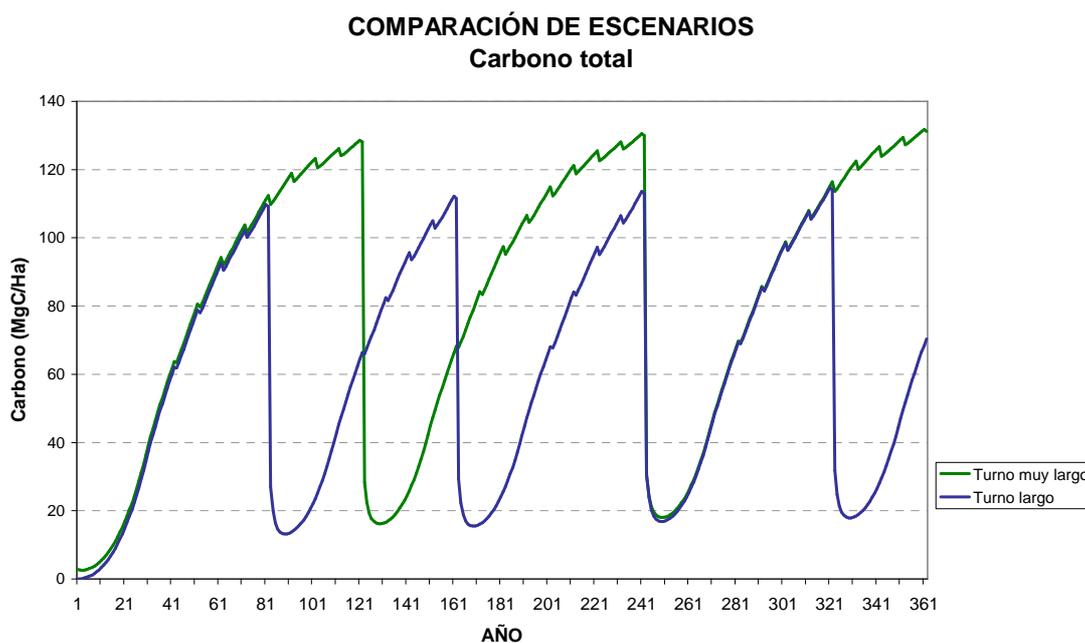


Gráfico 18.- Comparación entre los distintos escenarios planteados de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el total del sistema para *Pinus sylvestris*.

Tabla 24.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el **total** sistema para los distintos escenarios modelizados para *Pinus sylvestris*.

Turno muy largo	Turno largo
82,40	58,68

Las diferencias, tal y como se desprende de los anteriores gráficos, provienen fundamentalmente del mayor volumen de biomasa que se encuentra por la aplicación de turnos largos, que permite una mayor presencia media de carbono en la fracción del vuelo.

En Aragón, considerando establecido un equilibrio de clases de edad, se obtendrían las siguientes cantidades de carbono fijado en los sistemas de pino silvestre (**253.696 ha**) tratado según las hipótesis planteadas (Tabla 25).

Tabla 25.- Valor de carbono total fijado (TgC) en los sistemas de *Pinus sylvestris* tratados selvícilmente según las hipótesis planteadas.

Turno muy largo	Turno largo
20,90	14,89

FORMACIÓN: PINARES DE PINO LARICIO (*Pinus nigra*)

Localización: Arguís (Huesca)

Tablas: Tablas de producción para *Pinus nigra* del Gobierno de Navarra Calidad II.

Hipótesis: Densidad 0,51 MgDM/m³, Contenido en C 0,499 MgC/MgDM

Plazo de modelización: 361 años

Escenario 1: Selvicultura media u observada. 60 años de turno.

Las Tablas de producción de selvicultura media u observada provienen de inventarios realizados en campo sobre las masas existentes.

Se han supuesto cortas cada 5 años, desde los 20 hasta la corta final. Las intensidades de la claras siguen las tablas de producción citadas, variando entre un 0,2% y un casi 4%, en volumen, hasta la corta final, con el 100%.

En el gráfico 19 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino laricio con las hipótesis planteadas en este escenario.

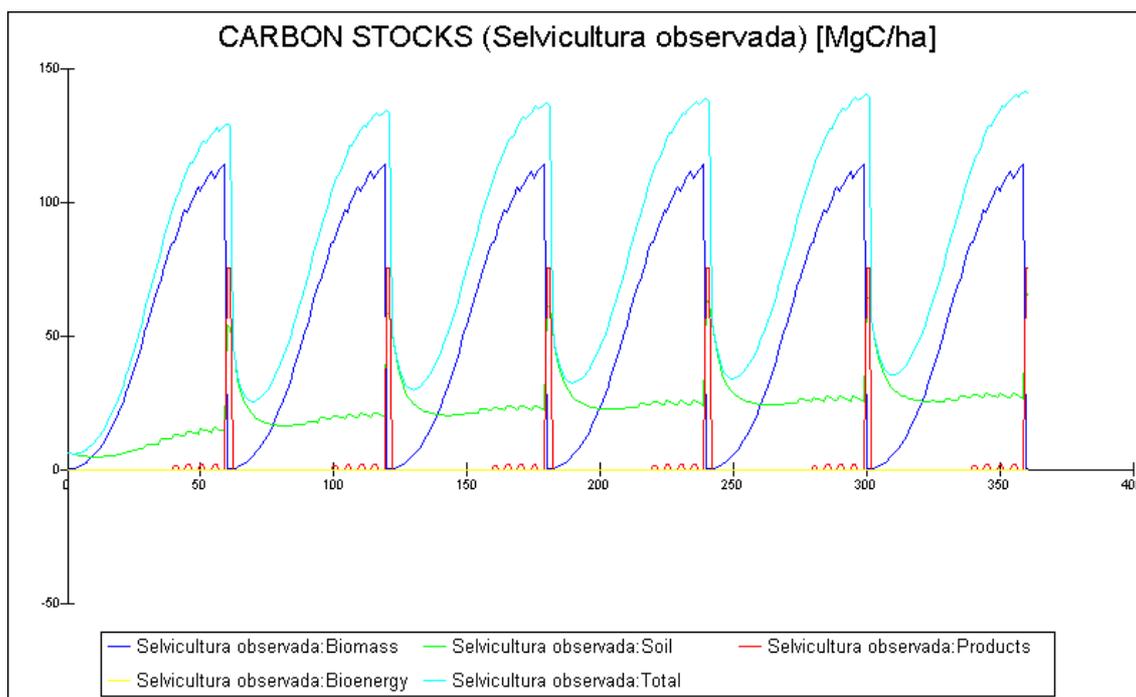


Gráfico 19.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 1: Selvicultura media u observada (60 años de turno) para *Pinus nigra*.

Como ocurría en el caso anterior con pino silvestre, la mayor parte del carbono del sistema se acumula en la biomasa, liberándose una vez realizada la corta final casi todo el carbono, pasando a los productos. Proporcionalmente con respecto al carbono total, la fracción del suelo representa una cantidad comparativamente pequeña con respecto al caso del pino carrasco, sin embargo mucho mayor que en el caso del pino

silvestre. La explicación sigue siendo la misma, es decir, que la productividad de los pinares de silvestre es muy superior a ambas especies

Escenario 2: Selvicultura de referencia. 60 años de turno.

Las Tablas de producción de selvicultura de referencia se basan en una hipótesis razonable a la selvicultura observada intentando demostrar el potencial real de la especie. Para estas tablas realizadas en Navarra se estimó un número de pies a extraer en un período determinado, a la vez que se asumía que el volumen total de la masa antes de la clara permanecía invariable. Esto tiene como principal objetivo el hecho de demostrar que mediante la aplicación de tratamientos selvícolas razonables se puede llegar a unas mayores dimensiones en el producto final.

Se han supuesto cortas cada 5 años, desde los 20 hasta la corta final. Las intensidades de la claras siguen las tablas de producción citadas, variando entre un 0,2% y un casi 4%, en volumen, hasta la corta final, con el 100%.

En el gráfico 20 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de pino carrasco con las hipótesis planteadas en este escenario.

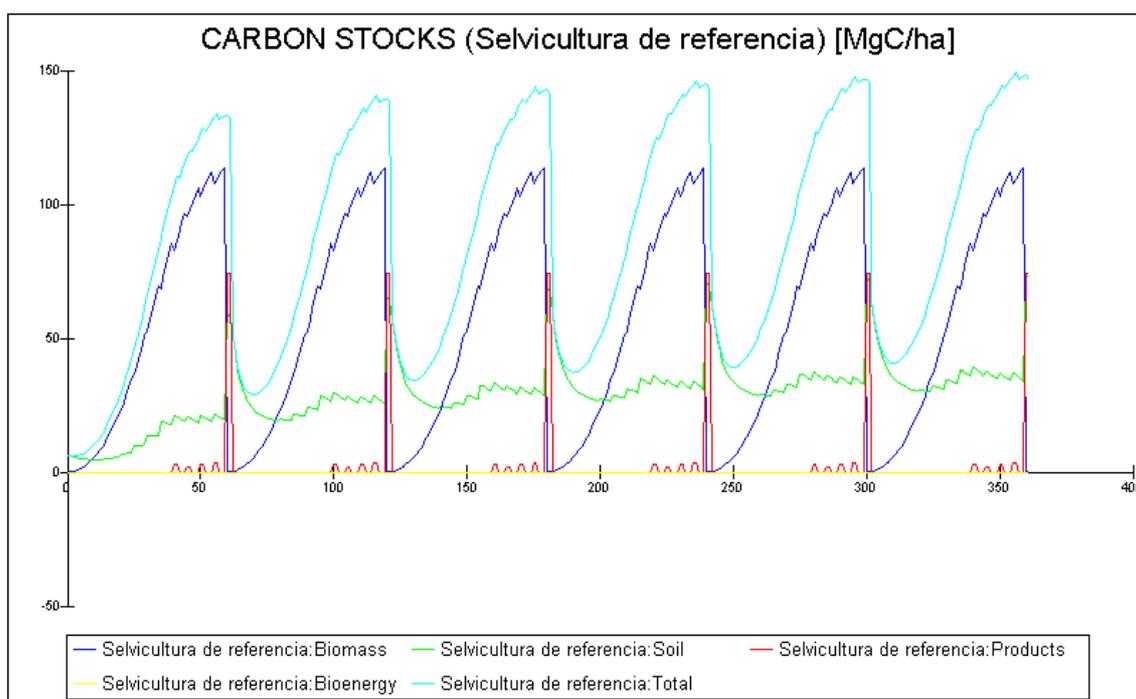


Gráfico 20.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 2: Selvicultura de referencia (60 años de turno) para *Pinus nigra*.

Igual que en el escenario precedente, la mayor parte del carbono del sistema se acumula en la biomasa, liberándose una vez realizada la corta final casi todo el carbono, pasando a los productos. Proporcionalmente con respecto al carbono total, la fracción del suelo representa una cantidad comparativamente pequeña con respecto al caso del pino carrasco, sin embargo mucho mayor que en el caso del pino silvestre, también mayor que en el caso del escenario anterior.

Comparación de escenarios:

A continuación se presenta de forma gráfica (gráficos 21 a 23) el resultado de comparar la evolución de los distintos stocks de carbono según el tipo de tratamiento. Como valor comparativo se emplea el promedio de carbono en cada subsistema (tablas 26 a 28).

SUBSISTEMA BIOMASA

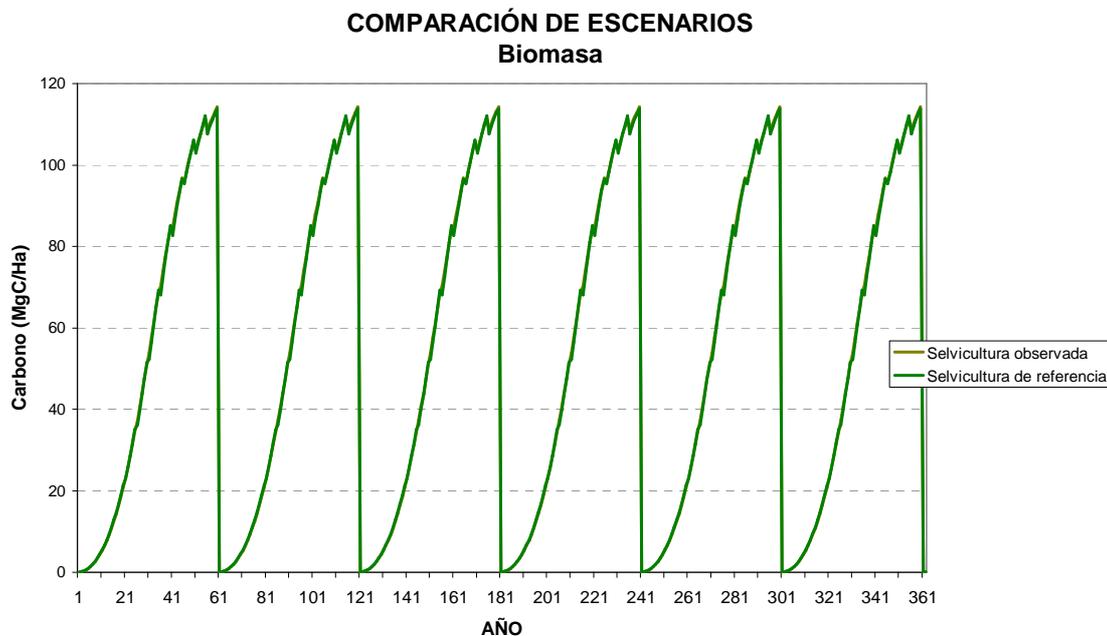


Gráfico 21.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de biomasa para *Pinus nigra*.

Tabla 26.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **biomasa** para los distintos escenarios modelizados para *Pinus nigra*.

Selv. observada	Selv. de referencia
54,02	53,81

No existen prácticamente diferencias por la aplicación de una selvicultura u otra. La explicación está en que en la selvicultura de referencia el crecimiento es mayor pero la aplicación de cortas es más intensa, con lo cual la biomasa permanece igual. El beneficio que se obtiene por aplicación de mayor intensidad radica en que el mismo volumen de madera se encuentra distribuido en menor número de pies más gruesos, con mayor valor en el mercado por sus características tecnológicas, y mayor plazo de acumulación del C en los productos, pero como se observa desde el punto de vista de acumulación de carbono ambos planteamientos son equivalentes en cuanto a la fracción de biomasa.

SUBSISTEMA SUELO

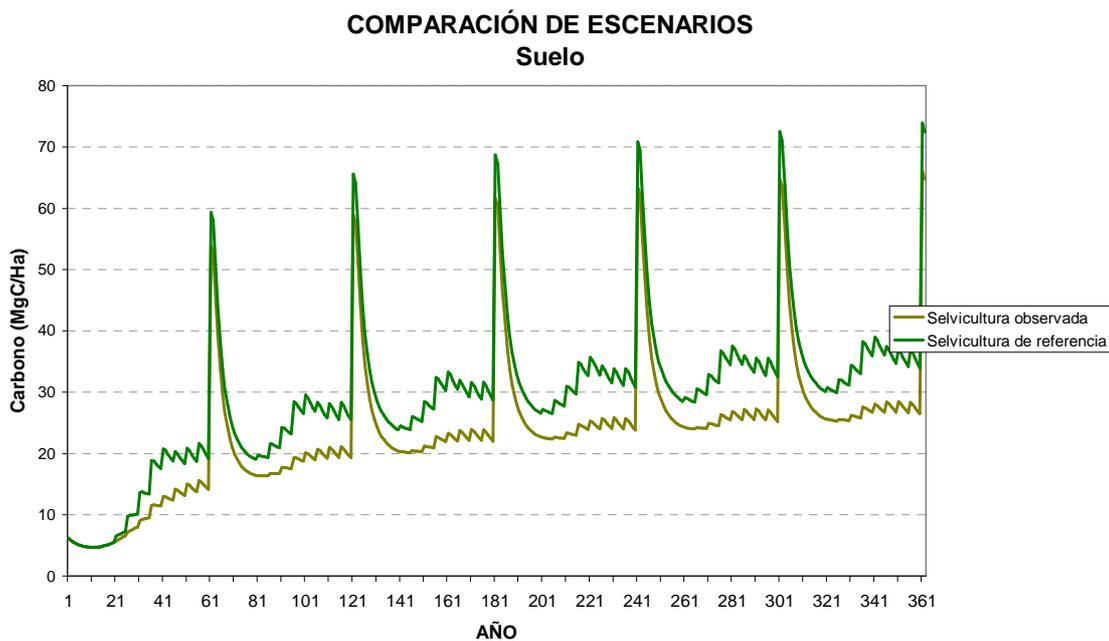


Gráfico 22.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de suelo para *Pinus nigra*.

En este caso se observa una mayor acumulación de carbono en el suelo, debido a la mayor acumulación de restos de corta y aporte de árboles muertos a la fracción suelo en el caso de la selvicultura de referencia. Cabe notar el notable incremento del carbono en el suelo, mayor que en las otras especies debido a factores climáticos y a un mayor aporte de despojos (selviculturas más intensas).

Tabla 27.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **suelo** para los distintos escenarios modelizados para *Pinus nigra*.

Selv. observada	Selv. de referencia
23,81	29,77

CARBONO TOTAL

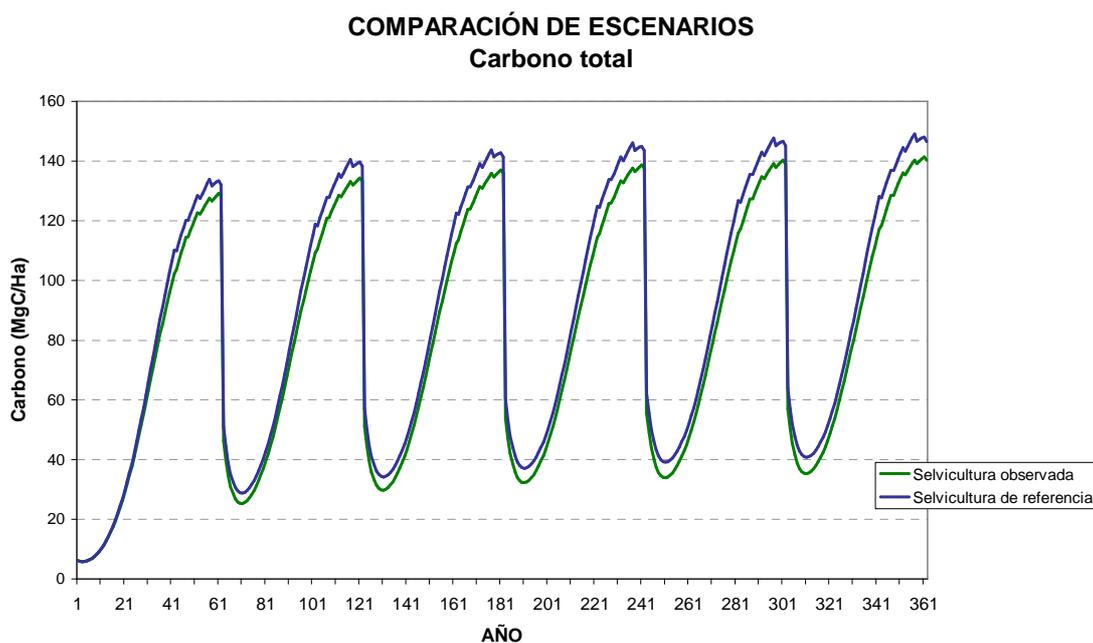


Gráfico 23.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el total del sistema para *Pinus nigra*.

Tabla 28.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el total del sistema para los distintos escenarios modelizados para *Pinus nigra*.

Selv. observada	Selv. de referencia
80,59	86,42

Las diferencias, tal y como se desprende de los anteriores gráficos, son muy pequeñas y provienen fundamentalmente del mayor volumen de biomasa aportado por los despojos a la fracción del suelo en el caso de la selvicultura más intensa, la de referencia.

En Aragón, considerando establecido un equilibrio de clases de edad, se obtendrían las siguientes cantidades de carbono fijado en los sistemas de pino laricio (123.956 ha) tratado según las hipótesis planteadas (Tabla 29).

Tabla 29.- Valor de carbono total fijado (TgC) en los sistemas de *Pinus nigra* tratados selvícolamente según las hipótesis planteadas.

Selv. observada	Selv. de referencia
9,99	10,71

FORMACIÓN: REBOLLARES⁵ O MELOJARES (*Quercus pyrenaica*)

Localización: Purujosa (Zaragoza)

Tablas: Torres, M. 1994, Tablas de producción para la provincia de León

Hipótesis: Densidad 0,75 MgDM/m³, Contenido en C 0,499 MgC/MgDM

Plazo de modelización: 200 años

Escenario 1: Resalveo en monte bajo⁶

Tratamiento en monte bajo con rotación de 40 años.

Se realiza una corta intermedia a los 20 años del 25% del volumen, eliminando los chirpiales de menor porvenir y un recepe del 100% al final de turno.

En el gráfico 24 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de rebollo con las hipótesis planteadas en este escenario.

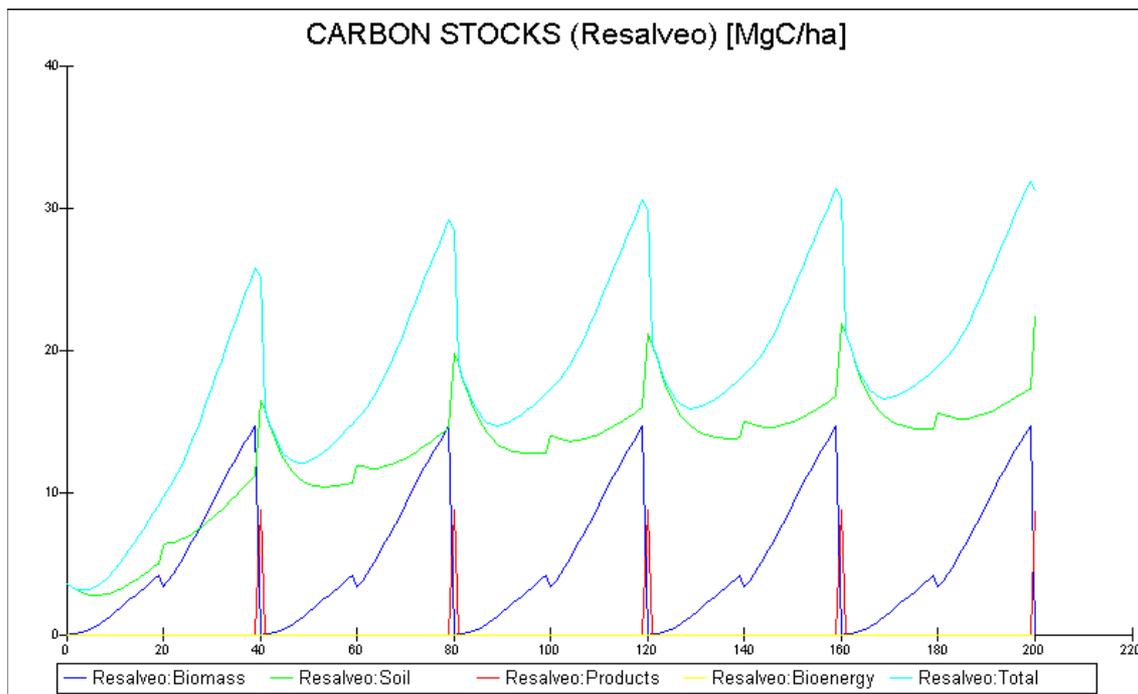


Gráfico 24.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 1: Resalveo en monte bajo (tratamiento en monte bajo con rotación de 40 años) para *Quercus pyrenaica*.

La mayor parte del carbono del sistema se acumula en el suelo, alcanzando un valor de 22,43 MgC/ha, dada la continua aportación de residuos, sobre todo en forma de

⁵ Por importancia cuantitativa esta simulación debería haberse aplicado a *Quercus faginea* pero la escasez documental para cumplimentar los requisitos del programa unido a la similitud morfológica de ambas especies, su forma de gestión y la existencia de datos (tablas de producción) selvícolas hacen mas recomendable trabajar con esta especie y extrapolar sus resultados a formaciones similares aunque con distinta especie principal.

⁶ El término *monte bajo* hace alusión a la forma de regeneración de los pies que componen la masa, siendo ésta por rebrote de cepa, en forma de chirpiales, en contraposición al *monte alto* en el cual el origen de los nuevos árboles es de semilla (brinzales).

hojas tras la caída de la estación fría. El valor de carbono en la biomasa del vuelo es bajo relativamente (alcanzando los 14,61 MgC/ha, pasando después a 0 tras la corta final), debido al escaso crecimiento de la especie (no llega a los 2 m.c./ha año de media) y lo corto del turno, que no permite mayores acumulaciones en los fustes.

Escenario 2: Transformación a monte alto

Régimen moderado de claras. 100 años de turno.

Se han modelizado claras cada 20 años, siguiendo las Tablas de producción mencionadas, empezando a los 20, con intensidades de corta que varían entre un 25% y un 18% del volumen, para pasar al 100% en la corta final.

En el gráfico 25 se muestran las curvas de evolución de la cantidad de carbono almacenado, para masas de rebollo con las hipótesis planteadas en este escenario.

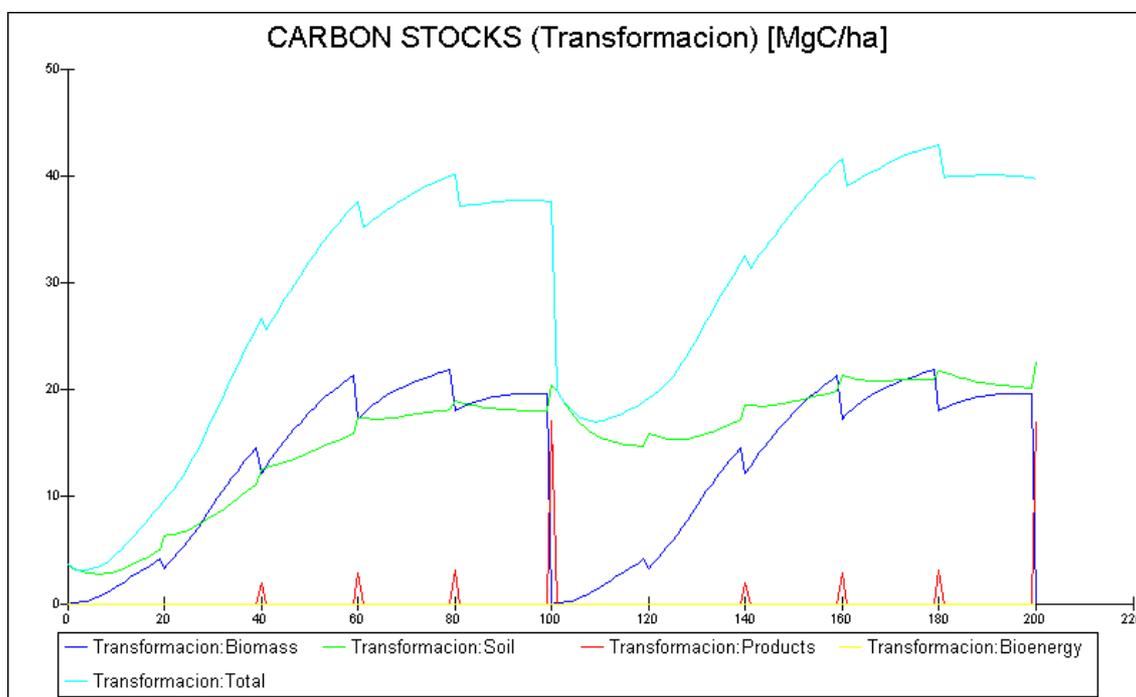


Gráfico 25.- Cantidad de carbono (MgC/ha) en el escenario 1: Transformación a monte alto (régimen moderado de claras, 100 años de turno) para *Quercus pyrenaica*.

La ralentización del crecimiento a partir de los 60 años es muy acusada, motivo por el cual los tratamientos que se han consolidado en el uso tradicional de los rebollares contemplaban resalveos en lugar de tratamientos a más largo plazo, considerando que el producto principal era la leña como combustible, y que la máxima renta en especie se producía con turnos en el entorno de los 40-50 años, según la calidad de la estación.

Así, en este caso, al final del plazo de modelización previsto los valores del carbono, tanto en el subsistema suelo como en el de biomasa son muy parecidos, alcanzando valores de 22,61 MgC/ha y 19,64 MgC/ha (pasando después a 0 tras la corta final), respectivamente.

Comparación de escenarios:

A continuación se presenta de forma gráfica (gráficos 26 a 28) el resultado de comparar la evolución de los distintos stocks de carbono según el tipo de tratamiento. Como valor comparativo se emplea el promedio de carbono en cada subsistema (tablas 30 a 32).

SUBSISTEMA BIOMASA

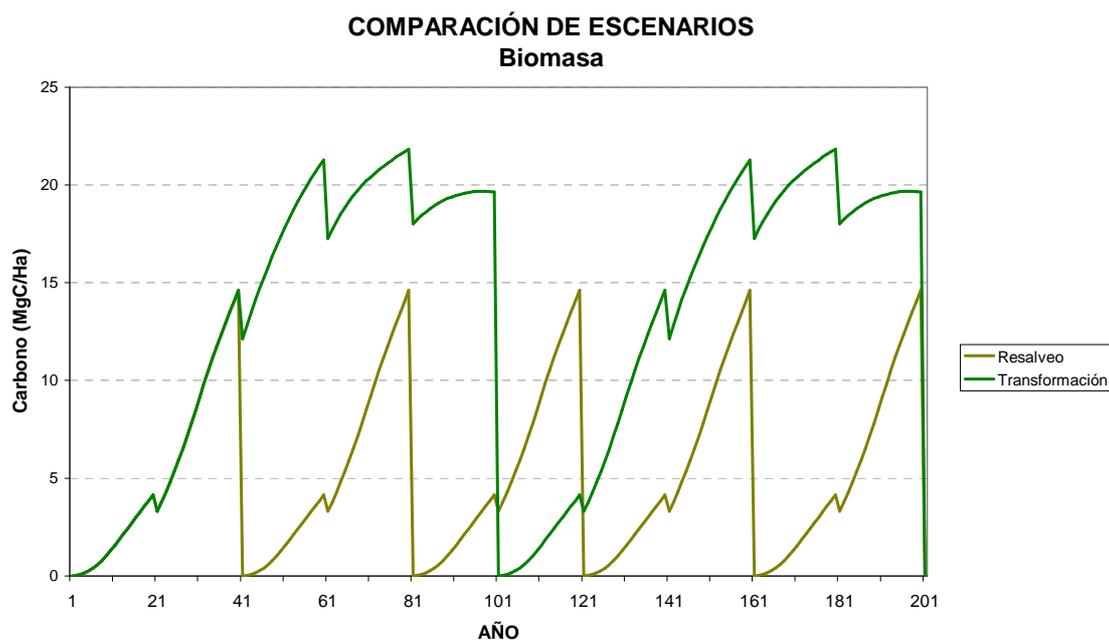


Gráfico 26.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de biomasa para *Quercus pyrenaica*.

Tabla 30.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **biomasa** para los distintos escenarios modelizados para *Quercus pyrenaica*.

Resalveo	Transformación
5,26	13,41

Se observa una muy clara ventaja en relación con el carbono capturado por la biomasa mediante la aplicación de turnos de transformación a monte alto.

SUBSISTEMA SUELO

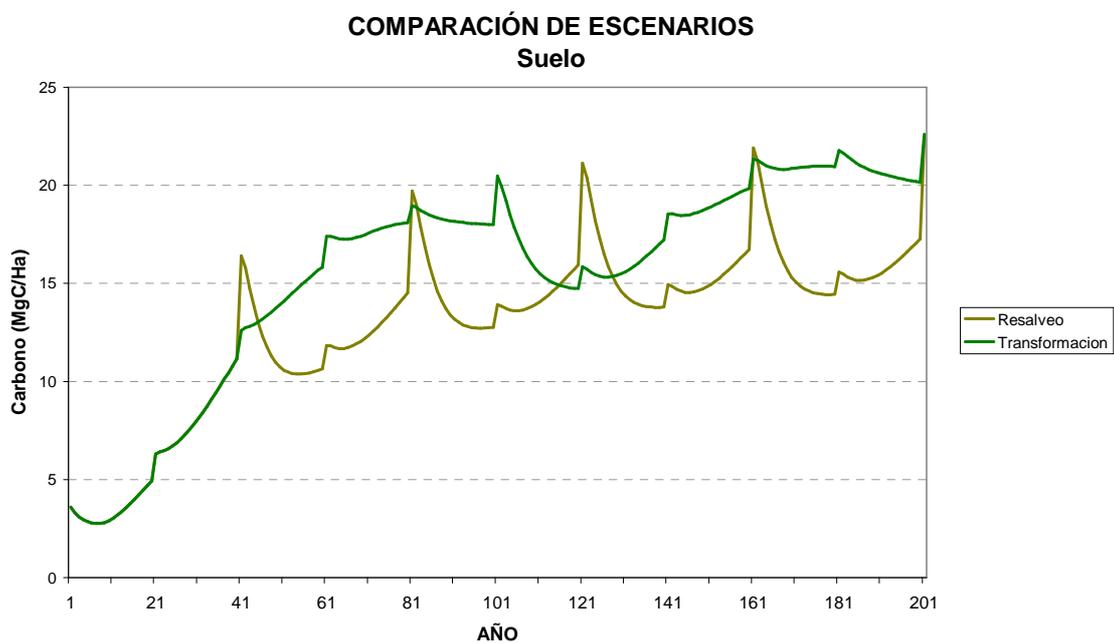


Gráfico 27.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el subsistema de suelo para *Quercus pyrenaica*.

Tabla 31.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el subsistema **suelo** para los distintos escenarios modelizados para *Quercus pyrenaica*.

Resalveo	Transformación
12,91	15,59

Se aprecian ligeras diferencias entre la aplicación de los distintos tratamientos, en lo que respecta a la acumulación de carbono en el suelo, produciéndose una ligera ventaja en el caso de la aplicación de la transformación a monte alto, relacionado con rotaciones más largas que favorecen una mayor acumulación de carbono en el humus.

CARBONO TOTAL

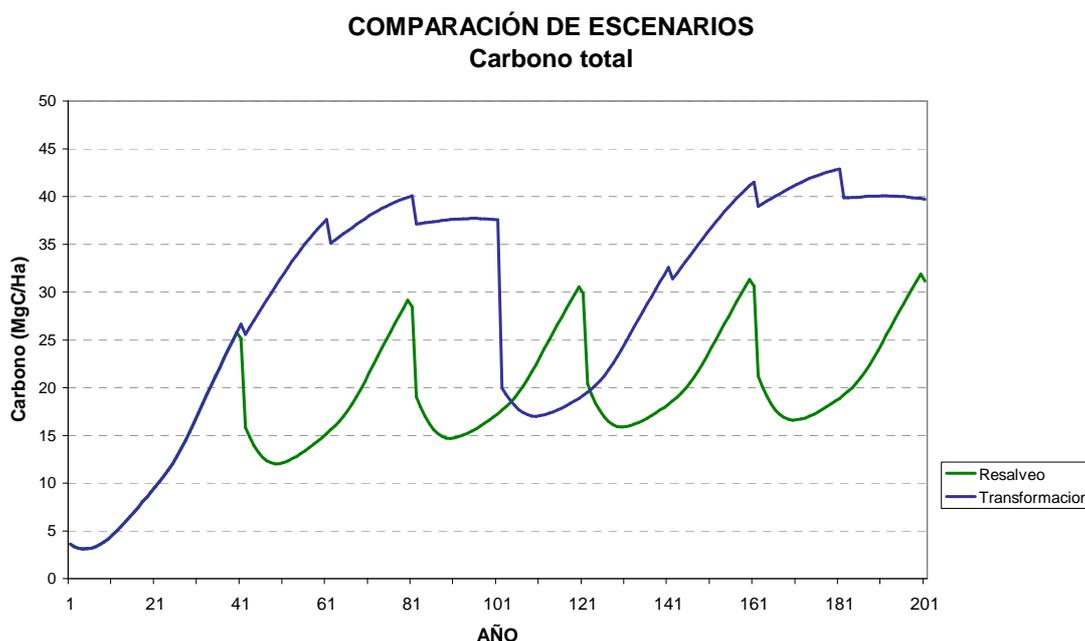


Gráfico 28.- Comparación entre los distintos escenarios planteadas de la cantidad de carbono (MgC/ha) almacenado en el total del sistema para *Quercus pyrenaica*.

Tabla 32.- Valor Promedio de carbono fijado (MgC/ha) en el **total** del sistema para los distintos escenarios modelizados para *Quercus pyrenaica*.

Resalveo	Transformación
18,38	29,25

Las diferencias, tal y como se desprende de los anteriores gráficos, provienen fundamentalmente del mayor volumen de biomasa que se encuentra por la aplicación de turnos largos, que permite una mayor presencia media de carbono en la fracción del vuelo, y en menor medida por el efecto de acumulación en el suelo.

En Aragón, considerando establecido un equilibrio de clases de edad, se obtendrían las siguientes cantidades de carbono fijado en los sistemas de melojar (4.040 ha) tratado según las hipótesis planteadas (tabla 33).

Tabla 33.- Valor de carbono total fijado (10^3 TgC) en los sistemas de *Quercus pyrenaica* tratados selvícilmente según las hipótesis planteadas.

Resalveo	Transformación
74,25	118,17

A modo de resumen global de los cuatro casos de estudio se presenta la siguiente tabla (tabla 34) comparando el ratio de fijación de CO₂ por unidad superficial en función de los distintos tratamientos selvícolas planteados. En ella se puede comprobar el incremento máximo que se puede alcanzar en función del tratamiento óptimo para la fijación de Carbono.

Tabla 34.- Resumen de los casos de estudio en toneladas de CO₂/ha

ESPECIE					INCREMENTO
<i>Pinus halepensis</i>	Pasivo 120	Pasivo 60	T. Selvícola 1	T. Selvícola 2	70 %
	74,86	45,87	77,80	74,13	
<i>Pinus sylvestris</i>	Turno largo 80 años		Turno muy largo 120		40 %
	302,40		215,35		
<i>Pinus nigra</i>	Selvicultura observada		Selvicultura de referencia		6 %
	295,76		312,84		
<i>Quercus pyrenaica</i>	Resalveo		Transf. a monte alto		60 %
	67,45		107,35		

CONCLUSIONES

La cantidad de CO₂ equivalente que se encuentra en la vegetación leñosa de Aragón según nuestras estimaciones asciende a 206 millones de toneladas. En concreto, la vegetación arbórea superior aragonesa almacena del orden de 150 millones de toneladas de CO₂ equivalente. En el gráfico 29 se encuentra la distribución porcentual de dicha cantidad. Este reservorio de Carbono puede seguir siendo tal, siempre y cuando se asegure su persistencia y podría funcionar como sumidero en la medida que su gestión conduzca a un aumento de biomasa. Recientes estudios comparativos de existencias entre inventarios forestales han obtenido que la tasa media de fijación para los montes aragoneses, considerando su composición específica y su distribución, ha sido de 2,26 t CO₂eq/ha año. Este valor, muy dependiente de la formación forestal, tiene un rango de variación que oscila entre 0,5 y 9 t CO₂eq/ha año. Considerando la superficie forestal arbolada aragonesa y el lapso de tiempo estudiado se obtiene un valor de absorción de 3,43 millones de toneladas de CO₂ equivalente al año lo que supondría aproximadamente un 15 % de las emisiones de la Comunidad.

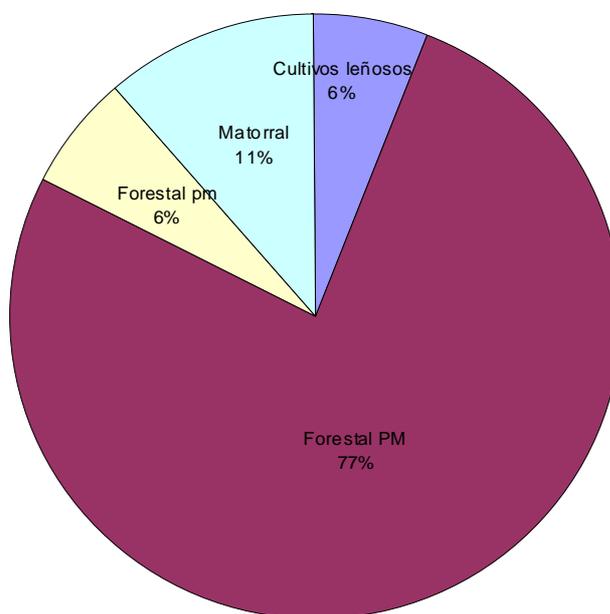


Gráfico 29.- Distribución porcentual del reservorio de CO₂ en la vegetación leñosa de Aragón

Respecto a las técnicas de gestión selvícola orientadas a incrementar la fijación de Carbono se ha podido comprobar mediante las simulaciones y modelos utilizados que los incrementos alcanzables pueden llegar a superar el 70 % en casos concretos y situaciones de gestión reales.

En general, los turnos más largos favorecen una mayor acumulación de carbono en el subsistema biomasa, pero no así en el subsistema suelo, donde se aprecian tan sólo ligeras diferencias y no siempre en ese sentido.

Como ya se ha indicado al comienzo de los ejemplos planteados, aunque en todas las hipótesis se han manejado las diferentes posibilidades de destino de la madera, no se considera su evaluación en este trabajo, sin embargo los turnos largos favorecen la obtención de productos con plazos de acumulación de carbono mucho más largos (muebles, vigas, diferentes elementos de construcción, etc.).

Las masas gestionadas mediante intervenciones selvícolas presentan una mayor acumulación de carbono tanto en el subsistema biomasa como en el subsistema suelo, y por lo tanto, como es lógico, en el total del sistema.

En general, las intensidades de las intervenciones selvícolas no muestran tendencias definidas, probablemente porque con los ejemplos planteados no permiten realizar una comparativa en este sentido, dado que se trata de especies diferentes y de hipótesis con turnos también distintos en función de los distintos casos particulares.

5 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aprovechamiento. Obtención de los beneficios del monte.

Aprovechamiento forestal. Conjunto de operaciones que consisten en separar los productos forestales de los montes, casi siempre elaborados parcialmente, extraerlos de las masas forestales y transportarlos para ponerlos a disposición de la industria forestal.

Biocombustible. Combustible procedente de órganos y tejidos vegetales. Son biocombustibles en sentido estricto la madera, las algas secas, la paja, las hojas, el algodón, etc. Este sentido estricto es la acepción que se utiliza en la actualidad.

Bioenergía. Energía renovable producida por la transformación química de la biomasa.

Biomasa del árbol. Materia orgánica viva o muerta de un árbol. Nota: a) Se suele medir en peso seco o verde, b) se compone de biomasa aérea (tronco y copa) y biomasa subterránea (tocón y raíces).

Calidad de estación. Capacidad productiva de un lugar frente a una determinada especie forestal y tipo de producto.

Clara. Corta que se hace en un rodal regular, en estado de latizal o fustal, con el objetivo de mejorar la estabilidad y calidad de la masa, eliminando los pies peor conformados, obteniendo productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanentes.

Clareo. Corta que se hace en un rodal regular, en estado de repoblado o monte bravo, con el objeto de mejorar la estabilidad de la masa, sin obtener productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanente.

Clases naturales de edad. Son las fases de desarrollo de una masa sin intervención humana y regular. Estas clases se definen como:

- **Diseminado:** Plantas recién nacidas.
- **Repoblado:** Dura hasta la tangencia de las copas (se tocan las copas de unos árboles con otros).
- **Monte Bravo:** Las ramas cortan la luz al suelo, las ramas que no reciben luz directa se secan y caen, esto es la poda natural. En el monte bravo empieza a haber competencia.
- **Latizal:** Los fenómenos de competencia son muy grandes, se produce la diferenciación de copas, se habla de árboles dominantes y árboles dominados. Este latizal se asocia con un diámetro normal menor de 20cm (no siempre es así).
- **Fustal:** diámetro normal mayor de 20cm, ahí la competencia es máxima

Corta. Operación de derribar árboles.

Corta a hecho. Tipo de corta de regeneración que consiste en la extracción total y en una vez de todos los pies que forman el rodal. Son cortas continuas que dan lugar a masas regulares.

Corta de regeneración. Corta cuyo objetivo es la regeneración del rodal que se está tratando.

Densidad. Desde un punto de vista de la selvicultura, en sentido estricto, número de pies de una masa por unidad de superficie. Es una de las formas de cuantificar la espesura. En sentido amplio, grado de concurrencia o interrelación que existe entre los componentes de una masa. En este caso es sinónimo de espesura.

Densidad de existencias. Densidad de la masa expresada por el número de pies, área basimétrica total o volumen por unidad de superficie.

Densidad. Relación entre masa y volumen de un cuerpo.

Desbroce. Operación que consiste en reducir, sobre un rodal, la presencia de matas y arbustos.

Especie dominante. 1. Especie que ejerce la mayor influencia sobre una agrupación, a consecuencia de su mayor talla, biomasa, intensidad metabólica y ventaja en la concurrencia. // 2. En la clasificación sociológica de los pies de una masa, se aplica al individuo que pertenece al estrato dominante. Se establecen tres clases de pies dominantes: predominantes, codominantes y subdominantes.

Especie principal. Especie o especies de una masa que están directamente relacionadas con la producción preferente de la misma. También se aplica al conjunto con el término masa principal.

Espesura. Grado de agrupamiento o proximidad entre árboles de una masa.

Estratos. División de la superficie forestal en función de la especie forestal dominante, su ocupación porcentual, el estado de la masa entendido como clases naturales de edad y la fracción de cabida cubierta.

Existencias. 1. Suma de los árboles de un monte o de una parte determinada de él, expresada generalmente en número de pies, área basimétrica o volumen. // 2. La cantidad de madera y/o leñas en pie en un área, expresada generalmente en unidades de volumen por unidad de superficie, por ejemplo, m³/ha.

Forestación. Establecimiento de una masa arbórea en terrenos donde no existió nunca o ha estado ausente durante un cierto tiempo.

Fracción de cabida cubierta. Parte de la superficie del rodal que está cubierta por las copas de los pies de la masa. Se cuantifican los recubrimientos múltiples. Se expresa indistintamente en tanto por ciento o en tanto por uno. Es uno de los índices de espesura más habituales y su notación es Fcc.

Fuste. 1. Tallo leñoso principal de un árbol que puede llegar hasta su ápice, como en algunas coníferas, o perderse en la ramificación de la copa, como sucede en las frondosas. // 2. En aprovechamientos forestales se entiende por fuste la parte aprovechable del tronco, es decir, la parte aérea del árbol una vez separados del tronco las ramas y el rabeón.

Gestión. Administración de un monte.

Manejo de recursos. Gestión de recursos.

Marco de plantación. Pauta o plantilla según la que se distribuyen las plantas en una plantación.

Masa irregular. La que presenta árboles con mezcla de diferentes clases de edad.

Masa forestal. La vegetación que crece, con más o menos espesura, en una superficie forestal, particularmente las especies leñosas principales, como árboles, bambúes, etc.

Masa regular. La formada por árboles de una misma clase de edad. Masa en que la diferencia de edad de sus pies es pequeña, del orden de 10 a 20 años como máximo. En el caso de turnos largos puede llegar a alcanzar excepcionalmente el 25 del turno.

Monte bajo. El término hace alusión a la forma de regeneración de los pies que componen la masa, siendo ésta por rebrote de cepa, en forma de chirpiales, en contraposición al **monte alto** en el cual el origen de los nuevos árboles es de semilla (brinzales).

Parcela de muestreo. Parcela de monte seleccionada como representativa de una superficie mayor, con objeto de obtener información puntual, esporádica, periódica o permanente, sobre las características de la masa forestal, su evolución, y sobre los diferentes factores abióticos y bióticos que condicionan su desarrollo.

Productividad. Relación que existente entre la producción y cualquiera de los factores que han intervenido para conseguirla. En ecología, el que más se utiliza es la biomasa, con lo que la productividad sería la producción por unidad de biomasa.

Productividad de la biomasa. Aumento que ésta experimenta en una unidad de tiempo. Suele expresarse en mg/cm²/día en kg/ha/año o en kcal/ha/año.

Regeneración. Renovación de una masa arbórea por cualquier procedimiento. Asimismo, la masa así creada.

Reforestación. Reintroducción del arbolado, mediante siempre siembra o plantación, en terrenos que estuvieron poblados hasta épocas recientes, pero quedaron rasos a causa de talas, descuajes, incendios, vendavales, plagas o enfermedades.

Resalveo. Tratamiento del monte bajo, por el que se reservan ciertos vástagos chirpiales para su aprovechamiento en cortas posteriores.

Resalveo de conversión en monte bajo. Conjunto de operaciones, basadas en un plan de claras por lo bajo, que se aplican a un monte bajo regular para conducirlo a un fustal sobre cepa.

Reservorio de C. Depósito o almacén de C. En el ciclo del Carbono, éste está constituido por reservorios principales de carbono interconectados por rutas de intercambio. Los movimientos anuales de carbono entre reservorios ocurren debido a varios procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos.

Residuos de corta. Residuos forestales.

Residuos forestales. Residuos procedentes de entresacas, claros, podas, apeos finales, etc., que permanecen en el monte al terminar un aprovechamiento forestal; y también residuos de la industria de primera transformación. Los residuos forestales pueden dividirse en dos grandes grupos: el material ligno-celulósico y las hojas. El primero puede ser quemado (aprovechamiento xiloenergético). Los segundos contribuyen de forma muy importante a la regeneración del suelo y su extracción puede provocar un rápido empobrecimiento del mismo.

Rodal. Espacio forestal de superficie variable, en el que existe constancia de características de estación y de masa, que puede tener un tratamiento uniforme en la medida en que tenga una función preferente. Se usa también como equivalente a masa forestal de extensión limitada.

Rotación. 1. En un plan de claras, tiempo que transcurre entre dos claras consecutivas en un mismo rodal. // 2. Tiempo que transcurre entre dos cortas de entresaca en un mismo rodal.

Selvícola. Relativo a la selvicultura.

Selvicultura. Teoría y práctica sobre el establecimiento, desarrollo, composición, sanidad, calidad, aprovechamiento y regeneración de las masas forestales, para satisfacer las diversas necesidades de la sociedad, de forma continua o sostenible.

Sumidero. Área por donde son canalizados el agua, los nutrientes o cualquier tipo de compuesto físico o químico, o que sirve como almacén de los mismos. En la actualidad este término se aplica a los bosques para significar su papel en la absorción del anhídrido carbónico de la atmósfera y la consiguiente reducción del efecto invernadero.

Tablas de producción. Cuadros numéricos que muestran la evolución de las variables de una masa generalmente monoespecífica coetánea en función de la edad y para las distintas clases de calidad de la estación.

Tesela. Unidad superficial a la que le corresponde la información de una parcela de inventario, por extrapolación de los datos.

Tratamiento selvícola. Intervención cultural a que se somete una masa forestal, con el fin de que pueda cumplir mejor los objetivos a que está destinada, asegurando su mejora o regeneración.

Turno. 1. En las masas tratadas por cortas continuas, período de tiempo que media entre el establecimiento o renovación de una masa hasta que da productos principales con el grado de madurez que exijan una condiciones determinadas. En ese momento debe procederse a la corta de regeneración.// 2. Número planificado de años entre la repoblación o regeneración de una masa o rodal y su corta final en una fase de madurez determinada, caracterizada por producir el máximo de utilidades.

Turno físico. Turno que coincidiría con la duración natural de la vida de la especie en la estación considerada. Sinónimo: turno biológico.

Vuelo. Conjunto de las partes aéreas de los vegetales que pueblan una porción de la superficie terrestre, como un monte, rodal, etc. Conjunto de árboles y demás plantas de un monte, exceptuando las herbáceas rastreras. En sentido figurado, se refiere a la masa forestal que, instalada sobre el suelo (terreno, estación) y junto con él, forman el rodal.

6 BIBLIOGRAFÍA

Alder, D., Silva, J.N.M., 2000. "An empirical cohort model for management of Terra Firme forests in the Brazilian Amazon". *For. Ecol. Manage.* 130, 141–157.

Bogino, S., Bravo, F., Herrero, C. 2006. "Carbon dioxide accumulation by pure and mixed woodlands of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pyrenaica* Willd. in Central Mountain Range Spain" en Bravo, F. (ed.), *Proceedings of IUFRO Meeting on Managing Forest Ecosystems: The Challenges of Climate Change*, Palencia.

Bravo, F., del Río, M., del Peso, C. (eds) 2002. "El inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible". Ministerio de Medio Ambiente.

Bravo F. et al. 2007 "El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático" Ed. Fundación Gas Natural, Barcelona.

Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., Díaz-Balteiro, L. 2008. "Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: A modelling approach". *European Journal of Forest Research* 127: 225-234.

Bravo-Oviedo, A., Río, M., del 2006. "Thinning regimes related to carbon fixation in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands" en Bravo, F. (ed.), *Proceedings of IUFRO Meeting on Managing Forest Ecosystems: The Challenges of Climate Change*, Palencia.

Cabanillas, A. 2009. "Bases para la gestión de masas naturales de *Pinus halepensis* Mill. en el Valle del Ebro". ETSI de Montes. UPM. Tesis Doctoral. (presentada)

Di Castri, F., Goodall, D. W., Specht, R.L. (1981), "Mediterranean-type shrublands", Ed. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Franklin, J., Berg, D., Thomburgh, D., Tappeiner, J., 1997. "Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: variable retention" en: Kohn D., Franklin J. (eds.), *Creating a Forestry for the 21st Century*. Island Press Washington.

García, C., Gil, L., Montero, G. 2005. "Impactos sobre el sector forestal" en Moreno Rodríguez, J.M. ed. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente.

Gracia-Abejón J.L., Tella, G. 1986. "Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Pirenaico". Comunicaciones INIA. Serie : Recursos Naturales. N43. M. Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Hierro, J.L., Branch, L. C., Villarreal, D., Clark, K. L. 2000. "Predictive equations for biomass and fuels characteristics of Argentine shrubs". *Journal of range management*, 53(6):617-621.

IPCC 2001. *Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático 2001. Mitigación. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. Ed. Omm-Pnuma.

Ibañez, J., Lledó, M. J., Sanchez, J. R., Rodá, F. 1999. "Stand structure, aboveground biomass and production". In Rodá, F. et al., *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Ecological Studies, vol.137.

Ibañez, J.J., Vayreda, J., Gracia, C. 2002 “*Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Cataluña*” en Bravo, F., del Río, M., del Peso, C. (eds) El inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible.

Lal, R. 1997. “*Residue Management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment*” Soil and tillage research, 43, 81-107.

Liski, J., Nissinen, A., Erhard, M., Taskinen, O., 2003. “*Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest*”. Global Change Biol. 9(4): 575-584.

Masera, O.R., Garza-Caligaris J.F, Kanninen M., Karjalainen T., Liski J., Nabuurs G.J., Pussinen A., de Jong B.H.J., Mohrenf G.M.J. 2003. “*Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach*” Ecological Modelling 164:177–199.

Montero, G., cañellas, I., Ruiz-Peinado, R.. 2001. “*Growth and yield models for Pinus halepensis Mill*”. Revista INIA. Sistemas y Recursos Forestales 10(1): 179-202.

Montero, G., Río, M., Cañellas, I., Muñoz, M., Rojo, A. 2003. “*Including CO₂ fixation in the evaluation of silvicultural alternatives in Scots pine stands in Spain*”. en: Proceedings of Decision Support for multiple Purpose Forestry, Vienna, April 23rd-25th.

Montero, G., Muñoz, M., Doné, J., Rojo, A. 2004. “*Fijación de CO₂ por Pinus sylvestris L. y Quercus pyrenaica Willd., en los montes Pinar de Valsaín y Matas de Valsaín*” Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 13 (2): 399-416

Montero, G. et al 2005 “*Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*”. Monografías INIA: Serie Forestal, Madrid.

Nabuurs, G.J., Scelhaas, M.J. 2002. “*Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX*” Ecological Indicators 1: 213–223

Navarro, R. M^a, Blanco Oyonarte P. 2006 “*Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain*”. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 15(2), 197-207

Ojea, I., Puentes, A., González-Pereiro, L., Lasanta, M. 1992. “*Caracterización de la estructura vertical de Ulex europaeus L. Mediante datos de frecuencia y fitomasa*”, Studia Oecologica 9:67-76.

Passera, C. B., González Rebollar, J. L., Robles, A., Allegretti, L. I. 2001. “*Determinación de la capacidad sustentadora de pastos de zonas áridas y semiáridas del sureste ibérico, a partir de algoritmos*”, XLI Reunión Científica de la SEEP:611-617.

Reed, K.L., 1980. “*An ecological approach to modeling the growth of forest trees*”. For. Sci. 26, 33–50.

Río, M. del, 1999. “*Régimen de claras y modelos de producción para Pinus sylvestres L. en los sistemas Central e Ibérico*” Tesis doctoral, INIA.

Ruiz de la Torre, J. 1981. "Vegetación natural y matorrales en España", en Pardo Figueras, J. L. (ed.) Tratado del Medio Natural, vol. II. Cap.33 Publicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid, CEOTMA, ICONA. Madrid.

Sternberg, M., Shoshany, M. 2001. "Aboveground biomass allocation and water content relationship in Mediterranean trees and shrubs in two climatological regions in Israel". Plant Ecology 157:171-179.

Turner, J., Lambert, M. 2000. "Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia" Forest Ecology and Management, 133:231-247.

Uresk, D., Gilbert, R., Menke, J. 1977. "Sampling big sagebrush for phytomass", J. Range Manage., 30(4):311-314.

Vanclay, J.K., 1989. "A growth model for North Queensland rainforests". For. Ecol. Manage. 27, 245-271.

Whittaker, R.H., Woodwell, G M.1968. "Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest", New York". Journal of Ecology, 56: 1-25.