



EDITA	Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura
EQUIPO REDACTOR	Raquel García Laureano (Coordinadora de Cambio Climático, FONAMA SAU) María A. Pérez Fernández (Directora General de Evaluación y Calidad Ambiental) Juan Rafael Pérez Ledesma (Técnico de Medio Ambiente, FONAMA SAU)
COLABORADORES	Servicio Forestal de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal (IPROCOR) César Díaz Prieto Lorenzo Vallés
CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS	Sonia Arroyo Chicano (fotografías 4, 17 y 20) Joaquín Dávalos Méndez (fotografías 5, 9, 15 y 18) María Jesús García-Baquero Merino (fotografías 7 y 13) Juan Carlos Miranzo Torres (fotografía 19 y portada) Jesús Pámpano (fotografía 12) Juan Pablo Prieto Clemente (fotografías 3, 10, 14 y 16) Domingo Rivera Díos (fotografías 1, 2, 6, 8 y 11)
DISÑO E IMPRESIÓN	INDUGRAFIC, artes gráficas, S.L.
DEPÓSITO LEGAL	BA-357-2010
ISBN	978-84-606-4881-9
NÚMERO DE REGISTRO	09-52938

El Inventario de sumideros de carbono de Extremadura ha sido financiado por el **Programa Operativo FEDER de Extremadura 2007 - 2013**, proyecto presupuestario 200915004000600 "Mitigación del cambio climático". Dicho proyecto se incluye en la Prioridad 3: "Medio ambiente, entorno natural, recursos hídricos y prevención de riesgos", en el tema clave 4: "Prevención y control integrados de la contaminación: justificación, objetivos específicos y posible tipología de actuaciones a realizar" y en la categoría de gasto 49: "Mitigación del cambio climático y adaptación a él".

● RESUMEN	12
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Información de base sobre los inventarios de sumideros de CO ₂ y el cambio climático	17
1.2. Acuerdos internacionales en relación al cambio climático	18
1.3. Definiciones de interés	24
1.4. Descripción general de Extremadura	28
2. METODOLOGÍA	30
2.1. Principios de desarrollo del inventario	30
2.2. Metodología para la estimación de emisiones y captaciones de CO ₂	31
2.3. Asignación de categorías de terrenos	39
2.4. Suelos de Extremadura	54
3. RESULTADOS	60
A. TERRENOS FORESTALES	60
A.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva	64
A.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos Forestales que permanecen como Forestales	64
A.1.1.1. Incremento de carbono por crecimiento de la biomasa	65
A.1.1.2. Disminución de las existencias de carbono por pérdidas de biomasa	71
A.1.2. Cambios en la biomasa viva en Terrenos que pasan a ser Forestales	81
A.1.3. Cambio anual total en la biomasa viva en Terrenos Forestales	88
A.2. Cambios en el reservorio de carbono en el suelo	89
A.2.1. Terrenos Forestales asentados sobre suelos minerales	90
A.2.2. Terrenos Forestales asentados sobre suelos orgánicos	101
A. 2.3. Cambio anual total en el suelo de Terrenos Forestales	102
A.3. Cambios en el reservorio de carbono en la materia orgánica muerta	102
A.4. Epílogo de Terrenos Forestales	103

B. CULTIVOS	105
B.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva	106
B.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Cultivos que permanecen como Cultivos	106
B.1.1.1. Incremento de las existencias de carbono por crecimiento de la biomasa	106
B.1.1.2. Disminución de las existencias de carbono por pérdidas de biomasa	110
B.1.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos que pasan a Cultivos	110
B.1.3. Cambio anual total en la biomasa en Cultivos	113
B.2. Cambios en el reservorio de carbono en el suelo	114
B.2.1. Suelos minerales	115
B.2.2. Suelos orgánicos	122
B.2.3. Enmiendas calizas	122
B.2.4. Cambio anual total en el suelo en Cultivos	123
B.3. Epílogo de Cultivos	124
C. PASTIZALES	125
C.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva	127
C.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Pastizales que permanecen como tales	127
C.1.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos convertidos en Pastizales...	128
C.1.3. Cambio anual total en la biomasa en Pastizales	130
C.2. Cambios en el reservorio de carbono en el suelo	131
C.2.1. Suelos minerales	131
C.2.2. Suelos orgánicos	133
C.2.3. Enmiendas calizas	133
C.2.4. Cambio anual total en el suelo en Pastizales	134
C.3. Epílogo de Pastizales	134
D. HUMEDALES	136
D.1. Cambios en el reservorio de carbono en Humedales que permanecen como Humedales	137
D.1.1. Emisiones de CO ₂ procedentes de suelos orgánicos para la extracción de turba	139

D.1.2. Emisiones de CO ₂ procedentes de tierras anegadas	140
D.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos convertidos en Humedales	140
D.3. Cambio anual total en la biomasa en Humedales	141
D.4. Epílogo de Humedales	142
E. TERRENOS URBANOS	143
E.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos Urbanos que permanecen como tales	144
E.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos convertidos en Urbanos	150
E.3. Cambio anual total en la biomasa en Terrenos Urbanos	151
E.4. Epílogo de Terrenos Urbanos	152
F. OTROS TERRENOS	153
F.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva	154
F.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Otros Terrenos que permanecen como Otros Terrenos	154
F.1.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos convertidos en Otros Terrenos	155
F.1.3. Cambio anual total en la biomasa en Otros Terrenos	157
4. CONCLUSIONES	158
5. COMPARACIÓN ENTRE METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO	172
5.1. Método basado en los Inventarios Forestales Nacionales	172
5.2. Método basado en el Plan Forestal Nacional	176
6. BALANCE DE CARBONO EN EXTREMADURA	180
6.1. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	180
6.2. Régimen de Comercio de Derechos de Emisión	183
6.3. Balance de Emisiones y Captaciones de CO ₂	188
7. BIBLIOGRAFÍA	192

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Variación anual de las reservas de carbono de acuerdo con el “método de ganancias y pérdidas” (ΔC)	32
Ecuación 2	Variación anual de las reservas de carbono de acuerdo con el “método del cambio del stock” (ΔC)	32
Ecuación 3	Variación de las reservas de carbono asociado al cambio de uso del Terreno (ΔC_{ij})	34
Ecuación 4	Reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión de un Terreno a una categoría determinada ($C_{anterior}$)	37
Ecuación 5	Intercambio anual de carbono en Terrenos Forestales (ΔCF)	64
Ecuación 6	Incremento de carbono por crecimiento de la biomasa en los Terrenos Forestales (ΔCFF_{BV})	65
Ecuación 7	Incremento medio anual de la biomasa de los Terrenos Forestales (G_{TOTAL})	65
Ecuación 8	Disminución de las existencias de carbono por pérdidas de biomasa en Terrenos Forestales ($PCFF$)	71
Ecuación 9	Pérdida anual de carbono debida a talas comerciales (P_{talas})	72
Ecuación 10	Pérdida anual de carbono debida a recogida de leñas ($P_{leñas}$)	74
Ecuación 11	Pérdida anual de carbono debida a la producción de corcho (P_{corcho})	75
Ecuación 12	Pérdida anual de carbono debida incendios forestales (P_{otras})	76
Ecuación 13	Cambio anual en las reservas de carbono en los suelos minerales de Terrenos Forestales ($\Delta CCC_{Mineral}$)	93

Ecuación 14	Cambio anual en las reservas de carbono en los suelos de Cultivos ($\Delta CCC_{\text{Suelos}}$)	114
Ecuación 15	Cambio anual en las reservas de carbono en los suelos minerales de Cultivos ($\Delta CCC_{\text{Mineral}}$)	115
Ecuación 16	Cambio anual en las reservas de carbono en los suelos orgánicos de Cultivos ($\Delta CCC_{\text{Orgánico}}$)	122
Ecuación 17	Cambio anual en las reservas de carbono debido a enmiendas calizas en los suelos de Cultivos ($\Delta CCC_{\text{Enmiendas}}$)	123
Ecuación 18	Emisiones de carbono procedentes de Terrenos gestionados para la extracción de turba (ΔC_{Turba})	139
Ecuación 19	Emisiones de carbono procedentes de suelos orgánicos para la extracción de turba ($\Delta C_{\text{Turba-suelos}}$)	139
Ecuación 20	Variación de las reservas de carbono en la biomasa viva de Terrenos Urbanos (ΔC_{Uu})	145
Ecuación 21	Variación de las reservas de carbono en la biomasa viva de Terrenos Urbanos que permanecen como Urbanos de acuerdo con el “método de la superficie de copas” (ΔC_{Uu})	147

ACRÓNIMOS

BEF	factor de expansión de la biomasa
C_{anterior}	reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión
CC	Cultivos que permanecen como Cultivos
CCOP	tasa de crecimiento basada en el área de la cubierta de copas
CF	fracción de carbono de la madera seca
Cg	tasa de ganancia de carbono
CIN	Comité Intergubernamental de Negociación
CO₂	dióxido de carbono
COP	Conferencia de las Partes
COS	reserva de carbono en el suelo
Cp	tasa de pérdida de carbono
C_{posterior}	reserva de carbono inmediatamente después de la conversión
Ct1	reserva de carbono en el momento t1
C_{tasal}	tasa de acumulación de carbono por árbol de la clase genérica i
D	densidad básica de la madera
FF	Terrenos Forestales que permanecen como Forestales
F_{IG}	factor de la intensidad de gestión del terreno
F_{RP}	factor del régimen de perturbación del suelo
F_{TF}	factor de variación según los cambios en el tipo de terreno forestal
GBP 2003	Guía de Buenas Prácticas para el Uso de la Tierra
Gt	gigatoneladas
G_{total}	coeficiente de incremento anual de la biomasa
GW	incremento anual de la biomasa aérea
HH	Humedales que permanecen como Humedales
IFN	Inventario Forestal Nacional

IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LC	Terrenos convertidos en Cultivos
L_{conversión}	cambio anual de carbono para cada tipo de conversión
LF	Terrenos convertidos en Forestales
LH	Terrenos convertidos en Humedales
LO	Terrenos convertidos en Otros Terrenos
LP	Terrenos convertidos en Pastizales
LU	Terrenos convertidos en Urbanos
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
NAi	número de árboles de la clase de especies genérica i
OO	Otros Terrenos que permanecen como Otros Terrenos
Pg	petagramos
PP	Pastizales que permanecen como Pastizales
ppm	partes por millón
R	factor de expansión de las raíces
UU	Terrenos Urbanos que permanecen como Urbanos
VCC	volumen maderable con corteza
ΔC	cambio en las reservas de carbono
ΔC_{crecimiento}	carbono en el primer año de crecimiento
ΔC_{ij}	cambio de carbono en la conversión del uso i al uso j
ΔC_{uu}	variación de las reservas de carbono en la biomasa de Terrenos Urbanos

RESUMEN

El presente documento corresponde al inventario de sumideros de CO₂ de la Comunidad Autónoma de Extremadura en los periodos 1990-2000 y 2000-2006, es decir, analiza todos terrenos y procesos por los que se intercambia CO₂ con la atmósfera.

De acuerdo con las *Directrices del IPCC*, la estimación de la captación de carbono atmosférico por los ecosistemas se realiza considerando la superficie ocupada por seis categorías de terreno (Forestales, Cultivos, Pastizales, Humedales, Urbanos y Otros Terrenos) y los cambios en la ocupación del suelo durante un periodo de tiempo determinado. De esta forma, según la metodología propuesta, cada una de las categorías se subdivide en terrenos que permanecen como tales y terrenos que cambian de categoría, debido a los cambios en el uso del suelo.

Las *Directrices del IPCC* consideran que cada tipo de terreno contendría tres tipos de sumideros relacionados entre sí, la biomasa, el suelo y la materia orgánica muerta. Los ecosistemas terrestres y el suelo constituyen depósitos considerables de carbono y, por ello, los cambios en estos reservorios de carbono pueden tener un impacto considerable en el balance global de carbono.

La captación neta de carbono en Extremadura se incrementó considerablemente entre los dos periodos analizados; entre los años 1990 y 2000 se retiraron de la atmósfera 1.349.417 t C año⁻¹, en tanto que entre el año 2000 y el 2006 esta cantidad ascendió hasta 2.548.661 t C año⁻¹. Considerando que el peso molecular del carbono es 12 y el del CO₂ es 44, estas tasas de absorción de carbono equivalen a 4.947.862 t CO₂ año⁻¹ y 9.345.090 t CO₂ año⁻¹ para los respectivos periodos.

El notable incremento en la retirada de CO₂ atmosférico se debe fundamentalmente a que la capacidad sumidero de los Terrenos Forestales se duplicó entre el primer y segundo periodo analizado. También contribuyeron los Pastizales, incrementando la tasa de captación de CO₂ un orden de magnitud, pasando de 74.987 t CO₂ año⁻¹ a 793.489 t CO₂ año⁻¹. Si bien en las superficies ocupadas por Humedales y Terrenos Urbanos se produjo una pérdida neta de carbono, estas pérdidas fue menores en el periodo 2000 - 2006.

La cantidad de carbono retirado de la atmósfera por la biomasa forestal prácticamente se duplicó entre el primer y segundo periodo; esta evolución procede de las modificaciones que han tenido lugar en los bosque extremeños en el periodo comprendido entre el segundo y tercer *Inventario Forestal Nacional*. Los suelos, globalmente considerados, constituyen sumideros netos de carbono; sin embargo son necesarias nuevas investigaciones que permitan conocer de forma precisa el intercambio de carbono que tiene lugar en los mismos.

Si se suman los intercambios ocurridos en la biomasa y en el suelo en las diferentes categorías de usos del terreno resulta que durante el periodo 2000-2006 se absorbió una mayor cantidad de carbono de la atmósfera, fundamentalmente debido a que los Terrenos Forestales secuestraron más CO₂ y en los terrenos ocupados por Humedales hubo una pérdida menor del mismo. Siendo de menores cuantías los cambios, los Pastizales evolucionaron en el mismo sentido que los Terrenos Forestales, en tanto que los Terrenos Urbanos se comportaron como los Humedales en el transcurso de un periodo al siguiente.

La tasa de captación de carbono anual de carbono por unidad de superficie, de cada categoría de terreno y periodo analizado pone de manifiesto que la capacidad de sumidero de carbono por superficie de Terreno Forestal se duplicó entre el primer y segundo periodo analizado, debido exclusivamente a la contribución de la biomasa. La captación de carbono por unidad de superficie de Cultivo disminuyó ligeramente, ya que se redujo la absorción por parte del suelo. En las superficies ocupadas por Humedales y de Terrenos Urbanos se produjo una pérdida neta de carbono; sin embargo, estas pérdidas fueron menores en el periodo 2000-2006. Los denominados Otros Terrenos suponen una parte muy poco significativa de la superficie de la región, apenas alcanzan el 0,25% de la superficie total. Los flujos de carbono que se producen en los mismos se deben a los cambios de uso de terreno, por los que determinadas superficies que venían capturando CO₂, como Terrenos Forestales o Cultivos, dejan de hacerlo al transformarse en esa otra categoría de terreno.

De acuerdo con el *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero* (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009) las emisiones anuales medias en Extremadura en el periodo 1990-2000 ascendieron a 5.948 millones de toneladas de CO₂, en tanto que en el periodo 2000-2006 se emitieron 8.170 Kt CO₂ año⁻¹. El balance derivado de la comparación estas emisiones con la absorción neta atribuida a los sumideros de carbono actúa como indicador del flujo de carbono que tiene lugar en Extremadura.

Durante el primer periodo analizado, 1990-2000, se emitieron 970 Kt CO₂-eq año⁻¹ más que la cantidad de CO₂ absorbido por los sumideros extremeños; esto es, el 84% de las emisiones producidas en la región eran compensadas en el propio territorio. En el segundo periodo, 2000-2006, las captaciones supe-

raron a las emisiones producidas en la región en 1.175 Kt CO₂-eq año⁻¹. Este superávit supone el 14% de las emisiones anuales generadas en Extremadura durante este segundo periodo, lo que convierte a la región en sumidero neto de carbono. El cambio entre periodos obedece a que, mientras las emisiones de CO₂ han incrementado un 37%, la absorción de CO₂ por parte de los sumideros aumentó un 88%.

Si el balance se refiere únicamente a las emisiones relativas al Comercio de Derechos de Emisión los resultados concuerdan con la balanza ambiental positiva calculada por Corrales *et al.* (2009). Durante el periodo 2005 - 2008 las industrias extremeñas emitieron una media de 1.118 Kt CO₂-eq año⁻¹ que, frente a la captación anual de 9.345 Kt CO₂-eq año⁻¹ supone un superávit de 8.227 Kt CO₂-eq año⁻¹.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INFORMACIÓN DE BASE SOBRE LOS INVENTARIOS DE SUMIDEROS DE CO₂ Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El contenido de CO₂ en la atmósfera regula el efecto invernadero y permite mantener unas condiciones térmicas compatibles con la vida. Sin embargo, evidencias científicas han demostrado que la concentración atmosférica de CO₂ ha sufrido un considerable aumento en el siglo XX (Amthor, 1998). En la primera mitad del siglo XVIII, antes de la Revolución Industrial, dicha concentración era de unas 280 partes por millón (ppm) y actualmente alcanza aproximadamente 380 ppm. Sin embargo, más del 50% del cambio se ha producido después de 1950. Hasta el siglo XIX, las actividades humanas apenas influían en el almacenamiento de carbono en la tierra a través de los incendios, el uso de combustibles y la deforestación, pero desde el inicio de la Revolución industrial, estas actividades han tenido repercusiones importantes sobre el ciclo mundial del carbono. Entre 1850 y 1980 se emitieron a la atmósfera más de 100 Gt de carbono a través de los cambios del uso de la tierra, que supusieron alrededor de un tercio de las emisiones totales de carbono antropógeno de ese período. En las últimas décadas, el incremento anual de la concentración de CO₂ en el aire ha sido por término medio de 1,5 ppm (es decir, un 0,5% anual), lo que en cantidades absolutas supone unos 3 Petagramos (Pg) de carbono por año.

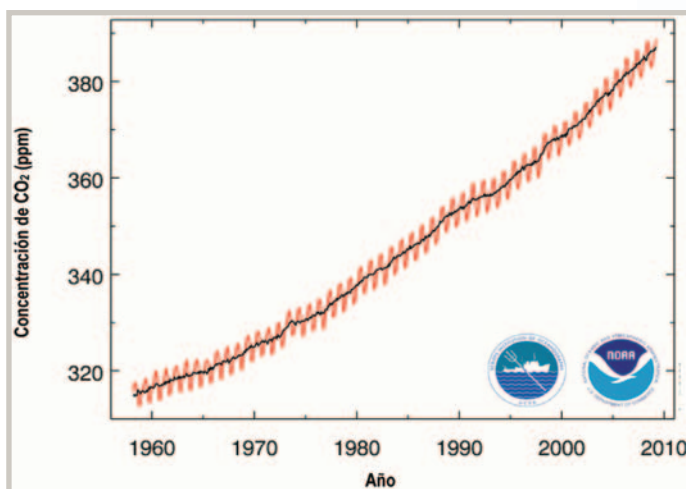


Figura 1. Registro de CO₂ en la atmósfera, en partes por millón (ppm) (NOAA, 2009).

Las oscilaciones que se observan en la gráfica (Figura 1) reflejan los cambios estacionales de la concentración de CO_2 ; durante el periodo de crecimiento vegetativo el efecto neto de la vegetación es la absorción de CO_2 del aire, con lo que la concentración atmosférica de este gas desciende. Por el contrario, en la época de hibernación, la captación de carbono por parte de la biomasa terrestre es menor, y la concentración de CO_2 en el aire aumenta. De forma global, los picos de estas oscilaciones son más acusados en las latitudes altas y medias del Hemisferio Norte, mientras que disminuye en las latitudes bajas, hasta las proximidades del Ecuador, debido a la menor influencia estacional en la actividad de las plantas tropicales. Todo ello pone de manifiesto que la vegetación tiene un papel primordial como sumidero de carbono y que, dada la actual tendencia ascendente de la concentración de CO_2 atmosférico (Figura 1), han de adoptarse medidas dirigidas a fomentar la capacidad de los sumideros naturales de carbono para contrarrestar esta situación.

Una parte muy importante del CO_2 del planeta es secuestrada por la vegetación, a través de su proceso de crecimiento. La superficie captadora de CO_2 de un árbol puede llegar a ser 1000 veces superior a la superficie que ocupa el propio árbol y está determinada por el índice de área foliar, esto es, la suma de superficie de todas sus hojas. De esta forma, los ecosistemas terrestres inciden de forma notable en el ciclo mundial del carbono. La cantidad de carbono que se intercambia anualmente entre la vegetación, los suelos y la atmósfera se estima en 125.000 millones de toneladas, cantidad que equivale a los dos quintos del intercambio total de carbono entre la tierra y la atmósfera.

Una vez asimilado el CO_2 mediante la fotosíntesis, el carbono se almacena tanto en la biomasa viva -la madera en pie, las ramas, el follaje y las raíces- como en la biomasa muerta -la hojarasca, los restos de madera, la materia orgánica del suelo y los productos forestales-. Cualquier actividad que afecte al volumen de la biomasa en la vegetación y en el suelo provoca cambios en la capacidad para retener -o liberar- carbono de la atmósfera o hacia la atmósfera.

1.2. ACUERDOS INTERNACIONALES EN RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las primeras actuaciones acometidas por la comunidad internacional en relación a la lucha contra cambio climático tuvieron lugar en junio de 1988, durante la celebración de la *Conferencia de Toronto sobre Cambios en la Atmósfera*, organizada por la Organización Meteorológica Mundial. A partir de esta Conferencia se creó el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), con el cometido de revisar e informar sobre los últimos acontecimientos científicos, impactos y soluciones al cambio climático.

La función del IPCC consiste en analizar de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. Este grupo de expertos no realiza investigación sino que basa su evaluación principalmente en las publicaciones científicas y técnicas revisadas por otros científicos. Se estructura en tres Grupos de trabajo y un Equipo especial.

- El Grupo de trabajo I evalúa los aspectos científicos del sistema climático y del cambio climático
- El Grupo de trabajo II evalúa la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales al cambio climático, las consecuencias negativas y positivas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación
- El Grupo de trabajo III evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y de atenuar los efectos del cambio climático
- El Equipo especial trabaja en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

El IPCC trabaja para apoyar la Conferencia de las Partes, que es la primera autoridad de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, evaluando anualmente el estado del cambio climático y la efectividad del tratado. En ella participan todos los estados miembros, o “parte”; participan también organizaciones de la sociedad civil y la prensa.

En 1990, se publicó el *Primer Informe de Evaluación del IPCC, que sentó las bases de la negociación en el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Ese mismo año se celebró en Ginebra la *2ª Conferencia Mundial sobre el Clima*, en la que se impulsó la creación de una convención sobre el cambio climático, bajo la dirección del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN). Éste se reunió por primera vez en febrero de 1991, y sus representantes gubernamentales adoptaron la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, el 9 de mayo de 1992.

En junio de 1992, durante la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Cumbre de la Tierra)*, celebrada en Río de Janeiro, se produjo la apertura de la Convención para su firma, entrando en vigor el 21 de marzo de 1994. Desde su entrada en vigor, se convoca anualmente la Conferencia de las Partes (o COP, en inglés, Conference of the Parties), para impulsar y supervisar su aplicación (Cuadro 1).

COP 1 (Berlín - Alemania, 1995). Comienzo de la deliberación sobre las medidas que debían adoptarse para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se puso en marcha una ronda de conversaciones sobre los compromisos que deberían adoptar los países industrializados, decisión conocida como *Mandato de Berlín*, cuyo objetivo era limitar las emisiones y poner en marcha la negociación de un protocolo de lucha contra el cambio climático.

COP 2 (Ginebra - Suiza, 1996). La segunda Conferencia de las Partes aprobó los resultados del segundo informe de evaluación del IPCC, que se publicó en 1995. En esta conferencia también se estableció que los países miembros no seguirían soluciones uniformes. Las Partes expresaron el deseo de establecer objetivos vinculantes a medio plazo.

COP 3 (Kioto - Japón, 1997). Se aprobó una considerable ampliación de la Convención, en la que se esbozaron compromisos jurídicamente vinculantes de recorte de las emisiones, en lo que se conoce como *Protocolo de Kioto*. El objetivo final del Protocolo es la reducción de emisiones en un 5,2% para el año 2012 respecto a los niveles de 1990. Se preveía un proceso independiente y oficial de firma y ratificación del Protocolo por los gobiernos nacionales antes de su entrada en vigor.

COP 4 (Buenos Aires - Argentina, 1998). Durante esta reunión se programó un periodo de dos años para clarificar y desarrollar herramientas de aplicación del *Protocolo de Kioto*, con conversaciones sobre los Mecanismos de Desarrollo Limpio, el Comercio de Emisiones y la Transferencia de Tecnología. Se aprobó un plan de acción de dos años para reducir los riesgos del cambio climático. En esta conferencia se hizo evidente que había varias cuestiones del Protocolo de Kioto pendientes.

COP 5 (Bonn - Alemania, 1999). Se estableció un exhaustivo cronograma para completar el trabajo del *Protocolo de Kioto*. Esta conferencia estuvo dominada por el debate técnico sobre los mecanismos del Protocolo de Kioto.

COP 6 (La Haya - Países Bajos, 2000). Se trabajó sobre el apoyo financiero y de transferencia de tecnología para asistir a los países en desarrollo. Esta conferencia se vio marcada sobre una propuesta de EE.UU para que se permitiera que áreas agrícolas y forestales se convirtieran en sumideros de dióxido de carbono. También se hizo evidente la incertidumbre sobre las sanciones que se adop-

Cuadro 1. Conferencias de las Partes celebradas hasta hoy.

tarían para los países que no cumplieran sus obligaciones de reducción de emisiones. La reunión se terminó cuando los países de la UE rechazaron una propuesta de compromiso y las negociaciones fracasaron.

COP 6 bis (Bonn - Alemania, 2001). Cuando las Partes se volvieron a reunir, EE.UU había rechazado definitivamente el *Protocolo de Kioto* y sólo participó en las negociaciones como observador. Se llegó a acuerdos respecto a la inclusión de los bosques y otros sumideros de dióxido de carbono en los presupuestos de emisiones de GEI de los países firmantes, los principios de las sanciones para los países que no cumplieran los objetivos y que los mecanismos de flexibilidad que permitían cumplir las obligaciones de reducción de distintas formas se pudieran transferir entre países a cambio de reenumeraciones económicas.

COP 7 (Marrakech - Marruecos, 2001). Se complementaron los *Acuerdos de Bonn*, adoptando un amplio conjunto de decisiones (*Acuerdos de Marrakech*). Este documento recoge los compromisos de cada país y estructura algunos mecanismos del *Protocolo de Kioto*. Se estableció la reglamentación para la implementación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto. Ese mismo año se publicó el *Tercer Informe de Evaluación del IPCC*, primer consenso científico global según el cual queda constancia de que la acción del hombre es responsable de la alteración del clima mundial.

COP 8 (Nueva Delhi - India, 2002). Se planteó la necesidad de promover sinergias entre las convenciones de cambio climático, biodiversidad y desertificación, avanzando en los Mecanismos de Desarrollo Limpio. Se intentó, sin éxito, que se aprobara una declaración exigiendo más acciones de las Partes. En agosto de 2002 se celebró la *Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo* (Sudáfrica).

COP 9 (Milan - Italia, 2003). Se propuso elaborar un inventario de tecnologías existentes, comprometiéndolo al sector privado. Se propuso también promover la asistencia al desarrollo, investigación y cooperación para la innovación en tecnología. En diciembre de 2003, 120 países habían ratificado el *Protocolo de Kioto*. En octubre de 2004 Rusia lo ratificó finalmente, abriendo la puerta para su entrada en vigor a principios de 2005. El periodo de compromiso es 2008-2012.

Cuadro 1. Conferencias de las Partes celebradas hasta hoy.

COP 10 (Buenos Aires - Argentina, 2004). Se incorporaron nuevas modalidades de Mecanismos de Desarrollo Limpio, en relación a proyectos de forestación y deforestación. Además se revisaron aspectos relacionados con los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero.

COP 11 (Montreal - Canadá, 2005). Se alcanzó un acuerdo basado en el compromiso de todos los países, incluidos EE.UU y los países en vías de desarrollo para empezar a discutir sobre la lucha contra el calentamiento del planeta a largo plazo. Al mismo tiempo, los países firmantes del *Protocolo de Kioto* llegaron a otro acuerdo para relanzar sus negociaciones con el objetivo de fijar nuevas reducciones de emisiones contaminantes a partir de 2012, cuando expire el tratado actual.

COP 12 (Nairobi - Kenia, 2006). Se adoptó un calendario de forma que en 2009 pudieran estar completados los nuevos acuerdos, contenidos y procedimientos tanto para los países desarrollados como para los países en desarrollo.

COP 13 (Bali - Indonesia, 2007). Con objeto de definir el futuro del régimen de cambio climático, se redactó el Plan de Bali, basado en cinco pilares: visión a largo plazo, mitigación, adaptación, tecnología y financiación. Este año se publicó el *Cuarto Informe del IPCC*, que indica que los signos de calentamiento global son inequívocos y que será necesario mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 grados centígrados.

COP 14 (Poznan - Polonia, 2008). Partiendo del *Plan de Bali*, se continuó preparando el calendario para la COP 15. Se puso en marcha el Fondo de Adaptación, cuyos ingresos dependen de los proyectos de los Mecanismos de Desarrollo Limpio.

COP 15 (Copenhague - Dinamarca, 2009). Su objetivo último fue estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias peligrosas en el sistema climático. Se acordó que los países desarrollados proporcionarán recursos para apoyar la aplicación de medidas de adaptación en los países en vías de desarrollo. Se reconoce el papel fundamental de la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación forestal y la necesidad de aumentar la absorción de las emisiones de gases de efecto invernadero por los bosques.

Cuadro 1. Conferencias de las Partes celebradas hasta hoy.

En marzo de 2002, la Unión Europea ratificó el *Protocolo de Kioto*. Con todo se logró la firma del protocolo por parte de 55 países. A pesar de esto, no se consiguió que los países ratificantes sumaran, al menos, el 55% de las emisiones de CO₂ de los países desarrollados en 1990. En nuestro país, en marzo de 2002 el Parlamento ratificó el *Protocolo de Kioto*; además, se constituyó el Consejo Nacional del Clima, órgano consultivo encargado de elaborar la *Estrategia Española para el Cumplimiento del Protocolo de Kioto*.

En el *Protocolo de Kioto* se tienen en cuenta las emisiones y absorciones de varias actividades del sector Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS), siempre que su desarrollo se hubiera iniciado a partir de 1990. En primer lugar, cada Parte -país firmante- debe dar cuenta de las emisiones y absorciones como consecuencia de todas las actividades de forestación, reforestación y deforestación. En segundo lugar, los *Acuerdos de Marrakech* permiten a las Partes determinar si desean dar cuenta de la ordenación forestal, ordenación de tierras de cultivo, ordenación de tierras de pastoreo y restablecimiento de la vegetación. Para ayudar a garantizar la coherencia entre las Partes, se establecen definiciones comunes del término 'bosques' y de cada una de las clases de actividades.

Un aspecto fundamental de los Acuerdos Internacionales es la necesidad de compartir, transmitir y responder a la información mediante comunicaciones nacionales. Éstas son el medio a través del cual la COP supervisa los progresos realizados por las Partes para cumplir sus compromisos y alcanzar los objetivos últimos de la Convención. Por razones de transparencia en la presentación de la información, la COP establece las directrices que las Partes deben utilizar para presentar la información en sus comunicaciones nacionales. La COP utiliza esta información para evaluar y examinar la aplicación eficaz de la Convención y determinar el efecto total del conjunto de medidas adoptadas por las Partes. Desde 1995, estas directrices se han revisado y mejorado teniendo en cuenta la experiencia de las Partes en su aplicación.

El presente documento corresponde al inventario de sumideros de CO₂ de la Comunidad Autónoma de Extremadura en los periodos 1990-2000 y 2000-2006, es decir, analiza todos terrenos y procesos por los que se extrae de la atmósfera CO₂ y se almacena.

La elaboración del inventario se realiza siguiendo las directrices recogidas en los documentos *FCCC/SBSTA/2004/8* y *FCCC/SBSTA/2006/9* de la Secretaría del Convenio Marco sobre Cambio Climático y según los niveles metodológicos seleccionados en el *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*.

La elaboración del *Inventario de sumideros de CO₂ de Extremadura* es uno de los instrumentos a desarrollar comprometidos en *Estrategia de Cambio Climático para Extremadura (2009-2012)*.

1.3. DEFINICIONES DE INTERÉS

Se entiende por sumidero "cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera" (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). Sin embargo la fijación de carbono considerada por el Protocolo de Kioto es aquella que depende directamente de la actividad humana y se ha desarrollado a partir de 1990, año base del Protocolo. En concreto, el Artículo 3.3 del propio Protocolo, únicamente considera la absorción de carbono por los sumideros debida a la actividad humana directamente relacionada con el uso del suelo, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura.

De acuerdo con las *Directrices del IPCC*, el sector del Uso de la Tierra, Cambio del Uso de la Tierra y la Silvicultura -sector LULUCF, por sus siglas en inglés- se divide en varios usos del suelo:

Terrenos Forestales (*Forest*)

Cultivos (*Croplands*)

Pastizales (*Grasslands*)

Humedales (*Wetlands*)

Terrenos Urbanos (*Settlements*)

Otros Terrenos (*Other lands*)

Cada una de estas categorías está subdividida, a su vez, en Terrenos que permanecen en la misma categoría y Terrenos convertidos en una nueva categoría.

- **Terreno Forestal:** la Conferencia de las Partes celebrada en Marrakech en 2001 (COP 7) define el "Terreno Forestal o Bosque" como aquella *superficie mínima de tierras de entre 0,05 y 1,0 hectáreas (ha) con una cubierta de copas (o una densidad de población equivalente) que exceda del 10 al 30% y con árboles que puedan alcanzar una altura mínima de entre 2 y 5 metros en su madurez in situ. Un bosque puede consistir en formaciones forestales densas, donde los árboles de diversas alturas y el sotobosque cubren una proporción considerable del terreno, o bien en una masa boscosa clara. Se*

consideran bosques también las masas forestales naturales y todas las plantaciones jóvenes que aún no han alcanzado una densidad de copas de entre el 10% y el 30% o una altura de los árboles de entre 2 y 5 m, así como las superficies que normalmente forman parte de la zona boscosa pero carecen temporalmente de población forestal a consecuencia de la intervención humana, por ejemplo de la explotación, o de causas naturales, pero que se espera vuelvan a convertirse en bosque.

En España se consideran Terrenos Forestales aquellos cuya Fracción de Cobertura Cubierta (FCC) sea igual o superior al 20%, es decir, superficies en las que el grado de recubrimiento del suelo por la proyección vertical de las copas del arbolado sea, al menos, el 20%. Estos Terrenos corresponden a la superficie denominada "Monte arbolado" según los Inventarios Forestales Nacionales, la unidad mínima de superficie es 1 ha y la altura mínima de los árboles en su madurez es de 3 m.

- **Cultivos:** *incluidos herbáceos y leñosos.*
- **Pastizales:** *formaciones de pastizal sin arbolado, continuo y discontinuo.*
- **Humedales:** *incluye los espacios inundados por aguas dulces o salinas, sea temporal o permanentemente, aún siendo creadas por el hombre.*
- **Terrenos Urbanos:** *se consideran como tales todas las infraestructuras para el transporte y las zonas urbanizadas, que no estén incluidas en otra categoría.*
- **Otros Terrenos:** *son suelos desnudos, roca, hielo y aquellas superficies no incluidas en ninguna de las restantes categorías.*
- **Forestación:** *conversión, por actividad humana directa, de tierras que carecían de bosque durante un periodo de al menos 50 años, en tierras forestales mediante plantación, siembra o fomento antrópico de semilleros naturales.*
- **Reforestación:** *conversión por actividad humana directa de tierras no boscosas en boscosas mediante plantación, siembra o fomento antrópico de semilleros naturales, en tierras que estuvieron forestadas pero que actualmente están deforestadas. Durante el primer periodo de compromiso, las actividades de reforestación se limitarán a la reforestación de terrenos carentes de bosques a fecha de enero de 1990.*

- **Deforestación:** *conversión de tierras boscosas en no forestales por actividad humana directa.*
- **Revegetación:** *actividad humana directa realizada con el objetivo de aumentar el carbono almacenado en determinados lugares mediante el establecimiento de vegetación en una superficie mínima de 0,05 ha y que no se ajusta a las definiciones de forestación y reforestación (por ejemplo, márgenes de autopistas, parques,...).*
- **Gestión forestal:** *conjunto de prácticas para la administración y uso de tierras forestales con objeto de permitir que el bosque cumpla sus funciones ecológicas (incluida la diversidad biológica), económicas y sociales de manera sostenible.*
- **Gestión de tierras agrícolas:** *prácticas en tierras dedicadas a cultivos agrícolas y en tierras mantenidas en reserva o no utilizadas temporalmente para la producción agrícola.*

Las *Directrices del IPCC* consideran que cada tipo de Terreno contendría tres tipos de sumideros relacionados entre sí: la biomasa, el suelo y la materia orgánica muerta. Los ecosistemas terrestres y el suelo constituyen depósitos considerables de carbono y, por ello, los cambios en estos reservorios de carbono pueden tener un impacto considerable en el balance global del carbono.

El ciclo biogeoquímico del carbono, por el cual este elemento se intercambia entre la biosfera, la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera de la Tierra, se compone de dos fases: el ciclo lento o geológico y el ciclo rápido o biológico. Suele considerarse que este ciclo está constituido por cuatro reservorios principales de carbono interconectados por rutas de intercambio. Los reservorios son:

- la atmósfera
- la biosfera terrestre, que incluye sistemas de agua dulce y material orgánico no vivo
- los océanos, que incluyen el carbono inorgánico disuelto, los organismos marinos y la materia no viva
- los sedimentos, que incluyen los combustibles fósiles

A través de procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos se producen anualmente intercambios entre los reservorios. El balance global es el equilibrio entre intercambios (ingresos y pérdidas) de car-

bono entre los reservorios o entre una ruta del ciclo específica (por ejemplo, atmósfera - biosfera). Un examen del balance de carbono de un fondo o reservorio puede proporcionar información respecto a si funcionan como una fuente o un almacén para el dióxido de carbono.

A nivel global, el carbono ingresa en el sistema a través de la fotosíntesis y sale del mismo por la respiración vegetal y microbiana (Figura 2). Cuando la biomasa vegetal muere pasa a convertirse en residuos vegetales; durante su descomposición se liberan nutrientes y se emite CO_2 . Éste también es generado en el proceso de mineralización de la materia orgánica humificada. La suma de la emisión de CO_2 por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana o heterotrófica del suelo. El carbono de los residuos que no es emitido como CO_2 durante la descomposición, pasa a formar parte de la biomasa microbiana en un primer momento y posteriormente se integra a sustancias orgánicas más estables mediante la humificación.

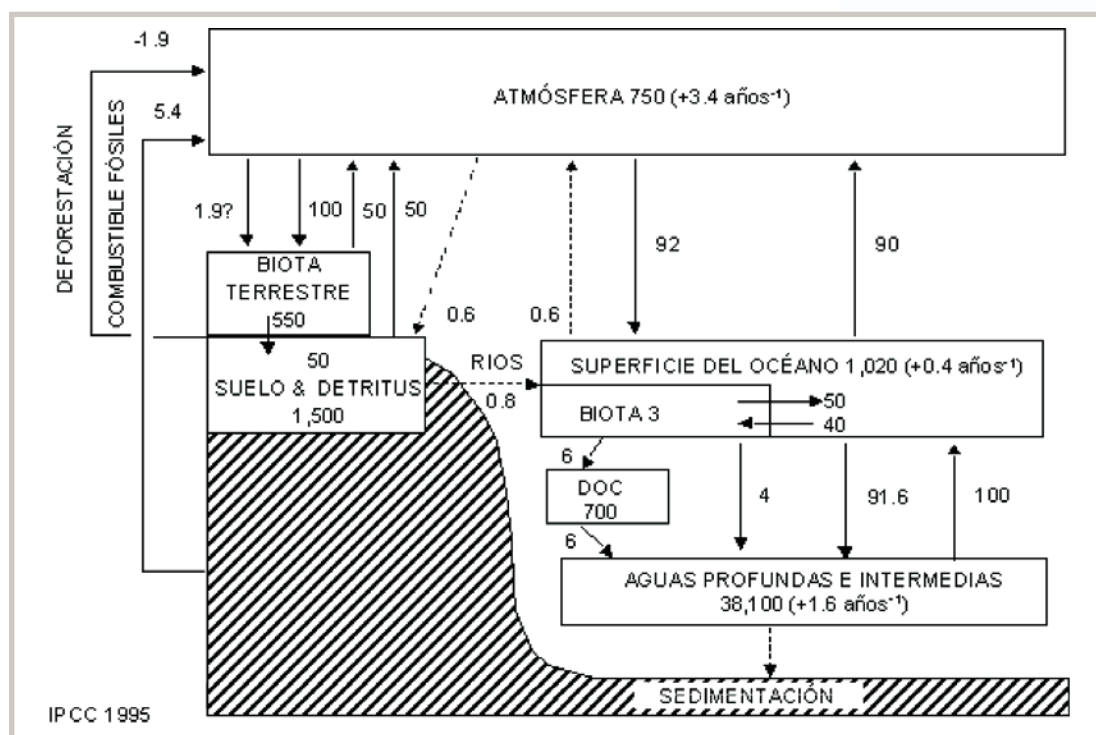


Figura 2. El ciclo global del carbono (IPCC, 1995). Las reservas se expresan en gigatoneladas de carbono y las tasas en gigatoneladas de carbono por año.

1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EXTREMADURA

Extremadura tiene una superficie total igual a 4.167.277 ha, equivalente al 8,2% del total de España, lo que hace que sea la quinta Comunidad Autónoma en extensión (Tabla 1). En cuanto a su población, que a fecha de 1 de enero de 2009 era de 1.102.410.744 habitantes, representa tan sólo un 2,35% de la población española (46.745.807 habitantes) (INE, 2010).

La principal característica de la distribución poblacional extremeña es la existencia de un total de 383 municipios, muy distanciados entre sí. Característica que aparece reflejada en el Programa de Desarrollo Rural Sostenible (2010-2014), presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y de Medio Rural y Marino, ya que el 70 por ciento del territorio extremeño ha sido incluido como zona rural prioritaria o zona a revitalizar, lo que se traduce en 275 municipios repartidos en más de 30.028 kilómetros cuadrados y más de 436.649 habitantes. El 40% de la población extremeña vive en municipios rurales; en tanto que la media nacional se sitúa en torno al 16%.

Orográficamente, destacan por el norte las sierras del Sistema Central, con la Sierra de Gredos, Sierra de Béjar y la Sierra de Gata que la separan de la meseta norte castellana; en el centro, de este a oeste, la Sierra de las Villuercas y la Sierra de San Pedro, que forman parte de los Montes de Toledo y, finalmente, al sur se eleva la Sierra Morena que separa Extremadura de Andalucía.



Fotografía 1. Sierra de San Pedro (Badajoz y Cáceres).

Hidrológicamente, todo el territorio extremeño pertenece a la vertiente atlántica, existiendo cuatro cuencas hidrográficas diferentes:

- La cuenca del Tago, con dos afluentes principales por la derecha, el Tiétar y el Alagón; y por la izquierda los ríos Almonte, Ibor, Salor y el Sever
- La cuenca del Guadiana, que tiene como afluentes principales por la derecha los ríos Guadarranque y Rucas y por la izquierda el Zújar, que es su afluente más caudaloso, y el Matachel
- La cuenca del Guadalquivir
- La cuenca del Duero

Tabla 1. Extensión, límites y posición geográfica de Extremadura y de las provincias que la componen (INE, 2004).

	Extensión	Límites	Latitud		Longitud	
	<i>Km²</i>	<i>Km</i>	<i>Septentrional</i>	<i>Meridional</i>	<i>Oriental</i>	<i>Occidental</i>
Badajoz	21.766	1.131	39º 26'	37º 57'	4º 39'W	7º 20'W
Cáceres	19.868	955	40º 29'	39º 02'	4º 57'W	7º 33'W
Extremadura	41.673	1.336	40º 29'	37º 57'	4º 39W	7º 33'W
España	505.988	10.105	43º 48'	27º 38'	4º 20'E	18º 10'W

El clima de Extremadura es de tipo mediterráneo, excepto en el norte, más continentalizado, y en el oeste, donde la influencia del Atlántico lo suaviza. La orografía influye decisivamente en el clima de algunas partes de la región, creando climas locales muy húmedos en las sierras del norte, particularmente en las comarcas de La Sierra de Gata, Valle del Ambroz, Hurdes, Valle del Jerte y la Vera, donde las precipitaciones son muy abundantes, con medias anuales entre los 600 y los 1.300 mm.

2. METODOLOGÍA

2.1. PRINCIPIOS DE DESARROLLO DEL INVENTARIO

Si bien se han descrito diversos métodos de cálculo de la capacidad de sumidero de los ecosistemas, los principios considerados para la elaboración de este inventario se corresponden con los definidos por la Secretaría de la Convención Marco sobre Cambio Climático (UNFCCC, 2006).

- **Coherencia:** de acuerdo con este principio se sigue la metodología aplicada en el *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*, que a su vez se basa en las recomendaciones recogidas en Houghton *et al.* (1996), Eggleston *et al.* (2006) y Penman *et al.* (2003).
- **Exactitud:** por lo que se han seleccionado las metodologías y fuentes de datos más efectivos con objeto de reducir las incertidumbres en la medida de lo posible.
- **Homogeneidad temporal:** se ha procurado garantizar que la serie temporal 1990-2000 fuera homogénea a lo largo de los años de acuerdo con Houghton *et al.* (1996), Eggleston *et al.* (2006) y Penman *et al.* (2003).
- **Exhaustividad:** la exhaustividad se evaluará según la tipología de estatus de estimación recomendada por la metodología IPCC: *NO* (no ocurren), *NC* (no consideradas), *O* (inferior a la mitad de la unidad utilizada). *NO* se asignará sólo cuando existe certeza de que la actividad en sí misma no está presente en el territorio considerado. En los casos en que no se ha realizado estimación y no se han asignado otras etiquetas se ha hecho referencia a la situación con la etiqueta *NC*.
- **Transparencia:** documentación y archivo de las fuentes de información de base utilizadas en la realización de los inventarios. Se explican los puntos de partida, así como toda la metodología utilizada para facilitar la replicación y valoración de la información aportada.

A lo largo del documento se irán detallando las fuentes de datos y las metodologías utilizadas, de forma que sea posible contrastar y verificar los resultados obtenidos.

2.2. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES Y CAPTACIONES DE CO₂

El cálculo de las absorciones y captaciones de CO₂ relacionadas con el sector LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) se basa en las metodologías y supuestos sugeridos en las siguientes publicaciones:

- ***“Revised 1996 and 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”*** (Directrices del IPCC revisadas en 1996 (Houghton *et al.*, 1996) y en 2006 (Eggleston *et al.*, 2006) para Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero), desde ahora Directrices del IPCC. Incluye indicaciones para la recopilación, documentación y transmisión sistemáticas de los datos del inventario nacional. Constituyen el principal medio de garantizar la coherencia de todos los informes y permitir su comparación tanto a nivel nacional como internacional. Presentan un compendio de la información sobre los métodos que pueden emplearse para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como una lista completa de los tipos de fuente para cada uno de ellos. Incluye también resúmenes de los fundamentos científicos de los métodos de inventario recomendados y proporciona extensas referencias a la literatura técnica.
- ***“Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, 2003”*** (Guía de Buenas Prácticas para el Uso de la Tierra, el Cambio de Uso de la Tierra y la Silvicultura), publicado por el Panel Intergubernamental de cambio Climático (IPCC) (Penman *et al.*, 2003); desde ahora *GBP, 2003*. Se describe la manera de determinar la contribución relativa de cada categoría de fuente o sumidero a la incertidumbre general del sector Uso de la Tierra, el Cambio de Uso de la Tierra y la Silvicultura, utilizando una combinación de datos empíricos y juicio de expertos.

La metodología se plantea bajo los supuestos de que el flujo de CO₂ hacia la atmósfera, o desde ella, es igual a la variación de las reservas de carbono en la biomasa y el suelo existentes, y de que es posible estimar la variación de las reservas de carbono estableciendo las tasas de cambio de uso de la tierra y la práctica utilizada para llevar a efecto ese cambio.

De acuerdo con la *GBP 2003*, el inventario de CO₂ para una región debe realizarse de forma muy general siguiendo las pautas que se describen a continuación:

- I. Establecer las distintas áreas de tierra que se engloban en seis categorías generales.

- II. Considerando que un uso de suelo de una categoría concreta puede cambiar de categoría, calcular las emisiones y absorciones de CO₂ para cada categoría y cada suelo que cambia de categoría.
- III. Establecer, para cada categoría, las variaciones de reserva de carbono que son consecuencia de variaciones de carbono en la biomasa viva, en la materia orgánica muerta y en el suelo. Para cada una de estas variaciones y para cada categoría se elaboran ecuaciones para el cálculo de la variación en el contenido de carbono.

En términos generales, se ha considerado que los cambios en las reservas de carbono se producen de forma constante durante todo el período de tiempo analizado.

La conversión desde unidades de carbono (toneladas) a unidades de dióxido de carbono (gigagramos, Gg), se realiza multiplicando el valor de las unidades de carbono por 44/12 y 10⁻³ (GBP, 2003).

La *GBP 2003* y las *Directrices del IPCC* presentan dos métodos de estimación del cambio anual de carbono en cualquiera de las categorías de uso del terreno. El primero de los métodos, denominado **“método de ganancias y pérdidas”** (Ecuación 1), que es el utilizado por defecto, calcula el incremento anual de las reservas de carbono sustrayendo las pérdidas a las ganancias de carbono.

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} * (C_g - C_p)_{ijk}]$$

Ecuación 1

donde,

ΔC es el cambio en las reservas de carbono en el sumidero (t C año⁻¹)

A es la superficie (ha)

ijk es el tipo de clima i , de bosque j y de práctica de gestión k

C_g es la tasa de ganancia de carbono (t C ha⁻¹ año⁻¹)

C_p es la tasa de pérdida de carbono (t C ha⁻¹ año⁻¹)

Alternativamente, se presenta un segundo método denominado **“método del cambio del stock”** (Ecuación 2), según el cual la variación en las reservas de carbono se estima comparando dos momentos diferentes.

$$\Delta C = \sum_{ijk} (C_{t2} - C_{t1}) / (t_2 - t_1)_{ijk}$$

Ecuación 2

donde,

C_{t1} es la reserva de carbono en el sumidero en el momento t_1 (t C)

C_{t2} es la reserva de carbono en el sumidero en el momento t_2 (t C)

t_1 es el inicio del periodo considerado

t_2 es el final del periodo considerado

ijk es el tipo de clima i , de bosque j y de práctica de gestión k

Como en el caso del Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, 2009), para la elaboración de este inventario se ha seguido el método por defecto, que no es otro que el método de ganancias y pérdidas.

Niveles metodológicos

Desde el IPCC se proponen tres niveles metodológicos para el cálculo del cambio en la reservas de carbono, con diferentes grados de resolución. La estructura de los niveles es jerárquica, suponiendo los niveles más altos una mayor exactitud del método y/o del factor de emisiones y otros parámetros utilizados en la estimación de las emisiones y las absorciones.

- **Nivel 1:** utiliza datos de actividad a nivel nacional o mundial, disponibles en la GBP2003.
- **Nivel 2:** aplica el mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, pero mediante factores de emisión y datos de actividad definidos por el país para los usos de la tierra y/o actividades más importantes.
- **Nivel 3:** se utilizan métodos de orden superior, y en particular modelos y sistemas de medición de inventario adaptados a las circunstancias de cada país, basados en datos de actividad de alta resolución. Estos métodos de orden superior proporcionan estimaciones de mayor certidumbre que los niveles inferiores, y vinculan más estrechamente la biomasa y la dinámica del suelo.

En este documento se ha trabajado con 12 categorías de sumideros. En el caso de la materia orgánica del suelo, compuesta por los residuos y la madera muerta, se ha establecido el Nivel 1, por lo que se considera que los cambios en esta subcategoría son despreciables y se registran como nulos (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de Terrenos considerados en el presente inventario. NC: no considerado; FF: Terrenos Forestales que continúan siendo Forestales; LF: Terrenos convertidos en Forestales; CC: Cultivos que permanecen como Cultivos; LC: Terrenos convertidos en Cultivos; PP: Pastizales que continúan siendo Pastizales; LP: Terrenos convertidos en Pastizales; HH: Humedales que permanecen como Humedales; LH: Terrenos convertidos en Humedales; UU: Terrenos Urbanos que permanecen como Terrenos Urbanos; LU: Terrenos convertidos en Urbanos; OO: Otros Terrenos que permanecen como tales; LO: Terrenos que pasan a la categoría Otros Terrenos.

Terreno		Biomasa	Suelos	Materia orgánica muerta
A) Forestal	FF	SÍ	SÍ	NC
	LF	SÍ	SÍ	NC
B) Cultivo	CC	SÍ	SÍ	NC
	LC	SÍ	SÍ	NC
C) Pastizal	PP	O	SÍ	NC
	LP	SÍ	SÍ	NC
D) Humedal	HH	O	NC	NC
	LH	SÍ	NC	NC
E) Urbano	UU	SÍ	NC	NC
	LU	SÍ	NC	NC
F) Otros	OO	NC	NC	NC
	LO	SÍ	NC	NC

Metodología para Terrenos que cambian de uso

Los cambios anuales en existencias de carbono en la biomasa viva vienen definidas por cambios en el arbolado, incendios, forestaciones, etc. Para su estimación se emplea la expresión recogida en la Ecuación 1. No se establecen pérdidas en las tierras que cambian de categoría de uso, por lo que únicamente se considera el componente de la ecuación que hace referencia a las ganancias. El cálculo de estas ganancias se efectúa aplicando la Ecuación 3.

$$\Delta C_{ij} = A_{\text{conversión}} * (L_{\text{conversión}} + \Delta C_{\text{crecimiento}})$$

Ecuación 3

Siendo,

$$L_{\text{conversión}} = C_{\text{posterior}} - C_{\text{anterior}}$$

donde,

ΔC_{ij} es el cambio de carbono en la biomasa en la conversión del uso i al uso j

$A_{\text{conversión}}$ es la superficie que cambia de uso (ha)

$\Delta C_{\text{crecimiento}}$ es el carbono en el primer año de crecimiento ($t\ C\ ha^{-1}año^{-1}$)

$L_{\text{conversión}}$ es el cambio anual de carbono para cada tipo de conversión ($t\ C\ ha^{-1}$)

$C_{\text{posterior}}$ es la reserva de carbono inmediatamente después de la conversión ($t\ C\ ha^{-1}$)

C_{anterior} es la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión ($t\ C\ ha^{-1}$)

$C_{\text{posterior}}$

Para todas las categorías de Terreno consideradas, en el proceso de cambio de uso del terreno se considera que se elimina totalmente la biomasa; de esta forma, en todos los casos, a la reserva de carbono inmediatamente después de la conversión ($C_{\text{posterior}}$) se le da un valor igual a cero (GBP 2003).

$\Delta C_{\text{crecimiento}}$

El carbono en el primer año de crecimiento ($\Delta C_{\text{crecimiento}}$) del uso final del Terreno; por ejemplo, la cantidad de carbono que se acumula en una repoblación el primer año de establecimiento de las plántulas. Es nulo en el caso de la implantación de Cultivos Anuales y de Pastizales porque la biomasa que se acumula en un año se pierde en ese mismo periodo bien por las cosechas, bien por el propio ciclo de vida de la vegetación (mortalidad). Este mismo supuesto se aplica a las categorías Humedales y Otros Terrenos. Si bien en los Terrenos Urbanos realmente el $\Delta C_{\text{crecimiento}}$ no es nulo, se considerará como tal en el presente inventario.

Los cálculos del $\Delta C_{\text{crecimiento}}$ relativos a la formación de Cultivos Arbóreos se han determinado tomando como referencia el olivar, dada la importancia cuantitativa de este tipo de cultivos en el conjunto de la región. De forma tradicional, la densidad el primer año de implantación es igual a 150 pies ha^{-1} . No obstante, hay que considerar que a principios de los años noventa comenzó a experimentarse con una nueva forma de implantación denominada cultivo superintensivo, donde la densidad de plantación oscila entre 800 y 2500 árboles por hectárea, en función del tipo de suelo y la disponibilidad de agua, pudiéndose tomarse como valor medio 1000 pies ha^{-1} .

Dado el auge que este tipo de cultivo está teniendo en los últimos años en Extremadura, y su semejanza a los cultivos de frutales, se ha integrado en los cálculos del carbono acumulado en el primer año de crecimiento ($\Delta C_{\text{crecimiento}}$). El producto de la densidad de plantación y el valor modular del olivo indican el

carbono acumulado el primer año de implantación de un olivar. Según el INIA, el valor modular de carbono de un olivo de clase diamétrica 5 es 5,84 Kg C. De esta forma, al multiplicar esta cantidad por la densidad media tradicional (150 pies ha^{-1}) resultan $0,88 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que para una densidad inicial de $1000 \text{ pies ha}^{-1}$ corresponden $5,84 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Si se toma el valor medio de estas dos cantidades, el $\Delta C_{\text{crecimiento}}$ para el cambio a Cultivos Arbóreos será igual a $3,36 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.



Fotografía 2. Repoblación de quercíneas en la Sierra de San Pedro. Llerena (Badajoz).

Para calcular el $\Delta C_{\text{crecimiento}}$ correspondiente al primer año de implantación de un Terreno Forestal se ha asumido que en la reforestación se emplean ejemplares cuya clase diamétrica es 5 cm (1 savia). En este sentido se debe hacer referencia a los datos recogidos por la Dirección General de Infraestructuras Agrarias, de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural, desde que se inició el programa de ayudas a la reforestación (Decreto 95/1993, de 20 de julio, por el que se desarrolla en la Comunidad Autónoma extremeña el Real Decreto 378/1993, de 12 de marzo).

Las especies objeto de ayudas para reforestación se diferencian en tres grupos: frondosas de crecimiento lento, resinosas de crecimiento lento y protectoras y frondosas de crecimiento rápido. Las es-

pecies utilizadas en Extremadura han sido encina *Quercus ilex* L. (58,56%), alcornoque *Q. suber* L. (37,65%), coníferas (1,09%) y otras frondosas (2,7%). Debido a que el 99% de las especies implantadas en Extremadura son frondosas, y únicamente se utilizan algunas coníferas como acompañamiento, se ha considerado que la forestación se lleva a cabo exclusivamente con especies de frondosas.

Según las estimaciones del *Plan Forestal de Extremadura*, la densidad inicial de las masas creadas por repoblación es de 800 pies ha⁻¹ y se prevé que dicha densidad se mantenga durante los 30 primeros años. Por su parte, la Orden de 11 de marzo de 1999, Anexo 2 y el Decreto 36/2002 de 16 de abril, Anexo V exigen el mantenimiento de al menos el 50% del marco inicial de plantación al finalizar el periodo de ayudas a la reforestación (20 años). Así, la biomasa acumulada en el primer año de establecimiento de un Terreno Forestal se calcula multiplicando el valor modular de biomasa seca correspondiente a la clase diamétrica 5 (4,51 Kg, INIA) por la densidad de plantación (800 pies ha⁻¹), resultando 3.608 Kg m.s. ha⁻¹. Puesto que se considera que el 50% de la biomasa vegetal está constituida por carbono, el $\Delta C_{\text{crecimiento}}$ para Terrenos Forestales es 1,80 t C ha⁻¹ año⁻¹.

Canterior

En cuanto al cálculo de la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión (C_{anterior}), vendrá dado por la categoría de uso previa a la transformación del terreno. Por los mismos argumentos expuestos en el caso de $\Delta C_{\text{crecimiento}}$, el C_{anterior} es nulo (o se considera nulo) en el caso de la implantación de Cultivos Anuales, Pastizales, Humedales, Otros Terrenos y Terrenos Urbanos.

En los Cultivos Arbóreos, como se ha comentado ya, se ha tomado como referencia el olivo, cuya densidad media en los olivares extremeños es de 150 pies ha⁻¹, los cuales se considera que se reparten proporcionadamente en tres clases diamétricas (15, 20 y 25). Multiplicando los valores modulares de carbono respectivos (INIA) por las densidades pertinentes resulta un valor de C_{anterior} de 10,5 t C ha⁻¹.

La biomasa acumulada por unidad de superficie de un Terreno Forestal viene dada por la Ecuación 4

$$C_{\text{anterior}} = \sum_i [(VCC * D * BEF_i) * (1 + R)] * CF \quad \text{Ecuación 4}$$

donde,

C_{anterior} es la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión (t C ha⁻¹)

VCC es el volumen maderable con corteza (m³ ha⁻¹)

D es el densidad básica de la madera ($t\ m.s.\ m^{-3}$)

BEF₁ es el factor de expansión de biomasa para convertir el incremento neto anual de volumen maderable a incremento total de biomasa aérea (sin dimensión)

CF es la fracción de carbono de la materia seca ($t\ C\ tms^{-1}$). Se considera 0,5 por defecto para todas las especies leñosas (Kollmann, 1959; Ibáñez *et al.*, 2001)

En el presente documento se utilizan una serie de factores de expansión de biomasa (**BEF₁**) y de densidad básica (**D**) calculados por el INIA-EGMASA (Montero *et al.*, 2005) si bien en el *Inventario Nacional de Emisiones* se utiliza el parámetro BEDF, equivalente al producto entre **D** y **BEF₁**, de acuerdo con el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales. Montero *et al.* (2005) estimaron valores de **R**, que son 0,3 en coníferas y 0,5 en frondosas que se han considerado más específicos de la región que los propuestos por la *GBP 2003* para la zona climática a la que pertenece Extremadura, que en este caso correspondería a 0,337 en coníferas y 0,326 en frondosas.

En Terrenos Forestales el cálculo de la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión se ha efectuado utilizando los datos de los Inventarios Forestales Nacionales (*IFN2 e IFN3*) para el conjunto de la región, y de esta forma se utilizará el mismo valor de **C_{anterior}** para los dos periodos considerados en el presente inventario. El volumen maderable (**VCC**, $m^3\ ha^{-1}$) se ha extraído de la Tabla 301 de los dos inventarios forestales nacionales utilizados correspondientes a cada una de las provincias; para cada periodo, el VCC de la región se ha considerado que es igual a la media de cada grupo de especies de las dos provincias (Tabla 3).

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla anterior, la biomasa total media en Extremadura de los dos periodos del *IFN* es 25,74 y 33,79 $t\ m.s.\ ha^{-1}$ para el *IFN2* e *IFN3* respectivamente (promedio de

Tabla 3. Biomasa arbórea (VCC), factores de expansión (BEF₁), densidad (D), factores de expansión de raíces (R) y biomasa total por inventario en Extremadura.

		VCC <i>m³ ha⁻¹</i>	BEF ₁	Densidad <i>t ms m⁻³</i>	R	Biomasa <i>t ms ha⁻¹</i>
IFN2	Frondosas	9,84	2,90	0,53	0,50	22,69
	Coníferas	3,29	1,70	0,42	0,30	3,06
IFN3	Frondosas	12,94	2,90	0,53	0,50	29,83
	Coníferas	4,27	1,70	0,42	0,30	3,97

29,77 t m.s. ha⁻¹). Esta cantidad, multiplicada por la fracción de carbono de la materia seca (0,5), da como resultado que la cantidad de carbono presente en los Terrenos Forestales de Extremadura durante los periodos considerados en el presente inventario es igual a 14,88 t C ha⁻¹.

En el presente inventario se utilizarán los valores calculados relacionados con el cambio de categoría de uso del Terreno, que aparecen en la Tabla 4.

Tabla 4. Reservas de carbono relacionadas con los cambios en el uso del terreno en Extremadura.

Terreno	C _{posterior} t C ha ⁻¹	C _{anterior} t C ha ⁻¹	ΔC _{crecimiento} t C ha ⁻¹ año ⁻¹
Forestal	0	14,88	1,80
Cultivo arbóreo	0	10,21	3,36
Cultivo anual	0	0	0
Pastizal	0	0	0
Humedal	0	0	0
Urbano	0	0	0
Otros usos	0	0	0

2.3. ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS DE TERRENOS

Para impedir que al elaborar los inventarios de sumideros una misma superficie sea asignada a diferentes categorías de Terreno, los Terrenos deben clasificarse en una sola categoría. Si el sistema de clasificación de tierras utilizado no se corresponde con las categorías descritas anteriormente (Tabla 2), es una buena práctica combinar o separar las clases de tierra existentes de este sistema de clasificación de uso de la tierra con el fin de utilizar las categorías aquí expuestas, e informar sobre el procedimiento adoptado.

De esta forma, toda la superficie de Extremadura debe clasificarse en una de las seis categorías. El análisis espacial y territorial que ha permitido definir los usos y cambios de usos del terreno se ha realizado atendiendo a sistemas de información geográfica (Base de Datos CORINE Land Cover CLC1990, CLC2000 y Cambios CLC), que utiliza una escala cartográfica 1:100.000. Adicionalmente, se han con-

siderado los resultados provisionales del CLC2006, que podrían sufrir algunas modificaciones en la versión definitiva. Las citadas bases de datos se refieren a:

- CLC90 revisado: versión revisada y corregida de la ocupación del suelo en el año 1990.
- CLC2000: ocupación del suelo en el año 2000 y cambios en la ocupación del suelo entre 1990 y 2000.
- Cambios CLC2006: cambios en la ocupación del suelo entre 2000 y 2006.

La base de datos CORINE Land Cover está fundamentada en una nomenclatura de ocupación del suelo única en el ámbito europeo. Cada categoría de Terreno se clasifica con un código de cinco dígitos, siendo esta clasificación de nivel 5º. Todos estos códigos de cinco dígitos se han relacionado con una de las seis categorías de Terreno que pueden funcionar como sumideros de carbono (Terrenos Forestales, Cultivos, Pastizales, Humedales, Terrenos Urbanos u Otros Terrenos). A continuación se incluye la explicación de la nomenclatura CORINE Land Cover al nivel 5º y la equivalencia con las categorías de las *Directrices del IPCC* (Houghton *et al.*, 1996; Eggleston, *et al.*, 2006) (Cuadro 2).

En el último periodo considerado (CLC2006), los cambios se han registrado a nivel 3º, lo que corresponde a los tres primeros dígitos de los códigos presentados en el cuadro. Los cambios netos en las distintas clases de coberturas constituyen la base para reconocer el periodo de permanencia de un terreno en una determinada categoría, clave para el desarrollo de la metodología presentada en las *Directrices del IPCC*.

La superficie correspondiente a cada una de las categorías representadas en Extremadura, en 1990 (CLC90), año base según las *Directrices del IPCC* y en el año 2000 (CLC00), constituye una información básica para la estimación de la captación y emisión de CO₂ en cada una de las categorías de terrenos consideradas en el inventario (Tabla 5).

Del mismo modo, se ha considerado la superficie estimada para cada una de las categorías de terreno consideradas correspondientes al año 2006, de acuerdo con la nomenclatura CORINE a nivel 3º (Tabla 6). Los cálculos se han basado en los cambios de uso del suelo de la base de datos CLC2006 en relación a las superficies del año 2000. En cada caso, la superficie de Terreno que permanece como tal durante el periodo 2000 - 2006 es igual a la diferencia entre la superficie total de 2006 y la cantidad de terreno que se transforma en la categoría considerada.

1 SUPERFICIES ARTIFICIALES

1.1. ZONAS URBANAS

1.1.1. Tejido urbano continuo [Urbano]

La mayor parte del suelo está cubierto de estructuras y de la red de transporte. Áreas de edificios, carreteras y superficies artificiales cubren más del 80% de la superficie total.

1.1.2. Tejido urbano discontinuo [Urbano]

La mayor parte del suelo está cubierto de estructuras. Áreas de edificios, carreteras y superficies artificiales se encuentran asociadas a áreas de vegetación y suelos desnudos, los cuales ocupan superficies discontinuas pero significativas.

1.1.2.1. Estructura urbana laxa [Urbano]

Edificación abierta con o sin espacios verdes asociados, tales como calles arboladas o pequeños parques y/o jardines.

1.1.2.2. Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas [Urbano]

Zonas de primera o segunda residencia, fuera de los núcleos urbanos, con espacios verdes.

1.2. ZONAS INDUSTRIALES, COMERCIALES Y DE TRANSPORTES

1.2.1. Zonas industriales o comerciales [Urbano]

Las áreas de superficies artificial (en concreto, asfaltadas, alquitranadas o estabilizadas) sin vegetación, ocupan la mayor parte del área, que también contiene edificios y/o zonas de vegetación.

1.2.2. Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados [Urbano]

Autopistas y vías férreas, incluyendo las instalaciones asociadas (estaciones, plataformas y terraplenes). Anchura mínima para ser incluidas: 100 m.

1.2.2.1. Autopistas, autovías y Terrenos asociados [Urbano]

1.2.2.2. Complejos ferroviarios [Urbano]

1.2.3. Zonas portuarias [Urbano]

Infraestructuras de áreas portuarias, incluyendo muelles, astilleros y puertos deportivos.

1.2.4. Aeropuertos [Urbano]

Instalaciones de aeropuertos: pistas, edificios y terrenos asociados

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

1.3. ZONAS DE EXTRACCIÓN MINERA, VERTEDEROS Y ZONAS EN CONSTRUCCIÓN

1.3.1. Zonas de extracción minera [Urbano]

Áreas de extracción a cielo abierto de materiales de construcción (minas de arena, canteras) u otros minerales. Incluye graveras inundadas, excepto extracción de los lechos de los ríos.

1.3.2. Escombreras y vertederos [Urbano]

Escombreras y vertederos públicos, industriales o minerales.

1.3.3. Zonas en construcción [Urbano]

Espacios en construcción, excavaciones de suelo o roca firme, movimientos de tierra.

1.4. ZONAS VERDES ARTIFICIALES, NO AGRÍCOLAS

1.4.1. Zonas verdes urbanas [Urbano]

Áreas con vegetación dentro de zonas urbanas, incluye parques y cementerios con vegetación, y mansiones con sus Terrenos.

1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas [Urbano]

Campings, terrenos deportivos, parques de ocio, campos de golf, hipódromos, etc. Incluye parques tradicionales no rodeados por zonas urbanas.

2. ZONAS AGRÍCOLAS

2.1. TIERRAS DE LABOR

2.1.1. Tierras de labor en secano [Cultivos anuales]

Cereales, leguminosas, forrajes, tubérculos y tierras en barbecho. Incluye flores y frutales (viveros) y verduras, a cielo abierto, bajo plástico o vidrio (incluye horticultura). Plantas aromáticas, medicinales o culinarias. No incluye pastos permanentes.

2.1.2. Terrenos regados permanentemente

Cultivos regados permanente o periódicamente, usando una infraestructura permanente (canales de riego, redes de drenaje). La mayoría de estos cultivos no pueden cultivarse sin un aporte artificial de agua. No incluye tierras regadas esporádicamente.

2.1.2.1. Cultivos herbáceos en regadío [Cultivos anuales]

Comprende los cultivos puros, mezclas y asociaciones.

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

2.1.2.2. Otras zonas de irrigación [Cultivos anuales]

Esencialmente los cultivos bajo plástico que sean identificables.

2.1.3. Arrozales [Cultivos anuales]

Terrenos preparados para el cultivo de arroz. Superficies llanas con canales de riego. Superficies inundadas periódicamente.

2.2. CULTIVOS PERMANENTES

2.2.1. Viñedos [Cultivos arbóreos]

Áreas plantadas con viñas.

2.2.2. Frutales [Cultivos arbóreos]

Parcelas plantadas con árboles frutales o arbustos: especies frutales simples o mezcladas, árboles frutales asociados con superficies de pastos permanentes. Incluye castaños y nogales.

2.2.2.1. Frutales en secano [Cultivos arbóreos]

2.2.2.2. Frutales en regadío [Cultivos arbóreos]

Los frutales en regadío que no sean plantaciones puras de cítricos o tropicales, se asignarán al 2.2.2.2.3.

2.2.2.2.1. Cítricos [Cultivos arbóreos]

2.2.2.2.2. Frutales tropicales [Cultivos arbóreos]

2.2.2.2.3. Otros frutales en regadío [Cultivos arbóreos]

2.2.3. Olivares [Cultivos arbóreos]

2.3. PRADERAS

2.3.1. Praderas [Pastizales]

Cubierta herbácea tupida, de composición floral, dominada por gramíneas, nunca bajo un sistema de rotación. Principalmente para pastoreo, pero el forraje puede ser recogido mecánicamente. Incluye áreas con setos ("bocage").

2.4. ZONAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS

2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes [Cultivos arbóreos]

Cultivos no permanentes asociados con cultivos permanentes en la misma parcela.

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

2.4.2. Mosaico de cultivos

Yuxtaposición de pequeñas parcelas de diversos cultivos anuales, pastos y/o cultivos permanentes.

2.4.2.1. Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales [Cultivos anuales]

2.4.2.2. Mosaico de cultivos permanentes [Cultivos arbóreos]

Cuando no haya dominancia clara de ninguno de ellos y sea imposible su asignación a cualquiera de los niveles de la categoría 2.2. Esencialmente son asociaciones de viñedo y olivar o mezclas o asociaciones de cualquiera de estas dos categorías con otros cultivos permanentes.

2.4.2.3. Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes [Cultivos arbóreos]

2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural

Áreas principalmente ocupadas por la agricultura, entremezcladas con espacios significativos de vegetación natural.

2.4.4. Sistemas agroforestales [Forestal]

3. ZONAS FORESTALES CON VEGETACIÓN NATURAL Y ESPACIOS ABIERTOS

3.1. BOSQUES

3.1.1. Bosques de frondosas [Forestal]

Formación vegetal compuesta principalmente de árboles, incluyendo arbustos y matorrales bajo la cubierta arbórea, donde predominan las especies frondosas.

3.1.1.1. Perennifolias y quejigales [Forestal]

3.1.1.1.1. Perennifolias esclerófilas y quejigales [Forestal]

*Superficies arboladas de frondosas, cuyas especies dominantes conservan su follaje durante todo el año. Se incluye el quejigo (*Quercus faginea* Lam., *Quercus canariensis* Willd.).*

3.1.1.1.2. Laurisilva macaronésica [Forestal]

Formación perennifolia y pluriespecífica constituida esencialmente por árboles de las lauráceas.

3.1.1.2. Caducifolias y rebollares [Forestal]

Superficies arboladas de frondosas formadas por especies que pierden las hojas al comienzo de la estación desfavorable.

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

3.1.1.3. Otras frondosas de plantación [Forestal]

Las repoblaciones masivas con especies exóticas (eucaliptos australianos, chopos de hibridación, etc.) destinadas a la producción maderera.

3.1.2. Bosques de coníferas [Forestal]

Formación vegetal compuesta principalmente por árboles, incluyendo arbustos y matorrales bajo la cubierta arbórea, donde predominan las coníferas.

3.1.2.1. Pináceas [Forestal]

Incluye todas las especies del género Pinus y los abetos (Abies alba Mill.).

3.1.2.2. Sabinares y enebrales [Forestal]

Se incluyen cuando adquieren el suficiente desarrollo y densidad como para poder ser consideradas formaciones boscosas.

3.1.3. Bosque mixto [Forestal]

Formación vegetal compuesta principalmente por árboles, incluyendo arbustos y matorrales, donde no predominan ni las especies frondosas ni las coníferas.

3.2. ESPACIOS DE VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y/O HERBÁCEA**3.2.1. Pastizales naturales**

Pastos de baja productividad. A menudo situados en áreas de terreno accidentado, desigual. Frecuentemente incluye áreas rocosas, zarzas y brezales.

3.2.1.1. Pastizales supraforestales [Forestal]

Herbazales alpinos o culminícolas que se desarrollan en altitud en las zonas donde desaparece el bosque. Junto con los matorrales se desarrollan formaciones de camefitos o nanofanerofitos.

3.2.1.2. Otros pastizales [Pastizal]

Principalmente pastos extensivos, característicos (en esencia) de climas secos subhúmedos, semiáridos y áridos; poblados por especies herbáceas espontáneas. Pueden tener arbolado con una cubierta inferior al 5% o matorral que ocupe menos del 20% de la superficie.

3.2.2. Landas y matorrales [Forestal]

Vegetación con cubierta baja y cerrada, dominada por arbustos, matorrales y plantas herbáceas (brezo, zarzas, retama, aulaga, codeso, etc.).

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

3.2.2.1. Landas y matorrales templado oceánicos [Forestal]

Las especies más representativas son de las familias de las ericáceas, papilionáceas o fabáceas; acompañadas a menudo por diferentes herbáceas.

3.2.2.2. Fayal-brezal macaronésico [Forestal]

Formaciones arbustivas propias de las Islas Canarias.

3.2.3. Vegetación esclerófila [Forestal]

Vegetación esclerófila arbustiva, incluye maquis y garriga.

3.2.3.1. Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso [Forestal]

Habitualmente la densidad de la cobertura es elevada (superior al 50%) con un porte medio o bajo y espeso, donde pueden aparecer algunas especies con una altura superior a 0,6 m.

3.2.3.2. Matorrales subarbusivos o arbustivos muy poco densos [Forestal]

Densidad de cobertura inferior al 50%. Aparición de claros, arbustos de poco porte y presencia de formaciones subarbusivas (lavandulares, tomillares, etc.).

3.2.3.3. Matorrales xerófilos macaronésicos [Forestal]

Desde un punto de vista altitudinal son las especies del piso basal, hasta 400 ó 500 m de altitud como máximo. Son arbustos de plantas crasas, muchas veces sin hojas.

3.2.4. Matorral boscoso de transición [Forestal]

Vegetación arbustiva o herbácea con árboles dispersos. Puede resultar de la degradación del bosque o de la regeneración/colonización forestal.

3.3. ESPACIOS ABIERTOS CON POCA O NINGUNA VEGETACIÓN

3.3.1. Playas, dunas y arenales [Otros usos]

Playas, dunas y extensiones de arena o cantos rodados en la costa o en el interior, incluyendo lechos de corrientes con régimen torrencial.

3.3.2. Roquedos [Otros usos]

Canchales, acantilados, afloramientos de rocas, incluyendo erosión activa, llanos de rocas y arrecifes situados por encima del nivel del mar.

3.3.2.1. Rocas desnudas con fuerte pendiente (acantilados, etc.) [Otros usos]

3.3.2.2. Suelos desnudos [Otros usos]

3.3.2.3. Coladas lávicas cuaternarias (malpaís) [Otros usos]

3.3.3. Espacios con vegetación escasa [Otros usos]

Incluye estepas, tundra y tierras baldías. Vegetación de gran altura dispersa.

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

3.3.3.1. Xeroestepa subdesértica [Otros usos]

Zona con vegetación muy escasa debido a condiciones climáticas extremas, posiblemente asociadas a procesos de erosión del suelo. Se incluyen los espartizales.

3.3.3.2. Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión [Otros usos]

Zonas de erosión donde la práctica ausencia de cubierta vegetal provoca la creación de una sucesión de crestas y regueros estrechos.

3.3.3.3. Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa [Otros usos]

Comprende el piso supraforestal en el que ya desaparece la vegetación herbácea, para dejar paso a determinadas especies rupícolas, algunos matorrales muy degradados y vegetación de tundra.

3.3.4. Zonas quemadas [Forestal]. Áreas afectadas por incendios recientes, aún no recuperadas.**3.3.5. Glaciares y nieves permanentes [Forestal]**

Terrenos cubiertos por glaciares o nieves permanentes.

4. ZONAS HÚMEDAS**4.1. ZONAS HÚMEDAS CONTINENTALES****4.1.1. Humedales y zonas pantanosas [Humedal]**

Tierras bajas inundadas en invierno, y más o menos saturadas de agua el resto del año.

4.1.2. Turberas [Humedal]

Terrenos de turba compuesta principalmente por musgo y materia vegetal descompuestos. Puede estar explotada o no.

4.2. ZONAS HÚMEDAS LITORALES**4.2.1. Marismas [Humedal]**

Zonas bajas con vegetación sobre la línea de marea alta, susceptibles de ser inundadas por el mar

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

4.2.2. Salinas [Humedal]

Salinas activas o en proceso de abandono. Sectores de marismas explotadas para la producción de sal por evaporación.

4.2.3. Zonas llanas intermareales [Humedal]

Extensiones sin vegetación de lodo, arena o roca entre las líneas de marea alta y baja.

5. SUPERFICIES DE AGUA

5.1. AGUAS CONTINENTALES

5.1.1. Cursos de agua [Humedal]

Cursos de agua naturales o artificiales que sirven como canales de drenaje de agua. Incluye canales.

5.1.1.1. Ríos y cauces naturales [Humedal]

5.1.1.2. Canales artificiales [Humedal]

5.1.2. Láminas de agua [Humedal]

Extensiones de aguas naturales o artificiales.

5.1.2.1. Lagos y lagunas [Humedal]

5.1.2.2. Embalses [Humedal]

5.2. AGUAS MARINAS

5.2.1. Lagunas costeras [Humedal]

Extensiones de agua salada o salobre en zonas costeras, separadas del mar por una lengua de tierra u otra topografía similar, que pueden estar conectadas con el mar.

5.2.2. Estuarios [Humedal]

Desembocadura de un río dentro de la cual la marea fluye y refluye.

5.2.3. Mares y océanos [Humedal]

Zona mar adentro a partir del límite de la marea baja.

Cuadro 2. Nomenclatura de CORINE Land Cover al Nivel 5º (CLC90). Entre corchetes se indica la categoría de uso asignada.

Tabla 5a. Categorías de usos del Terreno en Extremadura en los años 1990 y 2000, expresadas en hectáreas.

Código y denominación		Categoría <i>AFOLU</i>	1990 <i>ha</i>	2000 <i>ha</i>
24300	Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	Forestal	59.479,3	60.165,5
24400	Sistemas agroforestales	Forestal	1.006.460,9	1.039.164,5
31111	Perennifolias esclerófilas y quejigales	Forestal	124.107,9	112.428,7
31120	Caducifolias y rebollares	Forestal	51.859,3	54.829,4
31130	Otras frondosas de plantación	Forestal	82.975,5	76.389,4
31210	Pináceas	Forestal	76.195,7	77.801,0
31300	Bosque mixto	Forestal	3.898,8	4.583,7
32110	Pastizales supraforestales	Forestal	8.328,2	7.111,7
32310	Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	Forestal	210.825,1	190.824,0
32320	Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos	Forestal	291.415,1	278.388,5
32400	Matorral boscoso de transición	Forestal	308.263,2	306.802,3
33400	Zonas quemadas	Forestal	12.538,8	1.100,4
21100	Tierras de labor en secano	Cultivos	610.162,5	578.650,1
21210	Cultivos herbáceos en regadío	Cultivos	196.988,1	205.382,2
21300	Arrozales	Cultivos	14.517,0	27.778,4
22100	Viñedos	Cultivos	55.618,2	56.680,6
22210	Frutales en secano	Cultivos	9.702,5	9.567,3
22221	Cítricos	Cultivos	31,4	31,4
22223	Otros frutales en regadío	Cultivos	5.354,2	7.094,4
22300	Olivares	Cultivos	173.417,0	175.566,8
24100	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	Cultivos	1.522,9	1.512,0

Tabla 5b. Categorías de usos del Terreno en Extremadura en los años 1990 y 2000, expresadas en hectáreas.

Código y denominación		Categoría <i>AFOLU</i>	1990 <i>ha</i>	2000 <i>ha</i>
24210	Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales	Cultivos	27.445,7	26.890,6
24220	Mosaico de cultivos permanentes	Cultivos	61.952,6	60.841,0
24230	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes	Cultivos	58.199,8	59.084,8
23100	Praderas	Pastizal	2.712,5	2.823,8
32120	Otros pastizales	Pastizal	626.821,4	634.906,2
51110	Ríos y cauces naturales	Humedal	6.365,1	6.382,7
51220	Embalses	Humedal	45.962,1	63.253,5
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados	Urbano	0,0	2.445,9
13200	Escombreras y vertederos	Urbano	0,0	214,0
11100	Tejido urbano continuo	Urbano	15.668,8	16.188,7
11210	Estructura urbana laxa	Urbano	739,5	1.784,9
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	Urbano	2.578,0	3.174,6
12100	Zonas industriales o comerciales	Urbano	1.727,8	3.600,9
12400	Aeropuertos	Urbano	412,1	412,1
13100	Zonas de extracción minera	Urbano	1.351,2	2.320,7
13300	Zonas en construcción	Urbano	722,2	54,4
14200	Instalaciones deportivas y recreativas	Urbano	107,6	281,6
33200	Afloramientos rocosos y chancales	Otros	61,0	61,0
33100	Playas, dunas y arenales	Otros	63,5	0,0
33200	Rocas desnudas con fuerte pendiente	Otros	324,0	324,0
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	Otros	10.400,3	10.379,2
TOTAL (hectáreas)			4.167.277,0	4.167.277,0

Tabla 6a. Categorías de Terreno en Extremadura en el año 2006. 2006* se refiere los Terrenos que permanecen como tales en el período 2000-2006.

Denominación (CORINE)	2006 ha	2006* ha
Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	60.052,68	60.052,68
Sistemas agroforestales	1.037.211,39	1.037.118,82
Perennifolias esclerófilas y quejigales	239.928,50	239.388,34
Pináceas	77.770,31	77.770,31
Bosque mixto	4.583,70	4.583,70
Pastizales supraforestales	7.111,70	7.111,70
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	462.222,56	461.646,31
Matorral boscoso de transición	305.538,41	304.607,03
Zonas quemadas	1.122,02	1.052,61
FORESTAL TOTAL	2.195.541,27	2.193.331,60
Tierras de labor en secano	576.810,60	576.121,33
Terrenos regados permanentemente	206.041,46	204.913,43
Arrozales	28.268,33	27.714,77
Mosaico de cultivos anuales con pastizales	26.890,60	26.890,60
CULTIVO ANUAL TOTAL	838.011,00	835.640,13
Viñedos	57.995,27	56.507,35
Frutales	16.765,50	16.605,16
Olivares	175.768,20	175.499,35
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	1.494,33	1.494,33
Mosaico de cultivos permanentes	119.760,33	119.712,54
CULTIVO ARBÓREO TOTAL	371.783,63	369.818,74
Praderas	9.879,91	2.814,95
Otros pastizales	637.044,00	631.187,92
Pastizal total	646.923,91	634.002,87
Ríos	6.229,08	6.100,89
Embalses	65.059,94	63.253,50

Tabla 6b. Categorías de Terreno en Extremadura en el año 2006. 2006* se refiere los Terrenos que permanecen como tales en el período 2000-2006.

Denominación (CORINE)	2006 ha	2006* ha
HUMEDAL TOTAL	71.289,02	69.354,39
Tejido urbano continuo	16.289,30	16.188,70
Tejido urbano discontinuo	5.180,59	4.959,50
Zonas industriales o comerciales	4.094,40	3.600,90
Redes viarias y ferroviarias	2.517,84	2.445,90
Aeropuertos	412,10	412,10
Zonas de extracción minera	2.933,11	2.023,51
Escombreras y vertederos	220,27	214,00
Zonas en construcción	1.001,79	54,42
Instalaciones deportivas y recreativas	404,97	281,60
TERRENOS URBANOS TOTAL	33.054,38	30.180,63
Roquedos	385,00	385,00
Espacios con vegetación escasa	10.288,75	10.252,64
OTROS TERRENOS TOTAL	10.673,75	10.637,64

Con los datos recogidos en las Tablas 5 y 6 se calculan las superficies totales asignadas a cada una de las categorías de Terrenos consideradas en las *Directrices del IPCC* (Tabla 7).

Tabla 7. Categorías de usos del Terreno en Extremadura en los años 1990, 2000 y 2006.

AFOLU	1990 ha	2000 ha	2006 ha
Forestal	2.236.374,8	2.209.589,2	2.195.541,3
Cultivo	1.214.912,1	1.209.079,6	1.209.794,6
Pastizal	629.534,0	637.730,0	646.923,9
Humedal	52.327,2	69.636,2	71.289,0
Urbano	23.307,3	30.477,8	33.054,4
Otros	10.848,8	10.764,2	10.673,8

En términos generales, puede decirse que Extremadura es una de las comunidades nacionales con mayor extensión Forestal en porcentaje de superficie total (53%), incluyéndose dentro de esta categoría la dehesa, elemento distintivo del paisaje rural extremeño. La segunda categoría en extensión corresponde a los Cultivos (29%) y aproximadamente el 15% está ocupado por Pastizales. Otro elemento característico es que el 90% de los Humedales corresponden a embalses. Si bien el porcentaje de Terrenos Urbanos es considerablemente menor que la media nacional, el aumento relativo es considerable (42%).

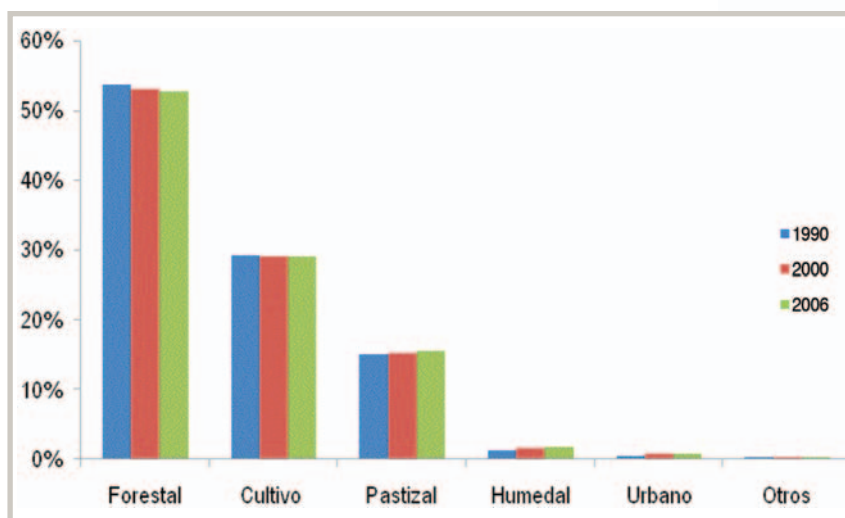


Figura 3. Porcentaje de superficie ocupada por cada categoría de usos de suelo.

Como se ha comentado, el concepto de Terreno Forestal considerado en el presente documento se corresponde con el definido en la Séptima Conferencia de las Partes, celebrada en Marrakech, en el año 2001. Sin embargo, a nivel nacional, la superficie forestal de un determinado territorio generalmente hace referencia a todas las categorías de terreno incluidas en los Inventarios Forestales Nacionales (IFN). En concreto, estos inventarios consideran que la superficie forestal española está integrada por:

- Montes arbolados
 - Montes arbolados no adehesados
 - Bosques adehesados
 - Montes arbolados ralos y dispersos
- Montes desarbolados

En el capítulo correspondiente a los Terrenos Forestales se profundizará en el porqué de estas diferencias de criterios. Sin embargo debe señalarse que, de acuerdo con los IFN, la superficie forestal de Extremadura es superior a la mostrada en la Tabla 7. En el periodo comprendido entre el *IFN 2* y el *IFN 3* la superficie forestal extremeña se ha incrementado un 10%, pasando de representar el 55% de la superficie total regional en 1990 a suponer el 65% de este territorio.

Tabla 8. Superficie forestal de Extremadura según los Inventario Forestales Nacionales (Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino).

	<i>IFN 2 (año 1990)</i>	<i>IFN 3 (año 2001)</i>
	<i>ha</i>	<i>ha</i>
Monte arbolado no adehesado	293.656	783.838
Bosque adehesado	1.041.688	1.035.976
Monte arbolado ralo y disperso	122.246	101.436
Total monte arbolado	1.457.591	1.921.250
Monte desarbolado	820.977	805.982
Total de uso forestal	2.278.587	2.727.233

2.4. SUELOS DE EXTREMADURA

El *Mapa de Suelos de Extremadura* representa la distribución de los principales tipos de suelo según la clasificación propuesta por la FAO (Figura 4).

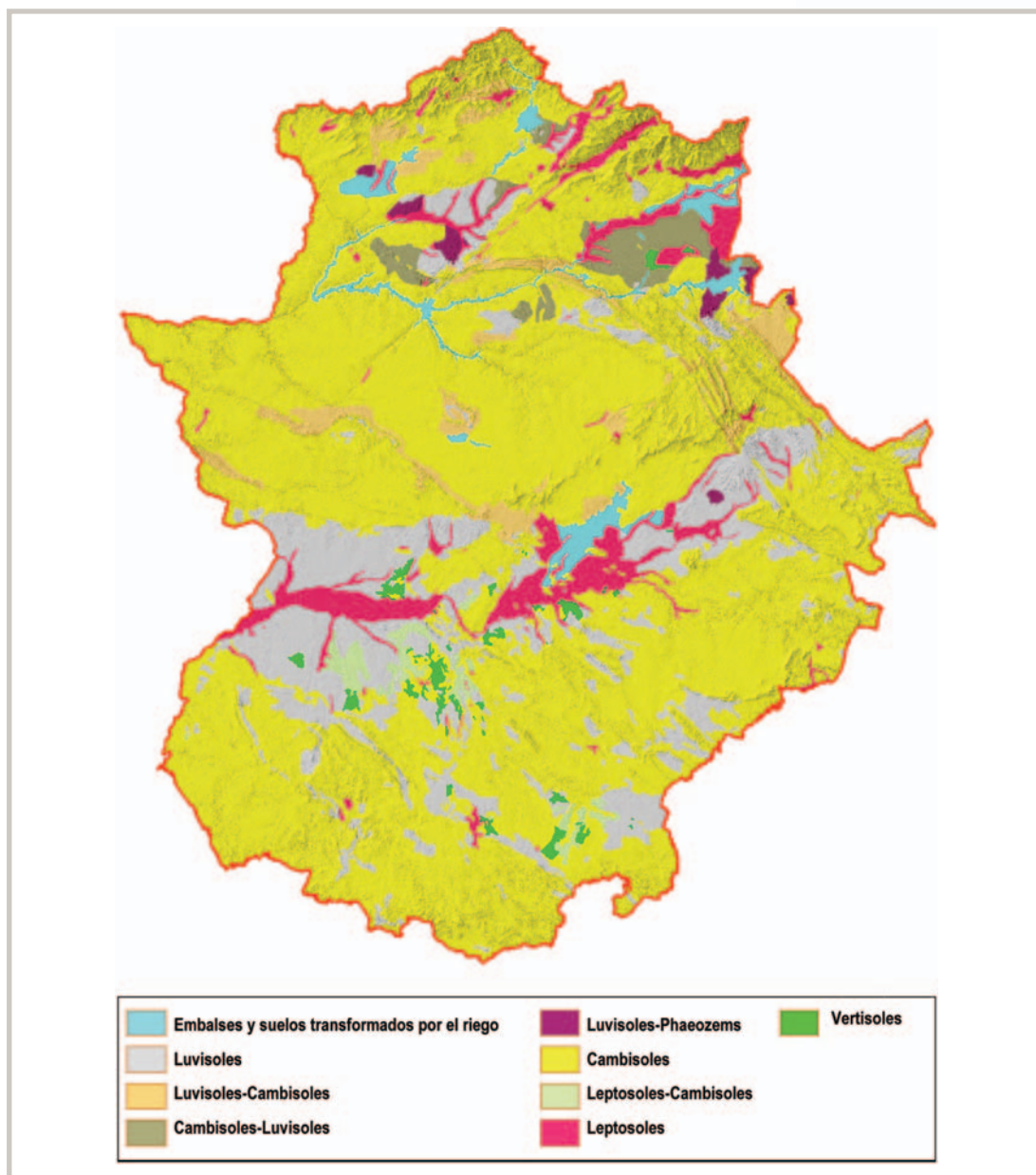


Figura 4. Distribución de los diferentes tipos de suelos con representación en Extremadura (Dirección General del Medio Natural de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente).

Los cambisoles representan más del 50% de los suelos de Extremadura (Figura 5); le siguen en importancia los luvisoles, acrisoles, fluvisoles y leptosoles; el resto de tipos de suelo presentes en Extremadura ocupan un porcentaje del total de suelo igual o inferior al 1%.

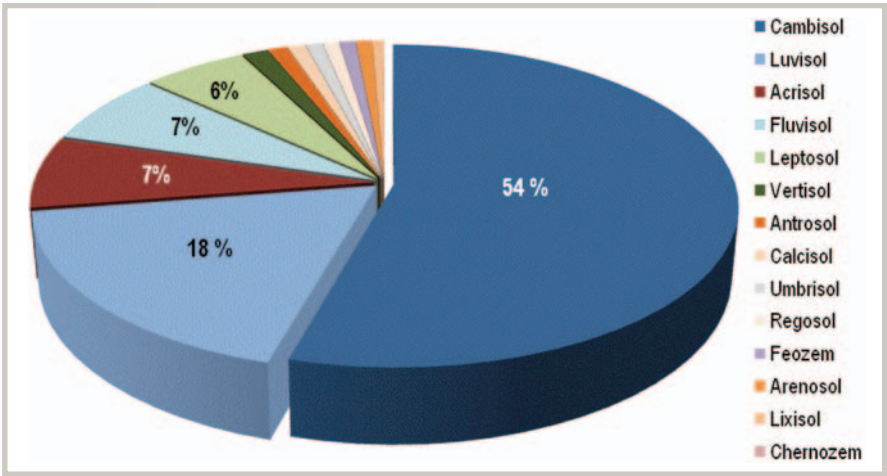


Figura 5. Tipos de suelos con representación en Extremadura.

Las características de estas clases y tipos de suelos son los siguientes (García Navarro y López Piñeiro, 2002):

A. Suelos poco evolucionados o indiferenciados

A.1. **Leptosoles.** Son suelos de poco espesor o débilmente desarrollados. Se encuentran en las sierras ácidas del norte de Cáceres y sur de Badajoz.

A.2. **Regosoles.** Suelos originados a partir de material suelto sobre una roca consolidada, localizados entre Olivenza y Portugal, y sobre la margen derecha del Guadiana.

A.3. **Arenosoles.** Suelos desarrollados muy poco evolucionados sobre arenas. Están presentes en la margen izquierda del Guadiana.

A.4. **Umbrisoles.** Formados por un horizonte superficial grueso, desaturado de bases, oscuro y rico en materia orgánica.

A.5. Fluvisoles. Formados sobre depósitos recientes de sedimentos y llanuras de inundación, están situados en los estrechos valles de los pequeños ríos y arroyos, y en las terrazas bajas de los ríos más antiguos. Así, en Cáceres se encuentran en la depresión del valle del río Alagón, con sus afluentes Arrago, Jerte y Ambroz, y en el río Tietar; y en Badajoz en el amplio valle del Guadiana.

A.6. Vertisoles. Suelos con movimientos internos ricos en arcillas hinchables (más de un 30% de arcilla en todos los horizontes), que provocan la aparición de grandes grietas en el periodo seco. Sólo están presentes de forma extensa en Almendralejo, Bienvenida, Berlanga y Don Benito.

B. Suelos con predominio de alteración (Cambisoles)

Son los suelos más significativos en el conjunto de Extremadura, encontrándose en más del 50% de la superficie de la región.

B.1. Dísticos. Aparecen normalmente sobre granitos o pizarras, en altura inferiores a 600 m; en zonas de pendiente se encuentran entre enormes berrocales graníticos; sobre pizarras cubren la penillanura Paleozoica cacereña (entre la sierra de Gata y los montes de Toledo). Están muy extendidos en las comarcas de Alcántara, Cáceres, Trujillo, Valencia de Alcántara, Jerez de los Caballeros, Quintana de la Serena, etc., sobre granitos; y desde la frontera portuguesa hasta Arroyo de la Luz, Sierra de Montánchez, Navalmoral de la Mata, Azuaga, Fuente de Cantos, Herrera del Duque, etc., asentados sobre pizarras.

B.2. Húmicos. Pueden encontrarse sobre granitos y rocas afines. Son suelos que presentan una profundidad variable debido a frecuentes cambios de relieve y orientación, lo que a su vez modifica el clima local y la vegetación. Se distribuyen en la provincia de Cáceres, entre Plasencia y Arenas de San Pedro (Ávila), en la Vera, laderas de las sierras de Gredos, Béjar y Gata. En la provincia de Badajoz son menos abundantes, hallándose manchas en su extremo occidental y en Sierra Morena.

B.3. Eútricos. Se hallan sobre materiales básicos como las diabasas existentes entre el Valle del Jerte y la Sierra del Aljibe.

B.4. Crómicos. Existen pequeñas manchas especialmente al sur de los montes de Toledo, en las proximidades de rocas silíceas, en Aliseda, y en contacto con sedimentos de gravas, en Talaván.

C. Suelos con movilización de arcilla

C.1. Acrisoles. Suelos con horizonte B árgico con una capacidad de intercambio catiónico inferior a 24 cmol kg⁻¹ y un grado de saturación inferior al 50%.

C.2. Lixisoles. Suelos con horizonte B árgico con una capacidad de intercambio catiónico inferior a 24 cmol kg^{-1} y un grado de saturación superior al 50%. Ocupan una gran extensión en la parte central y sudeste de la provincia de Badajoz, localizados en mesetas llanas y abiertas. En la provincia de Cáceres se encuentran en abundantes manchas pequeñas al oeste de Talaván, alrededores de Riobos y al sur de la Sierra de Guadalupe.

C.3. Luvisoles. Suelos con acumulación de arcilla, con una capacidad de intercambio catiónico superior a 24 cmol kg^{-1} . Se encuentran en las zonas resguardadas de la erosión o en valles rellenos por la acción coluvial, estando muy escasamente representados en la provincia de Cáceres, sólo al sur de Navalmoral de la Mata, y apareciendo en Badajoz en la Tierra de Barros, llanos de Llerena, Lobón y sur de Badajoz.

D. Suelos cálcicos

D.1. Calcisoles. Suelos que se caracterizan por tener un horizonte cálcico o acumulaciones de carbonato cálcico (o cálcico y magnésico) originado en el propio suelo o acumulado por disolución y reprecipitación del que estaba presente en el material original.

E. Suelos con acumulación de materia orgánica

E.1. Feozems. Suelos con un horizonte móllico, grado de saturación superior al 50% y sin acumulación de carbonatos.

F. Suelos condicionados por influencias antrópicas

F.1. Antrosoles. Están profundamente modificados por el hombre al encontrarse en las zonas de mayor desarrollo agrícola de ambas provincias.

A efectos de cómputo de la variación de las reservas de carbono en el suelo, las *Directrices del IPCC* proponen estimar por separado la fracción orgánica de los suelos minerales y los suelos orgánicos. Aunque se apunta la necesidad de desarrollar procedimientos analíticos para los suelos que distingan entre las fracciones orgánicas e inorgánicas, la *GBP 2003* no examina el depósito de carbono en suelos inorgánicos, como tampoco se hace en el presente inventario.

En el caso de Extremadura, los suelos orgánicos están únicamente representados por los Feozems, que ocupan menos del 1% de la superficie de la región. De esta forma, en el presente inventario se asumirá que todo el territorio se asienta sobre suelos minerales y los cambios de categorías de terrenos afectarán, por lo tanto, a suelos minerales.

A pesar de que el contenido total de carbono orgánico en los suelos ha sido objeto de numerosas investigaciones, es importante destacar la necesidad de desarrollar programas de trabajo que ofrezcan datos más ajustados a la cantidad de carbono orgánico real almacenado en los distintos tipos de suelo, incluyendo la variabilidad espacial presente en el mismo y el conjunto de factores que determinan su concentración (Jones *et al.*, 2004).

Se estima que el contenido total de carbono en los suelos peninsulares españoles es 3,7 Pg C, lo que equivale a 7,6 kg C m⁻² (Rodríguez Murillo, 2001). Sin embargo, existe una sustancial varianza, del orden del 70%, para cada tipo de uso del suelo y tipo edáfico.

A nivel europeo ha comenzado a experimentarse con programas que generan mapas precisos del contenido de carbono en el suelo. Un resultado interesante sobre las variables que influyen en el contenido de carbono orgánico del suelo, es la correlación negativa entre el grado de erosión que ofrece la aproximación PESERA (Kirkby *et al.*, 2004) y el contenido de materia orgánica (Figura 6).

La similitud entre ambas figuras indica la vinculación que existe entre el contenido de carbono y el grado de erosión; asimismo, se pone de manifiesto el importante nivel de degradación de los suelos españoles. En este sentido, los bajos niveles de contenido de materia orgánica de nuestros suelos deben considerarse como un factor clave para la conservación del medio edáfico y para el mantenimiento de las condiciones de fertilidad.

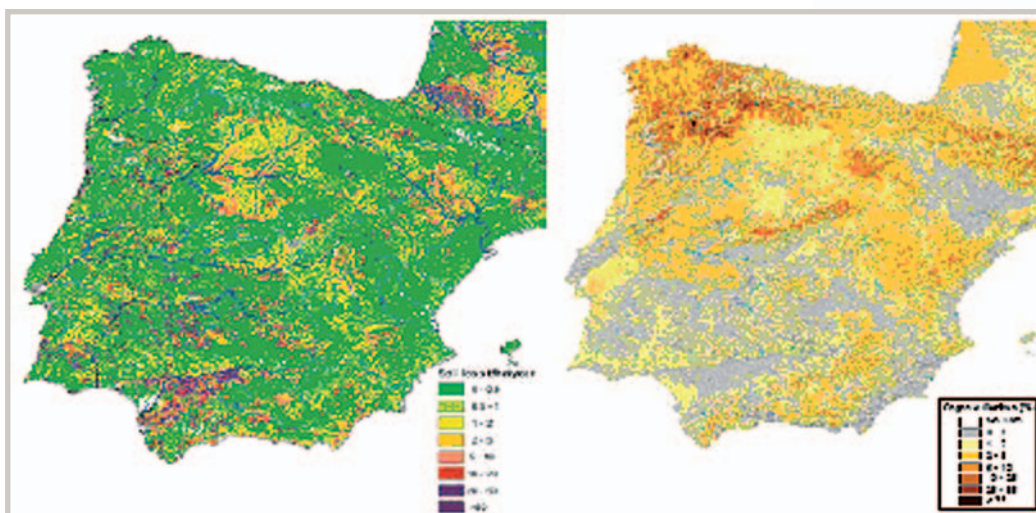


Figura 6. Erosión del suelo estimada por el Programa PESERA (derecha) (Kirkby *et al.*, 2004), comparada con el contenido de carbono orgánico en la capa superior del suelo (izquierda) (Jones *et al.*, 2003 y 2004).

3. RESULTADOS

A. TERRENOS FORESTALES

A nivel global, los bosques contienen más de la mitad del carbono presente en la vegetación terrestre y en el suelo, estimándose su cuantía en 1.200 Gt de carbono (Dixon *et al.*, 1994). El carbono almacenado en el suelo y en los residuos vegetales de los ecosistemas forestales constituye otra parte importante de las reservas totales de carbono. A escala mundial, el carbono del suelo representa más de la mitad del carbono almacenado en los bosques.

Sin embargo, la participación de la biomasa y del suelo de los ecosistemas forestales como sumideros de carbono, depende fundamentalmente del efecto de la temperatura en los índices relativos de producción y descomposición de la materia orgánica (Dixon *et al.*, 1994). Entre el 80 y el 90 por ciento del carbono existente en los ecosistemas boreales se encuentra almacenado en forma de materia orgánica del suelo, en tanto que en los bosques tropicales se encuentra distribuido en partes iguales entre la vegetación y el suelo (Tabla 9). En las latitudes altas la materia orgánica del suelo se acumula porque se produce a mayor velocidad que a la que se puede descomponer. En cambio, en las latitudes bajas, las temperaturas más cálidas provocan la rápida descomposición de la materia orgánica del suelo y el reciclado subsiguiente de los nutrientes.

Tabla 9. Existencias de carbono en la biomasa y el los suelos de los distintos ecosistemas forestales.

Ecosistema		Carbono acumulado en la biomasa <i>Gt C</i>	Carbono acumulado en el suelo <i>Gt C</i>	Volumen total de carbono <i>Gt C</i>
Boreal	Federación de Rusia	74	249	323
	Canadá	12	211	223
	Alaska	2	11	13
Templado	Estados Unidos	15	26	41
	Europa	9	25	34
	China	17	16	33
	Australia	18	33	51
Tropical	Asia	41-54	43	84-97
	África	52	63	115
	América	119	110	229

Se han comentado con anterioridad los diferentes criterios considerados a la hora de definir los Terrenos Forestales. De esta forma, de acuerdo con las *Directrices del IPCC*, los Terrenos Forestales están constituidos por:

- una superficie mínima de tierras de entre 0,05 y 1 hectáreas, con una cubierta de copas que supere del 10 al 30% y con árboles que puedan alcanzar una altura mínima de entre 2 y 5 metros en su madurez *in situ*.
- las plantaciones jóvenes que aún no han alcanzado una fracción de cabida cubierta (FCC) de entre el 10% y el 30%, o una altura de los árboles de entre 2 y 5 m.
- las superficies que normalmente forman parte de la zona boscosa pero carecen temporalmente de población forestal a consecuencia de la intervención humana, por ejemplo de la explotación, o de causas naturales, pero que se espera vuelvan a convertirse en bosque.

En nuestro país, de acuerdo con los *Inventarios Forestales Nacionales*, los Terrenos Forestales engloban las siguientes categorías:

- Superficie forestal arbolada: terreno poblado con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal dominante y cuya fracción de cabida cubierta es superior al 5%. Se compone de:
 - Monte arbolado: terreno con arbolado cuya FCC es igual o superior al 20%
 - Monte arbolado ralo: FCC entre 10 y 20%, incluidos terrenos con especies de matorral o pastizal natural como manifestación vegetal dominante
 - Monte arbolado disperso: terreno ocupado por especies arbóreas como presencia vegetal dominante con una FCC entre 5% y 10. Representa la transición entre el monte arbolado y el monte desarbolado
- Superficie forestal desarbolada: poblada con especies de matorral y/o pastizal natural o con débil intervención humana, con presencia o no de árboles forestales, pero con $FCC < 5\%$.



Fotografía 3. Bosque de frondosas.

A pesar de que en el *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero* se utiliza la superficie estimada en los *Inventarios Forestales Nacionales* de cada provincia para calcular la extensión correspondiente a los Terrenos Forestales, en este caso se ha considerado más apropiado utilizar la base de datos *CORINE* por las razones que se detallan a continuación:

- La comparación entre el *Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional* resulta problemática, principalmente por la aplicación de diferentes metodologías; mientras que en el *IFN2* se tomó como base cartográfica el *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* (años 1977 y 1978 para Badajoz y Cáceres respectivamente), en el *IFN3* se utilizaron los *Mapas Forestales Españoles* (Ministerio de Medio Ambiente, 2001). De esta forma, para ajustar la comparación entre periodos, en el *IFN3* se han incorporado diferentes “Criterios de Experto”¹, que han proporcionado una mayor aproximación a los datos reales.
- En segundo lugar, existe un considerable desfase temporal entre el *IFN2* y el *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos* de cada provincia, que sirve de referencia para el primero, por lo que la superficie atribuida al año de elaboración del inventario no coincide exactamente con la que aparece en el propio *IFN2*.

Esta situación queda parcialmente resuelta en el *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero* donde, para obtener la superficie de cada provincia que correspondería a cada año, se ha dividido la superficie total arbolada de cada *IFN*, tras aplicar los “Criterios de Experto”, entre el tiempo transcurrido entre los mapas utilizados para cada *IFN*. Posteriormente, se calculan las superficies anuales sumando el incremento de superficie anual a la superficie del año anterior (Tabla 10).

Tabla 10. Fechas de elaboración de los mapas utilizados en los *Inventario Forestales Nacionales* y las correspondientes superficies totales arboladas estimadas en los mismos (Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

	IFN2		IFN3		IFN2 vs IFN3	
	Año mapa	Superficie ha	Año mapa	Superficie ha	Δ años mapas	Δ superficie ha año ⁻¹
Badajoz	1977	701.302	2001	891.743	24	7.935,04
Cáceres	1978	756.289	2001	1.029.507	23	11.879,04
Extremadura		1.457.591		1.921.250		19.814,09

¹ Estos ajustes están calculados por J.A. Villanueva Aranguren, responsable del Invenario Forestal Nacional

- Por último, las *Directrices del IPCC* exigen que la superficie estimada para cada categoría de uso del terreno sea representativa, consistente temporalmente, que incluya toda la superficie de la región y que esté claramente definida (Apartado 2.1). Debido a que el resto de categorías se definirán atendiendo a la clasificación del CORINE, será esta base de datos la que sirva de partida para estimar la superficie de Terrenos Forestales. La descripción de cada uno de los tipos de suelo que conforman la base de datos CORINE permite atribuir cada parcela de suelo a una determinada categoría de uso del Terreno, así como considerar diferentes subcategorías.

En consecuencia, las superficies de Terrenos Forestales utilizadas en el presente documento son las de la base de datos CORINE, en tanto que los datos de existencia forestales, biomasa arbórea y caracterización de las especies, proceden de los IFN, que recogen la información estadística sobre el estado y la evolución de los ecosistemas forestales españoles.

En la Ecuación 5 se presenta el algoritmo de estimación de las fijaciones anuales de carbono en los Terrenos Forestales:

$$\Delta CF = (\Delta CF_{BV} + \Delta CF_{MO} + \Delta CF_{Suelos}) \quad \text{Ecuación 5}$$

donde,

ΔCF es el cambio anual de existencias de carbono en Terrenos Forestales ($t\ C\ año^{-1}$)

ΔCF_{BV} es el cambio anual de existencias de carbono en biomasa viva ($t\ C\ año^{-1}$)

ΔCF_{MO} es el cambio anual de existencias de carbono en la materia orgánica muerta ($t\ C\ año^{-1}$)

ΔCF_{Suelos} es el cambio anual en existencias de carbono en suelos ($t\ C\ año^{-1}$)

Como se comentó en el apartado de metodología, para la materia orgánica muerta se toman los valores que por defecto establece el *GBP 2003* (Nivel 1), esto es, se considera cero.

A.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva

La determinación de los usos del suelo y cambios en los usos de suelo servirá como base para establecer los cambios en los reservorios de carbono. Con tal finalidad, cada categoría de Terreno se dividirá en función del periodo de tiempo que permanece en esta categoría durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990-2000 y 2000-2006.

A.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos Forestales que permanecen como Forestales (ΔC_{FF})

En este apartado se ha seguido el procedimiento descrito en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, basado en los datos del Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional (MARM).

Siguiendo el “método por defecto” (Ecuación 1), los cambios de carbono en la biomasa se estiman como la diferencia entre las ganancias por crecimiento vegetativo y las pérdidas por cortas y perturbaciones.

A.1.1.1. Incremento de carbono por crecimiento de la biomasa (ΔC_{FFBV})

La Ecuación 6 se emplea para el cálculo de los cambios de carbono asociados al crecimiento de la biomasa

$$\Delta C_{FFBV} = \sum_i (A_i \cdot G_{TOTALi}) \cdot CF \quad \text{Ecuación 6}$$

donde,

ΔC_{FFBV} es el incremento anual de carbono por crecimiento de la biomasa ($t \text{ C año}^{-1}$)

A_i es el área de Terreno Forestal que se mantiene como Forestal (ha)

G_{TOTAL} es el coeficiente de incremento anual de la biomasa total referido a materia seca ($t \text{ ms ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

CF es la fracción de carbono de la materia seca ($0,5 t \text{ C tms}^{-1}$, por defecto para todas las especies leñosas)

La tasa del incremento medio anual de la biomasa (G_{TOTAL}), se obtiene según la Ecuación 7

$$G_{TOTAL} = GW \cdot (1+R) \quad \text{siendo} \quad GW = VCC \cdot D \cdot BEF_1 \quad \text{Ecuación 7}$$

donde,

GW es el incremento anual de la biomasa aérea ($t \text{ ms ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

R es el factor de expansión de raíces (sin dimensión)

VCC es el volumen maderable con corteza ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)
D es la densidad básica de la madera (t ms m^{-3})
BEF₁ es el factor de expansión de biomasa (sin dimensión)

Durante el primer periodo considerado, para obtener la superficie que permanece como Forestal (A_i) se parte de la superficie de Terreno convertida en Forestal entre los años 1990 y 2000. Se supone que la superficie correspondiente al año 1990 (año base del *Protocolo de Kioto*) es íntegramente Terreno Forestal que permanece como Forestal (Tabla 11) y que la superficie de Terreno que permanece como Forestal en el año 2000 es la diferencia entre la superficie total y la superficie transformada en esa categoría de Terreno durante el periodo 1990-2000 (8.823 ha). Esta última superficie se estima a partir de la base de datos CLC2000 y de las relaciones entre la nomenclatura CORINE y AFOLU.

Tabla 11. Superficie total de Terrenos Forestales según la base de datos CORINE, en los años 1990 y 2000.

Código y denominación	1990 ha	2000 ha
24300 Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	59.479,3	60.165,5
24400 Sistemas agroforestales	1.006.460,9	1.039.164,5
31111 Perennifolias esclerófilas y quejigales	124.107,9	112.428,7
31120 Caducifolias y rebollares	51.859,3	54.829,4
31130 Otras frondosas de plantación	82.975,5	76.389,4
31210 Pináceas	76.195,7	77.801,0
31300 Bosque mixto	3.898,8	4.583,7
32110 Pastizales supraforestales	8.328,2	7.111,7
32310 Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	210.825,1	190.824,0
32320 Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos	291.415,1	278.388,5
32400 Matorral boscoso de transición	308.263,2	306.802,3
33400 Zonas quemadas	12.538,8	1.100,4
TOTAL TERRENOS FORESTALES	2.236.347,8	2.209.589,1

El resultado global calculado es que la superficie total de Terreno que permanece como Forestal durante el año 1990 es igual a 2.236.348 ha y el correspondiente al año 2000 es igual a 2.200.766 ha. Durante el periodo considerado, la cantidad de Terreno Forestal que permanece en esta categoría descendió un 1,5 %.



Fotografía 4. Valle de Ambroz (Cáceres).

Para determinar la cantidad de biomasa según la Ecuación 7, el volumen maderable¹ ($VCC, m^3 ha^{-1}$) se extrae de la Tabla 301 de los *IFN2* e *IFN3* correspondientes a las dos provincias extremeñas (Tablas 12 y 13, del presente trabajo). Como se comentó en el apartado de metodología, se utilizan los valores de factor de expansión de biomasa (BEF_1), densidad básica (D) y factor de expansión de raíces (R), calculados por el INIA-EGMASA para las especies frondosas y coníferas presentes en la región. La biomasa total, aérea y subterránea, se obtiene como resultado del producto de la biomasa aérea (Gw) y el factor de expansión de raíces anual (R).

Es importante señalar que el almacenamiento de carbono por parte de la biomasa depende de la composición arbórea del terreno y de la calidad de la estación, encontrándose mayor proporción de carbono en las coníferas que en las frondosas (Ibáñez *et al.*, 2001). Las diferencias están relacionadas con la configuración del fuste y del resto de la parte aérea de cada una de las especies, la distribución diamétrica resultante de los tratamientos selvícolas aplicados y un conocimiento insuficiente de la biomasa subterránea, que podría generar infraestimaciones del sistema radical de algunas especies (Alloze *et al.*, 2007).

¹ El volumen maderable, o volumen con corteza, hace referencia al fuste limpio -desde el tocón hasta la copa o la primera rama principal- medido con corteza, a la altura del pecho.

Tabla 12. Biomasa arbórea (VCC), factores de expansión (BEF₁), densidad (D), factores de expansión de raíces (R) y valor anual de biomasa (G_{TOTAL}) correspondientes al IFN2 para el conjunto Extremadura.

IFN2	VCC <i>m³ ha⁻¹</i>	BEF ₁ <i>t ms m⁻³</i>	D <i>adimensional</i>	R <i>adimensional</i>	G _{TOTAL} <i>t ms ha⁻¹</i>
<i>Quercus ilex</i> L.	11,10	2,90	0,53	0,50	25,59
<i>Quercus suber</i> L.	3,02	2,90	0,53	0,50	6,97
<i>Quercus pirenaica</i> Willd.	2,03	2,90	0,53	0,50	4,67
<i>Quercus faginea</i> Lam.	0,13	2,90	0,53	0,50	0,29
<i>Castanea sativa</i> Miller.	0,79	2,90	0,53	0,50	1,82
<i>Eucalyptus</i> spp.	2,03	2,90	0,53	0,50	4,68
<i>Arbustus unedo</i> L.	0,23	2,90	0,53	0,50	0,54
<i>Alnus glutinosa</i> L.	0,04	2,90	0,53	0,50	0,10
<i>Olea europea</i> Brot.	0,06	2,90	0,53	0,50	0,13
Árboles de ribera	0,12	2,90	0,53	0,50	0,28
Otras frondosas	0,13	2,90	0,53	0,50	0,30
<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	5,58	1,70	0,42	0,30	5,18
<i>Pinus pinea</i> L.	1,00	1,70	0,42	0,30	0,93
<i>Pinus sylvestris</i> L.	0,04	1,70	0,42	0,30	0,04
<i>Juniperus</i> spp.	0,01	1,70	0,42	0,30	0,01
TOTAL					51,52

Tabla 13. Biomasa arbórea (VCC), factores de expansión (BEF₁), densidad (D), factores de expansión de raíces (R) y valor anual de biomasa (G_{TOTAL}) correspondientes al IFN3 para el conjunto Extremadura.

IFN3	VCC <i>m³ ha⁻¹</i>	BEF ₁ <i>t ms m⁻³</i>	D <i>adimensional</i>	R <i>adimensional</i>	G _{TOTAL} <i>t ms ha⁻¹</i>
<i>Quercus ilex</i> L.	15,66	2,90	0,53	0,50	36,09
<i>Quercus suber</i> L.	3,55	2,90	0,53	0,50	8,18
<i>Quercus pirenaica</i> Willd.	2,03	2,90	0,53	0,50	4,67
<i>Castanea sativa</i> Miller.	0,67	2,90	0,53	0,50	1,55
<i>Eucalyptus</i> spp.	1,85	2,90	0,53	0,50	4,27
Árboles de ribera	0,52	2,90	0,53	0,50	1,20
Otras frondosas	0,70	2,90	0,53	0,50	1,62
<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	7,00	1,70	0,42	0,30	6,50
<i>Pinus pinea</i> L.	1,47	1,70	0,42	0,30	1,36
TOTAL					65,44

Los años de elaboración de los *IFN2* e *IFN3* en el caso de las provincias de Badajoz y Cáceres, fueron 1990 y 2001 respectivamente. De esta forma, las cantidades de biomasa calculadas en los dos IFN (Tablas 12 y 13) corresponderán aproximadamente al inicio (1990) y término (2000) del primer periodo analizado. Así, aplicando la Ecuación 6, el producto entre la superficie de Terreno Forestal que sigue siendo Forestal y el **G_{TOTAL}** presente cada año, equivale a la cantidad de materia seca almacenada en este tipo de Terrenos. Multiplicando esta cantidad por la fracción de carbono de la materia seca ($0,5 \text{ t C t ms}^{-1}$), se obtiene el valor anual de existencias de carbono en la biomasa viva de los Terrenos Forestales que siguen siendo forestales (**CFF_{BV}**) en los años 1990 y 2000 (Tabla 14).

Dado que, según las indicaciones del *Protocolo de Kioto*, debe conocerse la capacidad de almacenamiento anual de carbono por parte de los diferentes sumideros, se ha dividido entre 10 la diferencia de **CFF_{BV}** en 1990 y 2000, obteniéndose el incremento anual de existencias de carbono en biomasa viva (**ΔCFF_{BV}**), esto es, la cantidad de carbono que capta anualmente la biomasa de los Terrenos Forestales extremeños que permanecen como tales ($1.305.827 \text{ t C año}^{-1}$).

Tabla 14. Cantidades de biomasa y de carbono acumulados en la biomasa viva de los Terrenos Forestales que siguen siendo Forestales en Extremadura durante el periodo 1990-2000.

Año	G _{TOTAL} t ms ha ⁻¹	A _i ha	Biomasa t ms	CFF _{BV} t C	ΔCFF _{BV} t C año ⁻¹
1990	51,52	2.236.348	115.216.649	57.608.324	1.305.827
2000	64,22	2.200.766	141.333.193	70.666.596	

Respecto al segundo periodo (2000-2006), la superficie de Terreno Forestal que permanece como Forestal en el año 2006 es el resultado de sustraer a la superficie total de Terreno Forestal del año 2000 (2.209.589,1 ha) la cantidad de Terreno que ha sido transformada en otra categoría de uso del suelo (16.257,51 ha) y sumar las hectáreas de nuevos Terrenos Forestales, entre el año 2000 y 2006 (2.209,60 ha). Dado que el CORINE CLC2006 ha sido determinado a nivel 3º, ha sido necesario reagrupar las categorías que aparecen en la Tabla 9 considerando únicamente los tres primeros dígitos del código. El resultado global es que la superficie total de Terreno que permanece como Forestal durante el periodo 2000-2006 es igual a 2.193.331,60 ha (Tabla 15).

Tabla 15. Superficie total de Terrenos Forestales que permanecen como Forestales en el año 2006.

Denominación	2006 ha
Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	60.052,68
Sistemas agroforestales	1.037.118,82
Perennifolias esclerófilas y quejigales	239.388,34
Pináceas	77.770,31
Bosque mixto	4.583,70
Pastizales supraforestales	7.111,70
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	461.646,41
Matorral boscoso de transición	304.607,03
Zonas quemadas	1.052,61
TOTAL	2.193.331,60

Este periodo 2000-2006 se ajusta a la fecha de elaboración del *IFN3*, descartándose ahora las cantidades de biomasa estimadas durante el *IFN2*. Los cambios de carbono asociados al incremento de la biomasa (Ecuación 7) se computan utilizando el incremento anual de volumen con corteza (**IAVC**, $m^3 ha^{-1} año^{-1}$) que aparece en la Tabla 301 del *IFN3* de las provincias de Badajoz y Cáceres (Tabla 12 y 13). Los valores de factor de expansión de biomasa (**BEF₁**), densidad básica (**D**) y factor de expansión de raíces (**R**) son los mismos que se utilizaron en el periodo anterior (Tabla 16).

Tabla 16. Incremento anual de volumen con corteza (IAVC), factores de expansión (BEF₁), densidad (D), factores de expansión de raíces (R) y valor anual de biomasa (G_{TOTAL}) correspondientes al *IFN3* para el conjunto Extremadura.

IFN3	IAVC $m^3 ha^{-1} año^{-1}$	BEF ₁ $t ms m^{-3}$	D <i>adimensional</i>	R <i>adimensional</i>	ΔG _{TOTAL} $t ms ha^{-1} año^{-1}$
<i>Quercus ilex</i> L.	0,31	2,9	0,53	0,5	0,71
<i>Quercus suber</i> L.	0,08	2,9	0,53	0,5	0,18
<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	0,11	2,9	0,53	0,5	0,25
<i>Castanea sativa</i> Miller.	0,02	2,9	0,53	0,5	0,05
<i>Eucalyptus</i> spp.	0,13	2,9	0,53	0,5	0,30
Árboles de ribera	0,03	2,9	0,53	0,5	0,07
Otras frondosas	0,02	2,9	0,53	0,5	0,05
<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	0,49	1,7	0,42	0,3	0,45
<i>Pinus pinea</i> L.	0,08	1,7	0,42	0,3	0,08
TOTAL	1,27				2,15

De acuerdo con la Ecuación 6, el producto entre la superficie de Terreno Forestal que sigue siendo Forestal (2.193.331,60 ha) y el ΔG_{TOTAL} (2,15 t ms ha⁻¹ año⁻¹), equivale a la cantidad de materia seca anual almacenada en este tipo de Terrenos (4.715.662,94 t ms). Multiplicándolo por la fracción de carbono de la materia seca (0,5 t C t ms⁻¹), se obtiene la cantidad de carbono que capta anualmente la biomasa de los Terrenos Forestales extremeños que permanecen como tales en el periodo 2000-2006 (ΔCFF_{BV} igual a 2.357.832 t C año⁻¹).

Por último, para transformar el incremento anual de las existencias de carbono (t C año⁻¹) en su equivalente de CO₂ capturado (Gg CO₂) se utiliza la relación entre la masa atómica del carbono y el dióxido de carbono (44/12) y la relación entre toneladas y Gigagramos (10⁻³) (Tabla 17).

Tabla 17. Incremento de carbono en Terrenos Forestales que permanecen como tales en los dos periodos considerados.

Periodo	ΔCFF_{BV} t C año ⁻¹	ΔCFF_{BV} t C	ΔCO_2FF_{BV} Gg CO ₂ año ⁻¹	ΔCO_2FF_{BV} Gg CO ₂
1990-2000	1.305.827	13.058.270	4.788	47.880
2000-2006	2.357.832	14.146.992	8.645	51.872

Debe señalarse que, a pesar de la reducción de superficie de Terreno Forestal que permanece como tal a lo largo del tiempo, la cantidad total de carbono capturado por la biomasa de estos Terrenos es superior en el periodo 2000-2006, ya que la capacidad de captación de carbono por superficie de las masas boscosas extremeñas se ha visto mejorada, lo que se constata al comparar los valores de biomasa arbórea por hectárea de los Inventarios Forestales Nacionales 2 y 3.

A.1.1.2. Disminución de las existencias de carbono por pérdidas de biomasa (PCFF)

Las pérdidas anuales de biomasa se producen por talas comerciales, recogida de leñas para otros usos, como biocombustibles, y perturbaciones (plagas o incendios). La Ecuación 8 es la expresión de las pérdidas anuales de biomasa como sumatorio de todas las pérdidas producidas por estas causas.

$$PCFF = (P_{talas} + P_{leñas} + P_{corcho} + P_{otros})$$

Ecuación 8

donde,

PCFF es la pérdida anual de existencias de carbono en Terrenos Forestales que siguen siendo Forestales (t C año⁻¹)

P_{talas} es la pérdida anual de carbono debida a talas comerciales (t C año⁻¹)

P_{leñas} es la pérdida anual de carbono debida a la recogida de leñas (t C año⁻¹)

P_{corcho} es la pérdida anual de carbono debida a la recogida de corcho (t C año⁻¹)

P_{otras} son otras pérdidas anuales de carbono (t C año⁻¹)

Pérdida anual de carbono debida a talas comerciales

Las pérdidas anuales de carbono asociadas a las talas se calculan mediante la Ecuación 9.

$$P_{\text{talas}} = T * D * BEF_2 * (1 - f_{BL}) * CF$$

Ecuación 9

donde,

T es el volumen maderable con corteza extraído anualmente (m³ año⁻¹)

D es la densidad básica de la madera (t ms m⁻³)

BEF₂ es el factor de expansión de biomasa, que convierte **T** en biomasa total aérea (adimensional)

f_{BL} es la fracción de biomasa que se descompone en el suelo y es transferida a la materia orgánica muerta

CF es la fracción de carbono de la materia seca. Por defecto 0,5 t C t ms⁻¹

Se han tomado los valores de **BEF₂** calculados por el INIA (1,55 en coníferas y 2,13 en frondosas), así como las densidades medias de estos grupos de especies (0,42 en coníferas y 0,53 en frondosas).



Fotografía 5. Talas comerciales.

Se ha considerado que la biomasa total asociada al volumen maderable extraído (T) es una emisión inmediata y no queda nada abandonado en el bosque; esto es, f_{BL} se considera cero, pues el presente inventario no computa los cambios de carbono en la materia orgánica muerta. Hay que señalar que en el *Inventario Nacional de Emisiones* se le asigna un valor de 0,15 a este parámetro, que es el indicado por defecto para “bosques seminaturales en regiones templadas” en las *Directrices del IPCC*; no obstante, no procede aplicar ese valor cuando la materia orgánica muerta se analiza con el nivel metodológico básico y, por ello, se considera en equilibrio.

Los volúmenes de madera extraída anualmente se han tomado del *Anuario de Estadísticas Agroalimentarias* que publica el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1990 y siguientes) a partir de los valores aportados por las diferentes comunidades autónomas (Tabla 18). Para asegurar la representatividad de los datos empleados, se ha calculado el promedio de la cantidad de madera eliminada en forma de leña en coníferas y frondosas en el periodo 1990-2000 y en el periodo 2000-2006.

Tabla 18. Producción anual de madera en Extremadura por grupos de especies.

	Frondosas $m^3 \text{ año}^{-1}$	Coníferas $m^3 \text{ año}^{-1}$
1990	102.449	122.797
1991	82.962	68.360
1992	107.864	83.018
1993	67.687	50.445
1994	139.097	35.767
1995	220.534	68.487
1996	87.653	34.903
1997	61.262	92.592
1998	105.076	86.801
1999	173.817	150.370
2000	115.768	166.695
2001	186.162	202.738
2002	140.500	80.517
2003	148.488	88.699
2004	135.218	167.632
2005	108.715	106.272
2006	82.151	128.888

La pérdida anual de carbono asociada a las talas comerciales en los periodos 1990-2000 y 2000-2006, es igual a 93.283 t C año⁻¹ y 117.720 t C año⁻¹, respectivamente (Tabla 19).

Tabla 19. Pérdida anual de carbono asociada a las talas de madera en Extremadura por grupos de especies.

		T	Densidad	BEF ₂	CF	Ptalas
		<i>m³ año⁻¹</i>	<i>t m.s. m³</i>	<i>adimensional</i>	<i>t C t m.s.⁻¹</i>	<i>t C año⁻¹</i>
Periodo 1990-2000	Frondosas	114.924	0,53	2,13	0,5	64.869
	Coníferas	87.294	0,42	1,55	0,5	28.414
	TOTAL					93.283
Periodo 2000-2006	Frondosas	131.000	0,53	2,13	0,5	73.943
	Coníferas	134.492	0,42	1,55	0,5	43.777
	TOTAL					117.720

Pérdida anual de carbono debida a recogida de leñas

Las pérdidas anuales de carbono asociadas a las talas se calculan mediante la Ecuación 10.

$$P_{leñas} = L * D * BEF_2 * CF$$

Ecuación 10

donde,

L es el volumen de leña recogido anualmente (m³ año⁻¹)

Tabla 20. Producción anual de leñas en Extremadura (estéreos). Estéreo: unidad de medida para leña, equivalente a la que puede apilarse en el espacio de un metro cúbico.

Año	Volumen	Año	Volumen
	<i>estéreos</i>		<i>estéreos</i>
1995	216.080	2000	252.864
1996	368.389	2001	202.600
1997	153.854	2002	255.875
1998	250.864	2003	255.875
1999	252.765	2004	328.000
2000	252.864	2005	178.227

La cantidad de leña extraída anualmente (L) se ha tomado de los *Anuarios de Estadísticas Agroalimentarias* (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). En Extremadura, únicamente se extraen leñas de especies frondosas (Tabla 20). Dado que únicamente se dispone de las estadísticas desde 1996, los valores que se han aplicado a la Ecuación 10 son el promedio de los volúmenes de leña desde 1996 al 2000 para el periodo 1990-2000 y desde el 2000 al 2006 para el periodo 2000-2006.

Considerando los factores que se muestran en la Tabla 21, la pérdida anual de carbono asociada a la recogida de leñas es igual a 140.625 t C año⁻¹ y 137.791 t C año⁻¹ para el primer y segundo periodo considerados, respectivamente.

Tabla 21. Pérdida anual de carbono asociada a la recogida de leñas en Extremadura.

	T <i>m³ año⁻¹</i>	Densidad <i>t m.s. m³</i>	BEF ₂ <i>adimensional</i>	CF <i>t C t m.s⁻¹</i>	Pleñas <i>t C año⁻¹</i>
Periodo 1990-2000	249.136	0,53	2,13	0,5	140.625
Periodo 2000-2006	244.115	0,53	2,13	0,5	137.791

Pérdida anual de carbono debida a la producción de corcho

Aunque en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero no se computan las pérdidas anuales de carbono asociadas a la saca de corcho, no deben despreciarse dichas extracciones, fundamentalmente en regiones como Extremadura, donde la producción de corcho por los alcornoques supone una importante actividad social y económica. El cálculo de la cantidad de carbono asociada a dicha actividad se realiza según la expresión

$$P_{\text{corcho}} = C * CF$$

Ecuación 11

donde,

C es el volumen de corcho extraído anualmente (t)

El promedio del volumen de corcho extraído anualmente (C) se toma del *Anuario de Estadística Agroalimentaria*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Tabla 22) y la fracción de carbono en el corcho es 0,5.

Tabla 22. Producción anual de corcho en Extremadura (t m.s.).

Año <i>t m.s.</i>	Corcho	
1990	25.000	
1991	14.112	
1992	16.589	
1993	17.470	
1994	17.092	
1995	13.710	
1996	10.472	
1997	15.918	
1998	19.843	
1999	17.689	
2000	19.123	
2001	10.577	
2002	11.123	
2003	17.375	
2006	20.350	

Fotografía 6. Saca de corcho en la Sierra de San Pedro (Badajoz).

Aplicando la Ecuación 11, la cantidad de carbono que deja de ser almacenado en la biomasa viva a consecuencia de la extracción de corcho es 8.501 t C año⁻¹ y 7.855 t C año⁻¹ para el primer y segundo periodo considerados, respectivamente.

Pérdida anual de carbono debida a otras causas (incendios)

Las pérdidas originadas por otras causas son las relacionadas con las variaciones climáticas o perturbaciones como plagas e incendios, que se produzcan en Terrenos gestionados y que no sean consecuencia de un cambio de uso de la tierra. La Ecuación 12 se aplica genéricamente a todos estos casos. Si bien en la *GBP 2003* se recomienda contabilizar el área afectada por los diferentes agentes generadores de alteraciones del medio, tanto de origen natural como humano, por el momento sólo se dispone de información referente a los incendios forestales. Es una buena práctica el desarrollar métodos que permitan estimar las pérdidas de carbono provocadas por cada uno de los agentes con efecto significativo en el intercambio gaseoso entre los sumideros y la atmósfera (*GBP 2003*).

$$P_{otras} = A_{perturbación} * B_w * (1 - f_{BL}) * CF$$

Ecuación 12

Siendo,

$$B_w = VCC * BEF_2 * D * (1+R)$$

donde,

Aperturbación es la superficie anualmente afectada por alteraciones (ha)

B_w es el valor medio de las reservas de biomasa en Terrenos Forestales (t ms ha⁻¹)

f_{BL} es la fracción de biomasa que se descompone en el suelo. Se considera cero porque todo el carbono de la biomasa sobre el suelo se perdería con la alteración

CF es la fracción de carbono de la materia seca (por defecto 0,5 t C t ms⁻¹)

El número de hectáreas afectadas por incendios, ha sido facilitado por el Servicio de Prevención y Extinción de Incendios de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente, Junta de Extremadura. Se detalla el tipo de superficie afectada, diferenciando entre vegetación leñosa y vegetación herbácea (Tabla 23).

Tabla 23. Superficie anual afectada por incendios en Extremadura, según el tipo de Terreno.

Año	Vegetación Leñosa			Vegetación Herbácea		
	Monte Arbolado	Monte No Arbolado		Dehesas	Pastizales	Humedales
		M. Abierto	M. Bajo y matorral			
1990	3.356,00	0,00	2.835,80	4.015,50	2.743,40	0,00
1991	19.619,60	0,00	10.930,10	4.032,70	12.136,10	0,00
1992	2.292,90	0,00	2.086,40	744,40	685,30	0,00
1993	595,70	0,00	794,10	81,30	1.196,20	0,00
1994	727,90	0,00	1.585,80	1.013,40	2.779,00	0,00
1995	1.032,90	0,00	1.982,60	206,50	1.101,30	0,00
1996	241,50	0,00	842,10	1.058,70	1.969,10	0,00
1997	946,70	0,00	811,70	142,00	534,10	0,00
1998	1.248,11	0,00	2.753,08	497,02	1.365,80	3,14
1999	1.381,41	0,00	1.813,51	57,78	346,35	15,61
2000	1.600,05	0,00	1.619,40	1.065,39	2.223,18	70,44
2001	1.629,19	0,00	3.652,13	2.364,14	3.804,96	14,49
2002	1.544,37	0,00	4.201,69	1.034,16	4.368,84	5,02
2003	18.755,05	0,00	13.449,17	4.988,97	6.305,77	59,40
2004	1.722,30	0,00	2.805,33	3.471,58	8.062,45	79,79
2005	1.381,47	268,60	6.757,43	336,02	2.681,80	156,90
2006	1.262,88	1.497,58	1.927,43	966,20	1.398,35	59,51

Únicamente se consideran las superficies de monte arbolado ("superficies cubiertas por especies arbóreas productoras de madera comercial, leña, resina, corcho o frutos forestales, con FCC mayor o igual al 20%"), ya que el monte abierto tiene una FCC inferior al 20% y, según la clasificación del presente inventario, no pertenecen a los Terrenos Forestales.

Para calcular las pérdidas de carbono asociadas a incendios se ha utilizado el promedio de superficie de monte arbolado afectado por incendios en cada periodo considerado. El resultado es que anualmente se perdieron 3.004 ha y 3.985 ha de Terreno Forestal en los periodos 1990-2000 y 2000-2006, respectivamente.

Respecto a la proporción de especies afectadas, se ha tomado como referencia la publicación *Los incendios forestales en España. Decenio 1996-2005*, de la Dirección General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente (2006). De acuerdo con esta publicación, durante el periodo 1996 - 2005 las principales especies afectadas por incendios en Extremadura fueron *Pinus pinaster* Aiton. (17.889 ha), *Quercus ilex* L. (7.018), *Quercus suber* L. (4.154 ha) y otras especies (7.391 ha). Así, en el presente inventario se ha considerado que la superficie incendiada está ocupada en un 50% por coníferas y por frondosas.



Fotografía 7. Área afectada por un incendio.

En los cálculos para la estimación del valor de las reservas de biomasa (B_w) correspondiente a cada *IFN* se han tomado los valores de BEF_2 calculados por el INIA, así como las densidades medias de estos grupos de especies, ya presentados en apartados anteriores (Tablas 24 y 25).

Tabla 24. Cálculo de la biomasa media en Terrenos Forestales según el IFN2 (Bw; tms ha⁻¹).

IFN2	VCC <i>m³ ha⁻¹</i>	BEF ₁ <i>t ms m⁻³</i>	D <i>adimensional</i>	R <i>adimensional</i>	Bw <i>t ms ha⁻¹</i>
<i>Quercus ilex</i> L.	11,1	2,13	0,53	0,5	18,8
<i>Quercus suber</i> L.	3,02	2,13	0,53	0,5	5,11
<i>Quercus pirenaica</i> Wild.	2,03	2,13	0,53	0,5	3,44
<i>Quercus faginea</i> Lam.	0,13	2,13	0,53	0,5	0,22
<i>Castanea sativa</i> Miller.	0,79	2,13	0,53	0,5	1,34
<i>Eucalyptus</i> spp.	2,03	2,13	0,53	0,5	3,44
<i>Arbustus unedo</i> L.	0,23	2,13	0,53	0,5	0,39
<i>Alnus glutinosa</i> L.	0,04	2,13	0,53	0,5	0,07
<i>Olea europea</i> Brot.	0,06	2,13	0,53	0,5	0,1
Árboles de ribera	0,12	2,13	0,53	0,5	0,2
Otras frondosas	0,13	2,13	0,53	0,5	0,22
<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	5,58	1,55	0,42	0,3	4,72
<i>Pinus pinea</i> L.	1,00	1,55	0,42	0,3	0,85
<i>Pinus sylvestris</i> L.	0,04	1,55	0,42	0,3	0,03
<i>Juniperus</i> spp.	0,01	1,55	0,42	0,3	0,01

Tabla 25. Cálculo de la biomasa media en Terrenos Forestales según el IFN3 (Bw, tms ha⁻¹).

IFN3	VCC <i>m³ ha⁻¹</i>	BEF ₁ <i>t ms m⁻³</i>	D <i>adimensional</i>	R <i>adimensional</i>	G _{TOTAL} <i>t ms ha⁻¹</i>
<i>Quercus ilex</i> L.	15,66	2,13	0,53	0,5	26,52
<i>Quercus suber</i> L.	3,55	2,13	0,53	0,5	6,01
<i>Quercus pyrenaica</i> Wild.	2,03	2,13	0,53	0,5	3,44
<i>Castanea sativa</i> Miller.	0,67	2,13	0,53	0,5	1,13
<i>Eucalyptus</i> spp.	1,85	2,13	0,53	0,5	3,13
Árboles de ribera	0,52	2,13	0,53	0,5	0,88
Otras frondosas	0,70	2,13	0,53	0,5	1,19
<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	7,00	1,55	0,42	0,3	5,92
<i>Pinus pinea</i> L.	1,47	1,55	0,42	0,3	1,24

Para el periodo 1990-2000, las reservas de biomasa (**Bw**) de coníferas y de frondosas se han calculado como el promedio entre inventarios *IFN2* e *IFN3*; para el periodo 2000-2006 se ha considerado el *IFN3*.

Conocidas la superficie afectada por incendios y la biomasa existente en los Terrenos Forestales, pueden estimarse las pérdidas de carbono debidas a los incendios aplicando la Ecuación 12. El cambio anual de carbono provocado por los incendios en los Terrenos Forestales extremeños en los dos periodos considerados es la suma de las pérdidas en coníferas y frondosas (Tabla 26).

Tabla 26. Pérdidas anuales de carbono debidas a los incendios forestales.

Periodo	Especies	Superficie <i>ha</i>	Bw <i>t ms ha⁻¹</i>	CF <i>t C tms⁻¹</i>	P _{Incendios} <i>t C año⁻¹</i>
1990-2000	Frondosas	1.502	37,82	0,5	28.403
	Coníferas	1.502	6,39	0,5	4.799
	Total	3.004			33.200
2000-2006	Frondosas	1.993	42,30	0,5	42.152
	Coníferas	1.993	7,16	0,5	7.133
	Total	3.985			49.275

Por último, sumando todos los factores considerados se obtiene que las pérdidas totales de carbono que se producen anualmente en la biomasa viva de los Terrenos Forestales anualmente asciende a 275.609 t C año⁻¹ en el periodo 1990-2000 y a 312.641 t C año⁻¹ en el periodo 2000-2006 (Tabla 27).

Tabla 27. Pérdidas anuales totales de carbono en Terrenos Forestales que continúan siendo Forestales.

Periodo	P _{talas} <i>t C año⁻¹</i>	P _{leñas} <i>t C año⁻¹</i>	P _{corcho} <i>t C año⁻¹</i>	P _{Incendios} <i>t C año⁻¹</i>	PCFF <i>t C año⁻¹</i>	PCFF <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	93.283	140.625	8.501	33.200	275.609	1.001
2000-2006	117.720	137.791	7.855	49.275	312.641	1.146

A.1.2. Cambios en la biomasa viva en Terrenos que pasan a ser Forestales (ΔC_{LJ})

En el caso de los Terrenos convertidos a Terrenos Forestales, con objeto de evitar el doble cómputo de una misma actividad, no se contabilizan pérdidas de biomasa por recolección, recogida de leña o perturbaciones en los Terrenos que pasan a ser bosque, puesto que en el apartado anterior se incluyen pérdidas que tienen lugar en el conjunto total de Terrenos Forestales. De esta forma el cálculo se centra exclusivamente en las ganancias de carbono (primera parte de la Ecuación 1).



Fotografía 8. Repoblación de *Quercus ilex* en el término municipal de Olivenza (Badajoz).

Igual que en el caso de Terrenos Forestales que permanecen como tales, se asume que la tasa de transferencia al depósito de madera muerta y residuos/detritus es igual a la tasa de transferencia desde estos depósitos, de manera que la variación neta es nula; esto es, se considera que estos terrenos permanecen constantes a lo largo del tiempo.

La superficie convertida en Terreno Forestal se produce fundamentalmente en Terrenos ocupados por Pastizales (56% y 80% durante los periodos 1990-2000 y 2000-2006, respectivamente), seguida de Terrenos ocupados por Cultivos (40% y 20% durante los periodos 1990-2000 y 2000-2006, respectivamente) (Tabla 28).

Tabla 28. Superficie convertida en Terreno Forestal.

Categoría final	Categoría anterior	Periodo 1990-2000 ha	Periodo 2000-2006 ha
Forestal	Cultivo Anual	2.031,24	171,88
Forestal	Cultivo Arbóreo	1.779,77	17,80
Forestal	Pastizal	4.955,40	1.667,26
Forestal	Ríos	20,65	0,00
Forestal	Urbano	35,95	226,10
Forestal	Otros Terrenos	0,00	126,56
Forestal	TODAS	8.823,01	2.209,60

Considerando la influencia que ejerce el sistema de gestión de los Terrenos en las tasas de crecimiento de las especies que los ocupan, en las *Directrices del IPCC* se diferencia entre dos prácticas de gestión generales:

- a) **Manejo intensivo o regeneración artificial** (silvicultura de plantaciones con preparación y fertilización intensiva del lugar). En el Inventario Nacional de GEI se considera la conversión a Terrenos Forestales previamente ocupados por cultivos, y en donde se ha efectuado una reforestación intensa.
- b) **Manejo extensivo o regeneración natural** (bosques regenerados naturalmente con mínima intervención humana); conversión en Terrenos Forestales de Pastizales.

Con objeto de homogenizar las metodologías en este inventario, se ha procedido a calcular los cambios en el reservorio de carbono debido al incremento de biomasa en los Terrenos convertidos en Forestales según el método general presentado en el Apartado 2 (Ecuación 4) y se computan conjuntamente los cambios en Terrenos convertidos en Forestales con gestión intensiva y con gestión extensiva.

$$\Delta C_{ij} = A_{\text{conversión}} * (L_{\text{conversión}} + \Delta C_{\text{crecimiento}}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Siendo,

$$L_{\text{conversión}} = C_{\text{posterior}} - C_{\text{anterior}}$$

donde,

ΔC_{ij} es el cambio de carbono en la biomasa en la conversión del uso i al uso j

$A_{\text{conversión}}$ es la superficie que cambia de uso (ha)

$\Delta C_{\text{crecimiento}}$ es el carbono en el primer año de crecimiento (1,80 t C ha⁻¹año⁻¹, Tabla 4)

$L_{\text{conversión}}$ es el cambio anual de carbono para cada tipo de conversión (t C ha⁻¹)

$C_{\text{posterior}}$ es la reserva de carbono inmediatamente después de la conversión (t C ha⁻¹año⁻¹, Tabla 4)

C_{anterior} es la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión (t C ha⁻¹). Se considera cero puesto que se elimina totalmente la biomasa en la transformación del Terreno

Con objeto de aportar coherencia al conjunto del inventario de sumideros, la superficie de cambio de uso se ha tomado de la Tabla 28 (de acuerdo con la base de datos CORINE). No obstante, hay que tener en cuenta que el proceso de forestación en Extremadura ha estado regulado por el régimen europeo de ayudas a las medidas forestales en la agricultura y mejora de las superficies forestadas (Reglamento 2080/1992, de 30 de junio), desarrollado a través de programas regionales en cada comunidad autónoma según el marco normativo establecido en el Real Decreto 378/1993, de 12 de marzo, del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (posteriormente derogado por el Real Decreto 152/1996, de 2 de febrero, y desarrollado en Extremadura por el Decreto 85/1996, de 4 de junio).

Los Terrenos susceptibles de estas ayudas a la forestación son aquellos identificados en el SIGPAC dentro de alguna de las siguientes categorías:

- a) Tierras arables
- b) Tierras ocupadas por cultivos leñosos
- c) Pasto con arbolado
- d) Pasto arbustivo
- e) Pastizal
- f) Huertas

Si se comparan las hectáreas de cada categoría que han sido objeto de forestación desde el comienzo del programa de ayudas hasta la actualidad (Tabla 29) con las de los periodos 1990-2000 y 2000-2006 según la base de datos CORINE (Tabla 26) se observan importantes diferencias, no solo en cuanto a la superficie total de Terreno convertido en Forestal sino incluso respecto al porcentaje de las categorías anteriores de Terreno.

Tabla 29. Superficie de Terreno dedicada a forestación en el periodo 1994-2008.

Categoría de Terreno	Superficie <i>ha</i>	Superficie <i>ha</i>
Pastizal/monte abierto/dehesa	51.073,08	67 %
Barbecho	100,29	< 1 %
Erial a pastos	12.247,13	16 %
Cultivos herbáceos	11.611,86	15 %
Cultivos leñosos	787,91	1 %
TOTAL	75.820,27	100 %

De acuerdo con las certificaciones de la Dirección General de Estructuras Agrarias de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural, en relación con la tramitación de ayudas para fomento de la Forestación de Cultivos, en la Comunidad Autónoma de Extremadura, la superficie que ha sido forestada entre 1994 y 2008 ascendió a 75.820,27 ha (Tabla 29). Debe señalarse que actualmente se está realizando un proceso de revisión de las superficies realmente forestadas en los años 1993 a 1996 mediante Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) y mediciones en campo.

Tabla 29. Superficie de Terreno dedicada a forestación en el periodo 1994-2008.

AÑO	Badajoz		Cáceres		Extremadura	
	<i>Implantado</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Implantado</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Implantado</i>	<i>Acumulado</i>
1994	159,43	159,43	589,66	589,66	749,09	749,09
1995	4.833,37	4992,8	3686,5	4.276,16	8.519,87	9.268,96
1996	5.632,88	10.625,68	6.828,94	1.1105,10	12.461,82	21.730,78
1997	3.074,38	13.700,06	4.464,44	15.569,54	7.538,82	29.269,6
1998	4.050,91	17.750,97	3.077,67	18.647,21	7.128,58	36.398,18
1999	5.607,91	23.358,88	8.321,92	26.969,13	13.929,83	50.328,01
2000	3.015,53	26.374,41	6.025,55	32.994,68	9.041,08	59.369,09
2001	231,29	26.605,70	1.329,72	34.324,40	1.561,01	60.930,1
2002	0,00	26.605,70	0,00	34.324,40	0,00	60.930,1
2003	0,00	26.605,70	0,00	34.324,40	0,00	60.930,1
2004	948,33	27.554,03	292,44	34.616,84	1.240,77	62.170,87
2005	1.513,93	29.067,96	2.051,39	36.668,23	3.565,32	65.736,19
2006	1.842,07	30.910,03	3.111,98	39.780,21	4.954,05	70.690,24
2007	746,03	31.759,8516	1.787,95	41.464,36	2.533,98	73.224,22
2008	157,67	31.813,73	95,28	41.663,44	252,95	73.477,17

Los años 2002 y 2003, donde no existen certificados de forestación, coinciden con el periodo de transición entre un programa de ayudas europeas y el siguiente, tiempo en el que hubo que desarrollar los nuevos procedimientos de tramitación de ayudas y gestionar la recepción de los expedientes de acuerdo con la normativa europea. Actualmente las bases reguladoras y convocatoria de ayuda a la primera forestación de tierras agrícolas se establecen en el Decreto 336/2007, de 14 de diciembre, basado en lo establecido en el Programa de Desarrollo Rural de Extremadura FEADER 2007-2013. El presupuesto designado a la forestación se destina a las ayudas al establecimiento (destinadas a cubrir los costes reales de repoblación y sus obras auxiliares), las ayudas para mantenimiento (reposición de marras, gra-deos, cavas, repaso de cortafuegos, etc.) y a la prima compensatoria (prima anual por hectárea forestada para compensar a los beneficiarios por la pérdida de renta agrícola como consecuencia del establecimiento de la repoblación que se abona durante los 20 años siguientes a la forestación). Debido a que los primeros expedientes son de 1994, actualmente la mayor parte de los fondos se destinan a los Terrenos que han sido forestados en los años previos.

A la vista de las diferencias comentadas entre los datos suministrados por la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural y la base de datos CORINE, se ha asumido que:

- La superficie total de Terreno convertida en Forestal en cada periodo de tiempo es la calculada mediante el CORINE (Tabla 26), dada la necesidad de incluir toda la superficie de la región en alguna de las categorías de Terrenos consideradas, pero evitando que se dupliquen determinadas superficies al atribuir las a varias categorías.
- La proporción de Cultivos arbóreos, Cultivos anuales y Pastizales dedicados a forestación, esto es, el uso anterior de Terrenos convertidos en Forestales cada año, es la reflejada en los datos reales de los expedientes de reforestación (Tabla 29): 1,04% Cultivos arbóreos, 15,45% Cultivos anuales y 83,51% Pastizales.

De esta forma, se han aplicado estos porcentajes a la superficie total de Terreno convertida en Forestal durante los periodos 1990-2000 y 2000-2006 (8.823 y 2.209.60 ha, respectivamente (Tabla 26).



Fotografía 9. Vivero forestal.

Los cambios en la cantidad de carbono fijado por la biomasa en los Terrenos convertidos en Forestales ascendieron a 14.945 y 3.743 t C en los períodos 1990-2000 y 2000-2006 respectivamente (Tabla 31). El cálculo de los factores $\Delta C_{\text{crecimiento}}$ (carbono en el primer año de crecimiento); $L_{\text{conversión}}$ (cambio anual de carbono para cada tipo de conversión); $C_{\text{posterior}}$ (reserva de carbono inmediatamente después de la conversión,) y C_{anterior} (reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión) se explica en el Apartado 2.2.

Tabla 31. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Forestales.

Periodo	Categoría Anterior	Superficie <i>ha</i>	$C_{\text{posterior}}$ <i>t C ha⁻¹</i>	C_{anterior} <i>t C ha⁻¹</i>	$\Delta C_{\text{crecimiento}}$ <i>t C ha⁻¹ año⁻¹</i>	Cambio carbono <i>t C ha⁻¹</i>	Cambio carbono <i>t C</i>
1990-2000	Cultivo Anual	1.363,15	0	0	1,8	1,80	2.453,67
	Cultivo Arbóreo	91,76	0	10,21	1,8	-8,41	-771,70
	Pastizal	7.368,09	0	0	1,8	1,80	13.262,56
	TODAS	8.823,00	-	-	-	-	14.944,54
2000-2006	Cultivo Anual	341,38	0	0	1,8	1,80	614,84
	Cultivo Arbóreo	22,98	0	10,21	1,8	-8,41	-193,26
	Pastizal	1.845,24	0	0	1,8	1,80	3.321,43
	TODAS	2.209,60	-	-	-	-	3.742,65

En el proceso de cambio de uso del terreno se considera que se elimina totalmente la biomasa; de esta forma, a la reserva de carbono inmediatamente después de la conversión a Terreno Forestal ($C_{\text{posterior}}$) se le da un valor igual a cero (GBP 2003). Sin embargo, los cambios en el uso del Terreno implican ganancias o pérdidas en las reservas de carbono de la biomasa dependiendo del uso que tenía dicho Terreno antes del cambio.

Así, en el caso de los Cultivos Anuales y los Pastizales la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión (C_{anterior}) se considera nula, porque la biomasa que se acumula en un año se pierde en ese mismo periodo bien por las cosechas, bien por el propio ciclo de vida de la vegetación (mortalidad). Sin embargo, en el caso de la forestación de Cultivos Arbóreos, se produce una pérdida de 8,41 t C ha⁻¹, que es la diferencia entre la reserva de carbono en este tipo de terrenos inmediatamente antes del cambio

de uso ($10,5 \text{ t C ha}^{-1}$) y la acumulación de carbono durante el primer año de establecimiento de los Terrenos Forestales ($1,8 \text{ t C ha}^{-1}$).

El resultado es que durante el periodo 1990-2000, se acumularon un total de 14.945 t C en la biomasa viva de los Terrenos convertidos en Forestales, lo que supone un incremento anual de $1.494,5 \text{ t C año}^{-1}$; mientras que durante el periodo 2000-2006 se acumularon 3.743 t C , equivalente a un incremento anual de $623,78 \text{ t C año}^{-1}$.

A.1.3. Cambio anual total en la biomasa viva en Terrenos Forestales (ΔC Forestal)

El cambio anual total de carbono en la biomasa de los Terrenos Forestales es la suma del acumulado en todos los Terrenos cuyo uso final es Forestal, independientemente de su categoría inicial. Como se ha comentado en el apartado de metodología, en el presente inventario se ha considerado que el cambio en la reserva de carbono en los Terrenos que se mantienen en la misma categoría se produce de forma progresiva, mientras que el cambio en los Terrenos que cambian de categoría se considera que ocurre al final del periodo.

Tabla 32. Cambio anual total en la biomasa de los Terrenos Forestales (FFganancias: incremento de biomasa en Terrenos que continúan siendo Forestales; PCFF: pérdidas de biomasa en Terrenos Forestales; LF: cambios de carbono en la biomasa debidos a cambios de uso del Terreno; ΔC Forestal: cambio total de carbono en la biomasa de Terrenos Forestales; ΔCO_2 Forestal: captación de CO_2 por la biomasa de Terrenos Forestales).

Periodo	FFganancias <i>t C año⁻¹</i>	PCFF <i>t C año⁻¹</i>	LF <i>t C año⁻¹</i>	ΔC Forestal <i>t C año⁻¹</i>	ΔCO_2 Forestal <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	1.305.827	-275.609	1.495	1.031.713	3.783
2000-2006	2.357.832	-312.641	624	2.045.815	7.501

Durante el periodo 1990-2000 el cambio anual de carbono en la biomasa viva de los Terrenos Forestales de Extremadura fue igual a $1.031.713 \text{ t C año}^{-1}$, equivalentes a 37.829 Gg CO_2 en todo el periodo (Tabla 32). Durante el segundo periodo considerado, 2000-2006, la tasa neta de fijación de carbono fue $2.045.815 \text{ t C año}^{-1}$. A pesar de la disminución neta de la superficie de Terreno Forestal, la tasa anual de fijación neta de carbono por los Terrenos Forestales se ha visto incrementada significativamente desde el primer periodo hasta el segundo.

A.2. Cambios en el reservorio de carbono en el suelo

La *GBP 2003* sostiene que las reservas de carbono en el suelo están constituidas por la suma de la fracción orgánica de los suelos minerales y los suelos orgánicos. Como se indicó en el Apartado 2, los suelos orgánicos no se contabilizarán en el caso de Extremadura, dado que la representación de los mismos en la región puede considerarse no significativa.

La materia orgánica del suelo, objeto del análisis de la reserva de carbono en los suelos, puede definirse como un complejo de partículas y de moléculas orgánicas amorfas y de gran tamaño resultantes de la humificación de los detritus sobre y bajo el suelo, e incorporadas a este como partículas libres, o ligadas a partículas de suelos minerales. Contiene también ácidos orgánicos, microorganismos muertos y vivos, y sustancias sintetizadas a partir de sus productos de descomposición (Johnson *et al.*, 1995).

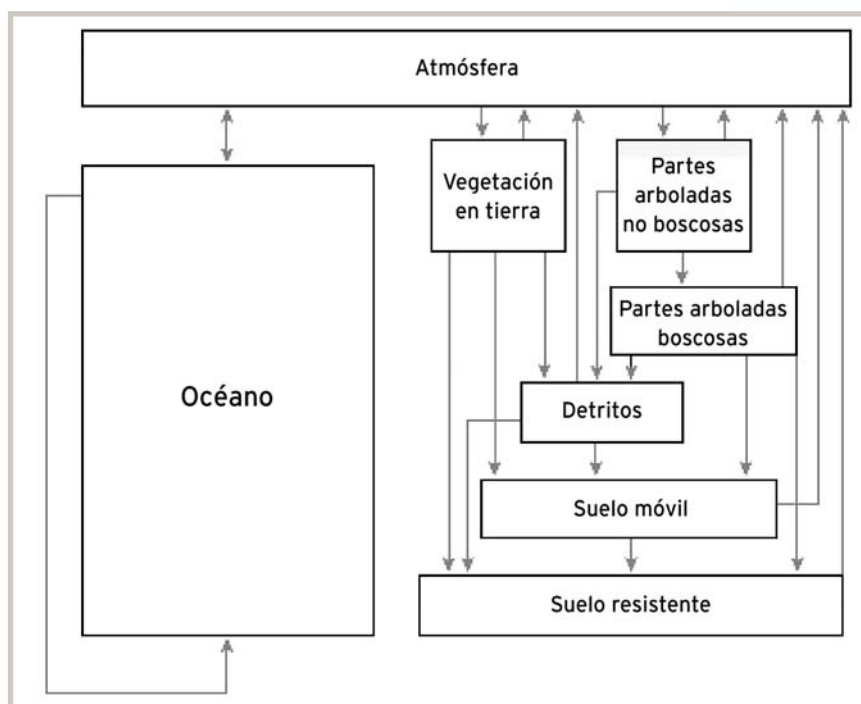


Figura 7. Diagrama representativo del ciclo de carbono en un ecosistema (IPCC, 2007).

Es importante señalar que la materia orgánica del suelo se encuentra en un estado de equilibrio dinámico entre entradas y salidas de carbono orgánico. Las entradas están determinadas en gran medida por la productividad del bosque, la descomposición de los detritus y su incorporación al suelo mineral, por las tasas de descomposición de la materia orgánica y el retorno del carbono a la atmósfera mediante salidas de control de respiración (Pregitzer, 2003). Por lo general, las actividades humanas y otras perturbaciones alteran la dinámica del carbono en los suelos Forestales. Los cambios de tipo de bosque, de productividad, de las tasas de descomposición y de las perturbaciones pueden modificar efectivamente el contenido de carbono en los suelos Forestales.

Realmente, los diferentes reservorios de carbono que existen en el suelo tienen distintos tiempos medios de residencia variando de uno a varios años, dependiendo de la composición bioquímica, o incluso décadas o más de 1000 años (fracción estable). Así mismo, los diferentes grupos de materia orgánica en los suelos son modificados por distintos factores. Las partículas de materia orgánica libre y la biomasa microbiana de los suelos son controladas por el aporte de residuos y el clima; la agregación del suelo, la textura y la mineralogía controlan la materia orgánica en macroagregados.

A.2.1. Terrenos Forestales asentados sobre suelos minerales ($\Delta CCC_{\text{Mineral}}$)

Los cambios en la reserva de carbono en la fracción orgánica de los suelos minerales son resultado de los procesos de intercambio gaseoso que se dan de forma constante en su seno, tanto de captación de carbono -fotosíntesis- como de pérdidas por respiración y descomposición.

Jones *et al.* (2004) indican la existencia de dos grupos de factores que influyen en la materia orgánica presente en el suelo:

- a) *Factores naturales*, entre los que se encuentran las características de la roca madre, el tipo de cobertura vegetal, la topografía del terreno y el clima, en tanto que la tasa de descomposición de la materia orgánica es proporcional a la temperatura y que la presencia de materia orgánica se relaciona positivamente con el grado de humedad del suelo.
- b) *Factores humanos*, destacando el uso del terreno, el tipo de manejo que de él se haga y el grado de degradación provocada por efecto del hombre.

A escala global la cantidad de carbono presente en los suelos de Extremadura sería entre 8 y 12 Kg C m⁻², equivalente a 80 y 120 t C ha⁻¹ (Figura 7). Sin embargo, el contenido en carbono orgánico en los sue-

los españoles es muy variable, desde menos de 4 Kg m⁻² en zonas del Valle del Ebro o en la costa sur mediterránea, hasta 30 Kg m⁻² en suelos forestales de Galicia (Moreno *et al.*, 2005). Se estima que, en promedio, por cada 1 °C de incremento aumento de temperatura, la pérdida de carbono orgánico en el suelo puede ser del 6-7%, valor que puede aumentar o disminuir según sea el cambio en la precipitación y también según las características propias del suelo y sus usos.

Muchos autores han constatado la elevada heterogeneidad espacial que presentan los suelos en cuanto a su composición química y la importancia de la escala en los estudios ecológicos (Wiens, 1989). Como se explicará a continuación, la metodología para evaluar los cambios en la reserva de carbono de un determinado terreno debe recoger, al menos, el efecto de los principales factores que intervienen en el sistema de intercambio suelo - atmósfera - biomasa y, además, debe basarse en información lo más ajustada posible de los tipos de suelos presentes en la zona de estudio. De esta forma, la base de datos sobre la que se desarrolla este inventario es el Mapa de Suelos de Extremadura (Universidad de Extremadura).

La metodología propuesta por la *GBP 2003* integra el efecto del tipo de bosque, de las actividades de gestión y de los regímenes de alteración sobre el balance de carbono de los suelos forestales minerales, y permite incorporar los datos y conocimientos científicos disponibles. Se presupone un contenido de carbono estable y promediado espacialmente en los suelos minerales con arreglo a determinados tipos de Terrenos Forestales, prácticas de gestión y regímenes de alteración. Este valor de equilibrio resulta alterado cuando tales estados o condiciones varían. El método se basa en los supuestos siguientes:

- a) El carbono orgánico del suelo (COS) en los Terrenos Forestales alcanza a lo largo del tiempo un valor estable, promediado espacial y temporalmente, que es específico del suelo, del tipo de bosque y de las prácticas de gestión.
- b) Los cambios de tipo de Terreno Forestal o de gestión conducentes a un nuevo valor estable del COS se producen durante un tiempo de transición igual a la duración de una rotación o al intervalo de retorno de las perturbaciones naturales, medido en años.
- c) El secuestro / liberación de COS durante la transición al equilibrio se produce linealmente.

Las emisiones o absorciones de carbono del depósito de suelos forestales minerales pueden calcularse en forma de variaciones anuales de las reservas de carbono orgánico del suelo para un área de tierras forestales que experimente una transición del estado i al estado j, donde cada estado corresponde a una combinación dada de tipo de bosque, intensidad de gestión y régimen de alteración.

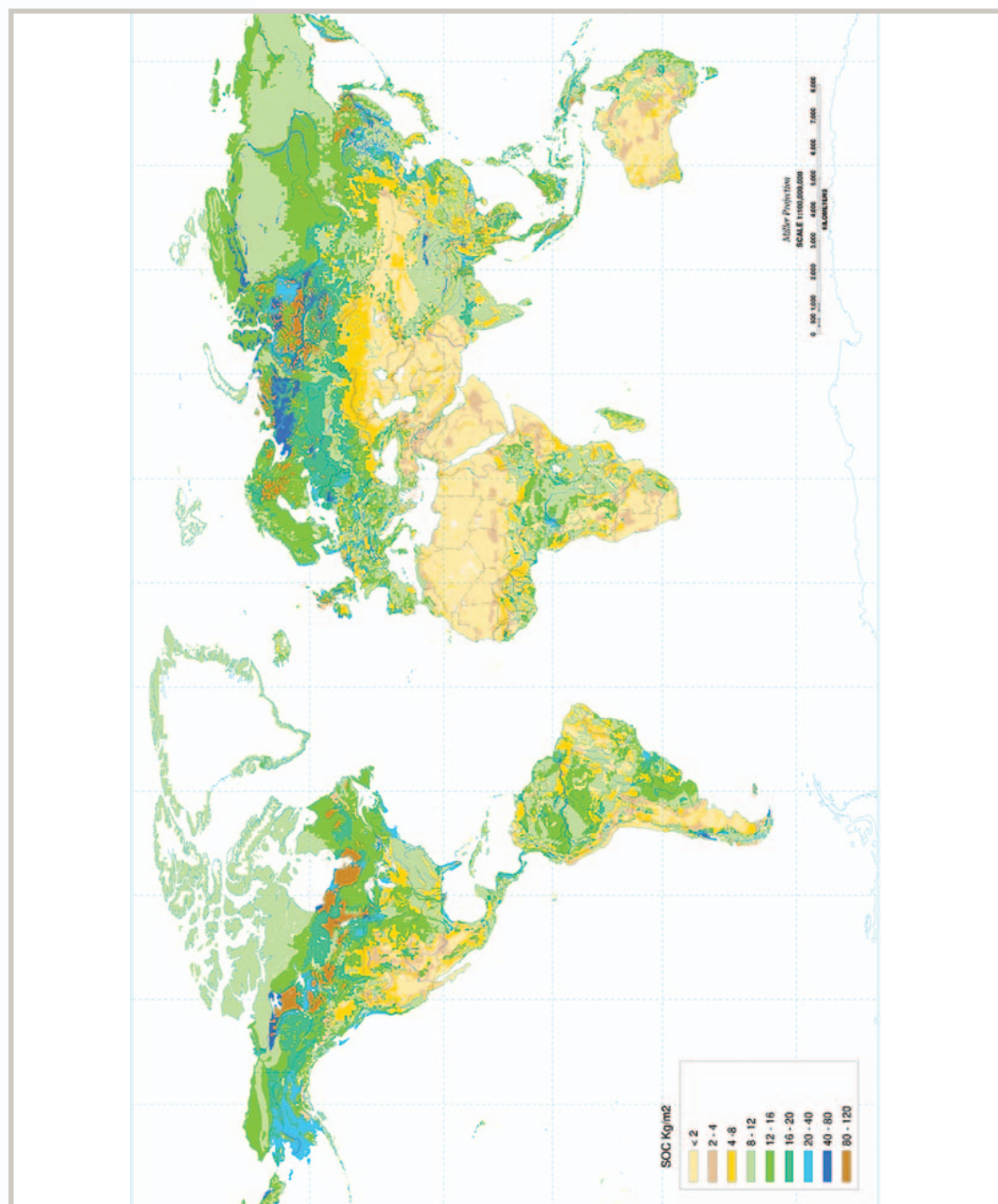


Figura 7. Distribución de carbono en el suelo a escala mundial (Departamento de Agricultura EEUU, NRCS, 2003).

La Ecuación 13 expresa el cálculo de la variación de las reservas de carbono en suelos minerales; los cambios de COS totales en un año cualquiera son iguales a la suma de las emisiones / absorciones anuales para todos los tipos de Terrenos Forestales que han experimentado cambios del tipo de bosque, de las prácticas de gestión o de los regímenes de alteración durante un periodo determinado.

$$\Delta CCC_{\text{Mineral}} = [(COS_0 - COS_{0-T}) * A] / T$$

Ecuación 13

siendo,

$$COS = COS_{REF} * F_{TF} * F_{IG} * F_{RP}$$

donde,

- COS₀** es la reserva de carbono en el año del inventario (t C año⁻¹)
- COS_{0-T}** es la reserva de carbono T años antes del inventario (t C año⁻¹)
- A** es la área de cada parcela
- T** es el periodo de tiempo que dura el inventario, 20 años por defecto
- COS_{REF}** es el carbono de referencia (t C año⁻¹)
- F_{TF}** es el factor de variación en función de los cambios en el tipo de terreno forestal
- F_{IG}** es el factor de ajuste que refleja el efecto de la intensidad de gestión del terreno
- F_{RP}** es el factor de variación de las reservas por el régimen de perturbación

Se han tomado los valores de **COS_{REF}** propuestos por defecto en la *GBP 2003*, para el clima templado cálido y seco (Tabla 33). La superposición de los Mapas de tipos de suelo y de los Mapas de usos del Terreno (CORINE) da como resultado los tipos de suelo presentes en cada tipo de terreno en cada periodo de tiempo considerados.

Tabla 33. Valor de referencia por defecto (con vegetación nativa) de las reservas de carbono orgánico en el suelo (COS_{REF}) para una profundidad de 0 - 30 cm (Jobbagy y Jackson, 2000).

Tipo de suelo	COS _{REF} t C ha ⁻¹	Descripción	Suelos en Extremadura
Suelos AAA	38	Suelos con minerales de arcilla de alta actividad, con un nivel de desgaste entre leve y moderado, en los que predominan minerales de arcilla silicatada 2:1	Cambisol, luvisol, leptosol, vertisol, antrosol, calcisol, umbrisol, regosol, feozem y chernozem

Tabla 33. Valor de referencia por defecto (con vegetación nativa) de las reservas de carbono orgánico en el suelo (COS_{REF}) para una profundidad de 0 - 30 cm (Jobbagy y Jackson, 2000).

Tipo de suelo	COS _{REF} t C ha ⁻¹	Descripción	Suelos en Extremadura
Suelos ABA	24	Suelos con minerales de arcilla de baja actividad, en los que predominan los minerales de arcilla 1:1 y el hierro amorfo, así como los óxidos de aluminio	Acrisol, fluvisol y lixisol
Suelos arenosos	19	Incluye todo tipo de suelos que contengan más de un 70% de arena y menos de un 8% de arcillas, en base a análisis de textura tipificados	Arenosoles

En la *GBP 2003* se establecen una serie de valores para los diferentes factores, en función del clima, suelo y tratamiento del terreno, para el cálculo de **COS** de cada parcela considerada. No obstante, en el presente inventario se utilizarán los factores estimados que se presentan en el *Inventario de sumideros de CO₂ de Andalucía* (Agudo *et al.*, 2007), dado que las estimaciones realizadas en dicha región son más próximas a las características de los suelos forestales de Extremadura que las de carácter general aportadas por la *GBP 2003* (Tabla 33).

De esta forma, el factor de ajuste según el tipo de formación forestal (**F_{TF}**) se basa en el contenido en carbono orgánico del suelo en los primeros 30 cm, según resultados de Mendoza-Vega *et al.* (2003) (Tabla 34). Si bien los resultados presentados por estos autores se basan en el contenido orgánico del suelo para la zona de Chiapas (México), pueden servir de estimación para los suelos forestales de Extremadura.

Tabla 34. Contenido de carbono orgánico en el suelo según la subcategoría de Terreno Forestal.

Uso del terreno	C orgánico	Raíces finas	Total	Porcentaje
Bosques de quercíneas-perennifolias	149,0	31,8	180,8	100,0
Bosques de coníferas o mixtos	133,0	33,5	166,5	92,1
Bosques fragmentados	118,0	27,3	145,3	80,4
Terrenos abiertos (pastizales y cultivos)	84,0	3,2	87,2	48,2

Los factores de intensidad de gestión del terreno (**F_{IG}**) y de régimen de perturbación (**F_{RP}**) se toman de las estimaciones presentadas en el *Inventario de sumideros de CO₂ de Andalucía*; en el primer caso se

basa en la producción cuantitativa de madera y residuos generados en cada tipo de tratamiento selvícola y aprovechamiento forestal. El F_{RP} tiene en cuenta las dos perturbaciones más importantes que afectan a los Terrenos Forestales de Andalucía (que son similares en Extremadura), que son los incendios forestales y las plagas. La probabilidad de variación de las reservas de carbono del suelo debidas a un incendio forestal se relaciona con el modelo de combustible asociado a cada tipo de Terreno Forestal (Tabla 33).

Dada la importancia cuantitativa de las quercíneas en este tipo de terrenos, este factor de riesgo de incendios se corrige multiplicándolo por 0,95 para incluir la probabilidad de alteración derivada de “la seca”, enfermedad provocada por diversos factores (entre los que destaca el hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands.) que, en último término, provoca el decaimiento y muerte de los pies afectados.

Tabla 35. Factor de régimen de perturbación según el modelo de combustible del Terreno Forestal.

Modelo de combustible	% Arbolado	% Matorral	% Pastizal	F_{RP}
Modelo 0	-	< 66	> 35	0,90
Modelos 1 al 3	-	< 66	> 35	0,90
Modelos 4 al 7	< 30	> 70	-	0,80
Modelos 8 al 13	> 40	< 10	-	0,75

Como en el caso de la biomasa viva, se diferencian los suelos de los Terrenos Forestales que permanecen como tales y los Terrenos convertidos en cada una de las subcategorías en Terrenos Forestales durante los periodos 1990-2000 y 2000-2006; se considera que los cambios en los Terrenos que permanecen en la misma categoría se producen de forma constante y que los cambios en los Terrenos que se transforman en Forestales se producen al final del periodo. Al computar los cambios en la superficie de Terreno se han considerado las subcategorías de Terrenos Forestales, ya que cada categoría lleva asociada una combinación diferente de factores de ajuste. Como se ha comentado anteriormente, el primer periodo se describe según la nomenclatura CORINE a nivel 5º y el segundo periodo a nivel 3º.

Una vez conocidos los valores de los factores, el conjunto de factores de ajustes relacionados con el cambio de las reservas de carbono en los suelos de Terrenos Forestales (F_{TF} , F_{IG} y F_{RP}) (Tabla 36) se hallan los valores de COS_{0-t} y de COS_0 multiplicando dichos factores por el COS_{REF} correspondiente a cada periodo (Ecuación 13; Tabla 35).

Tabla 36. Factores de ajuste asociados a cada tipo de Terreno Forestal (Agudo *et al.*, 2007).

Denominación (CORINE)	F _{FT}	F _{MI}	F _{DR}	F _{total}
Terrenos agrícolas con espacios de vegetación natural	0,80 Bosques fragmentados	1,05 Podas y gradeos	0,86 Modelos 1 al 3	0,76
Sistemas agroforestales	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,85 Podas, clareos, claras y cortas	0,75 Modelos 8 al 13	0,57
Perennifolias esclerófilas y quejigales	1,00 Bosques de quercineas perennifolias	1,05 Podas	0,71 Modelos 8 al 13	0,75
Caducifolias y rebollares	1,00 Bosques de quercineas	1,10 Podas y desbroces	0,71 Modelos 8 al 13	0,82
Otras frondosas de plantación	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,80 Clareos, claras y cortas	0,75 Modelos 8 al 13	0,54
Pináceas	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,80 Clareos, claras y cortas	0,75 Modelos 8 al 13	0,54
Bosque mixto	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,85 Podas, clareos, claras y cortas	0,71 Modelos 8 al 13	0,54
Pastizales supraforestales	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,85 Podas, clareos, claras y cortas	0,90 Modelos 1 al 3	0,69
Grandes formaciones de matorral más o menos denso	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,90 Podas, clareos, claras, cortas y desbroces	0,75 Modelos 8 al 13	0,64
Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,90 Podas, clareos, claras, cortas y desbroces	0,71 Modelos 8 al 13	0,64
Matorral boscoso de transición	0,90 Bosques de coníferas / mixtos	0,90 Podas, clareos, claras, cortas y desbroces	0,75 Modelos 8 al 13	0,64
Zonas quemadas	0,50 Terrenos abiertos (pastizales y cultivos)	1,00 Repoblaciones	0,90 Modelos 1 al 3	0,45

Tabla 37a. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Terrenos Forestales que permanecen como tales en 1990.

Denominación (CORINE) 1990	F total	Superficie <i>ha</i>	COS _{REF} <i>t C</i>	COS ₁₉₉₀ <i>t C</i>
Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	0,76	59.479	2.132.333	1.620.573
Sistemas agroforestales	0,57	1.006.461	36.081.623	20.566.525
Perenifolias esclerófilas y quejigales	0,75	124.108	4.449.268	3.336.951
Caducifolias y rebollares	0,82	51.859	1.859.156	1.524.508
Otras frondosas de plantación	0,54	82.976	2.974.672	1.606.323
Pináceas	0,54	76.196	2.731.616	1.475.073
Boxque mixto	0,54	210.825	7.558.080	4.081.363
Pastizales supraforestales	0,69	291.415	10.447.231	7.208.590
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	0,64	308.263	11.051.236	7.072.791
Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos	0,64	3.899	139.772	89.454
Matorral boscoso de transición	0,64	8.328	298.566	191.082
Zonas quemadas	0,45	12.539	449.516	202.282
TOTAL				48.975.515

Tabla 37b. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Terrenos Forestales que permanecen como tales en 2000.

Denominación (CORINE) 2000	F total	Superficie <i>ha</i>	COS _{REF} <i>t C</i>	COS ₂₀₀₀ <i>t C</i>
Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	0,76	59.367	2.178.015	1.655.291
Sistemas agroforestales	0,57	1.038.152	38.087.305	21.709.764
Perenifolias esclerófilas y quejigales	0,75	112.355	4.122.033	3.091.525
Caducifolias y rebollares	0,82	54.753	2.008.773	1.647.194
Otras frondosas de plantación	0,54	76.269	2.798.113	1.510.981
Pináceas	0,54	77.779	2.853.533	1.540.908
Boxque mixto	0,54	189.603	6.956.090	3.756.289
Pastizales supraforestales	0,69	276.015	10.126.336	6.987.172
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	0,64	304.342	11.165.576	7.145.968
Matorrales subarbusivos o arbustivos muy poco densos	0,64	4.584	168.165	107.626
Matorral boscoso de transición	0,64	7.112	260.911	166.983
Zonas quemadas	0,45	1.100	40.371	18.167
TOTAL				49.337.868

La cantidad de carbono fijado por los suelos de los Terrenos Forestales que permanecen como Forestales en los años 1990 y 2000 fue igual a 48.975.515 t C y 49.337.868 t C, respectivamente (Tablas 37a y 37b). Considerando que los cambios se producen de forma constante, la tasa de acumulación anual de carbono es la diferencia de carbono almacenado en los años 1990 y 2000 dividida entre el número de años transcurrido, esto es, 36.235 t C año⁻¹.

Los cálculos anteriores pueden aplicarse al año 2006 (Tabla 38), obteniéndose una acumulación total de carbono en los suelos de los Terrenos Forestales que permanecen como Forestales igual a 49.581.580 t C. De esta forma, asumiendo una tasa constante de cambio, la acumulación anual de carbono es la diferencia de carbono almacenado en los años 2000 y 2006 dividida entre el número de años transcurrido, esto es, 40.619 t C año⁻¹.

Tabla 38. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Terrenos Forestales que permanecen como tales el año 2006.

Denominación (CORINE) 2006	F total	Superficie ha	COS _{REF} t C	COS ₂₀₀₆ t C
Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	0,76	60.053	2.194.841	1.668.080
Sistemas agroforestales	0,57	1.037.119	37.905.241	21.605.987
Perenifolias esclerófilas y quejigales	0,75	239.388	8.749.309	6.561.982
Pináceas	0,54	77.770	2.842.396	1.534.894
Boxque mixto	0,54	4.584	167.528	90.465
Pastizales supraforestales	0,69	7.112	259.923	179.347
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	0,64	461.646	16.872.530	10.798.419
Matorral boscoso de transición	0,64	304.607	11.132.961	7.125.095
Zonas quemadas	0,45	1.053	38.471	17.312
TOTAL				49.581.580

Por su parte, el cálculo de los cambios en la reserva de carbono en el suelo, en los **Terrenos que se convierten en Forestales**, se basa en la base de datos CORINE (cambios de usos del Terreno). Únicamente se consideran los cambios entre categorías de Terrenos, pero no los cambios de uso entre las subcategorías de Terreno. En el periodo 1990-2000 se produjo un incremento de carbono igual a 208.456 t C, lo que supone una tasa anual de captación de carbono por parte de los suelos de Terrenos convertidos en Forestal igual a 20.846 t C año⁻¹ (Tabla 39).

Tabla 39. Estimación del carbono acumulado en los suelos minerales de los Terrenos convertidos en Forestales entre 1990 y 2000.

Categoría final del Terreno (CLC)	F total	Superficie ha	COS _{REF} t C	COS _{CLC} t C
Terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural	0,76	864,11	31.702	24.094
Sistemas agroforestales	0,57	1.095,03	40.174	22.899
Perenifolias esclerófilas y quejigales	0,75	79,77	2.927	2.195
Caducifolias y rebollares	0,82	82,12	3.013	2.470
Otras frondosas de plantación	0,54	130,61	4.792	2.588
Pináceas	0,54	23,54	864	466
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	0,64	1.320,19	48.435	30.998
Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos	0,64	2.566,73	94.167	60.267
Matorral boscoso de transición	0,64	2.660,90	97.622	62.478
TOTAL				208.456

La retención total de carbono por parte de los Terrenos que se convierten en Forestales en el periodo 2000-2006 fue igual a 50.546 t C (Tabla 40), lo que supone una tasa anual de captación de carbono por parte de los suelos de Terrenos convertidos en Forestal igual a 8.424 t C año⁻¹.

Tabla 40. Estimación del carbono acumulado en los suelos minerales de los Terrenos convertidos en Forestales entre 2000 y 2006.

Categoría final del Terreno (CLC)	F total	Superficie ha	COS _{REF} t C	COS _{CLC} t C
Sistemas agroforestales	0,57	93	3.396	1.936
Perennifolias esclerófilas y quejigales	0,75	540	19.817	14.863
Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	0,64	457	16.769	10.732
Matorral boscoso de transición	0,64	931	34.170	21.869
Zonas quemadas	0,45	69	2.546	1.146
TOTAL				50.546

A.2.2. Terrenos Forestales asentados sobre suelos orgánicos

Del mismo modo que en los suelos minerales, la acumulación o pérdida de carbono en suelos orgánicos se debe al balance entre entradas y salidas. Cuando las condiciones de lluvia o humedad dificultan en mayor o menor medida la descomposición de la materia orgánica, el aporte de materia orgánica puede ser superior a las pérdidas por descomposición, y la materia orgánica se acumula. La dinámica del carbono en los suelos orgánicos está estrechamente vinculada a los regímenes hidrológicos del lugar: la humedad disponible, la profundidad de la capa freática, y las condiciones de reducción-oxidación (Thormann *et al.*, 1999); aunque también a la composición de la especie vegetal considerada y la química de los detritus (Yavitt *et al.*, 1997).

El drenaje de los suelos orgánicos libera CO₂ por oxidación de la materia orgánica en la capa aeróbica. La magnitud de las emisiones de CO₂ está relacionada con la profundidad del drenaje, con la fertilidad y consistencia de la turba, y con la temperatura (Martikainen *et al.*, 1995). El CO₂ liberado de la oxidación de la materia orgánica tras el drenaje se considera antropógeno, en tanto que las emisiones procedentes de turberas forestadas no drenadas y no gestionadas se consideran naturales, por lo que no son tenidas en cuenta. De esta forma, la cantidad de carbono liberada en relación al proceso de drenaje se determina multiplicando la superficie de suelo drenada por un factor de emisión (el valor por defecto para climas templados es 0,86 t C ha⁻¹ año⁻¹ Directrices del IPCC). Dado que los cambios en las existencias de carbono están relacionados con el drenaje (práctica que no se lleva a cabo en la región) y que la importancia cuantitativa de este tipo de suelos en la superficie extremeña es escasa, no se aplicará este método.

A.2.3. Cambio anual total en el suelo en Terrenos Forestales (ΔC Forestales)

En coherencia con el apartado anterior, la cantidad de carbono capturado por los suelos de Terrenos Forestales es la calculada para los suelos minerales, ya que se consideran insignificantes las movilizaciones debidas a aportes de carbonatos y la presencia de suelos orgánicos. Considerando en conjunto los Terrenos Forestales que permanecen como tales y los Terrenos convertidos en Forestales, resulta que los suelos minerales del conjunto de Terrenos Forestales capturaron anualmente 57.081 t C año⁻¹, durante el periodo 1990-2000 y 49.043 t C año⁻¹ durante el periodo 2000-2006, lo que equivale a 209 Gg CO₂ y 180 Gg CO₂ año⁻¹ respectivamente, en el conjunto de cada periodo (Tabla 41).

Tabla 41. Cambio anual total en los suelos de Terrenos Forestales (FF: Terrenos Forestales que continúan como tales; LF: cambios de carbono en el suelo debidos a cambios de uso del Terreno; ΔC Forestales: cambio total de carbono en el suelo de Terrenos Forestales; ΔCO_2 Forestales: captación de CO₂ por el suelo de Terrenos Forestales).

Periodo	FF <i>t C año⁻¹</i>	LF <i>t C año⁻¹</i>	ΔC Forestales <i>t C año⁻¹</i>	ΔCO_2 Forestales <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	36.235	20.846	57.081	209,30
2000-2006	40.619	8.424	49.043	179,82

No obstante, hay que señalar que estas estimaciones están basadas en factores globales, cuyo ajuste con los suelos forestales de Extremadura ha de ser analizado. Para ello habría que diseñar muestreos de campo que permitieran conocer los contenidos reales de carbono en el suelo, así como los valores de los factores que afectan a su movilización, tal como ya viene desarrollándose en diferentes lugares del mundo, en los que se ha encontrado una correlación entre la diversidad y la acumulación de carbono en el suelo en diferentes tipos de terrenos (Scherer-Lorenzen *et al.*, 2005; Vilá *et al.*, 2005; Kirkby y Potvin, 2007).

A.3. Cambios en el reservorio de carbono en la materia orgánica muerta

En las *Directrices del IPCC* se supone por defecto que en esos depósitos las aportaciones compensan las pérdidas, de manera que las variaciones netas de las reservas de carbono en la materia orgánica muerta resultan nulas y se mantiene el valor de este sumidero constante a lo largo del tiempo. No obstante, las *Directrices del IPCC* subrayan la necesidad de recopilar la información necesaria y diseñar una metodología adecuada que permita estimar valores más exactos, si bien se tienen en cuenta las dificultades que plantea la cuantificación de sus dos componentes:

- **Madera muerta**, cuya tasa de descomposición y volumen dependen de la fecha de la última alteración, la cantidad de material muerto, la tasa de mortalidad natural, etc. La evaluación de los cambios en la reserva de carbono relacionados con la madera muerta requiere la cuantificación de la biomasa talada y abandonada en el lugar, así como la mortalidad natural y la biomasa acumulada tras cualquier tipo de alteración. Adicionalmente se precisa estimar las tasas de descomposición de todos estos elementos.
- La **cantidad de detritus acumulados** anualmente depende del tipo de material depositado en el suelo (hojas, ramas, frutos...), a su vez relacionado con la forma de gestión del terreno, y de la tasa de descomposición de este material. Para calcular su contribución a la variación de las reservas de carbono en este sumidero, se debe calcular la variación anual neta en un periodo de tiempo.

A.4. Epílogo de Terrenos Forestales

Los Terrenos Forestales representan un componente fundamental en la lucha contra el cambio climático, ejerciendo de sumideros netos de carbono. En Extremadura se ha experimentado un importante incremento del volumen de biomasa principal entre los dos inventarios forestales nacionales más recientes. Así, desde el *IFN2* al *IFN3* la biomasa principal aumentó el 74,47%, lo que supone un crecimiento del 40,06% superior al crecimiento medio nacional, en este caso del 53,17%. Esta evolución ha tenido un efecto muy positivo en la capacidad de absorción de carbono por parte de la biomasa de los Terrenos Forestales de Extremadura.

La *Ley 10/2006, de Montes*, incluye entre sus principios inspiradores la “Adaptación de los montes al Cambio Climático, fomentando una gestión encaminada a la resiliencia y resistencia de los montes al mismo”. En su Capítulo I prevé la elaboración de datos estadísticos sobre el “Estado de protección y conservación de los principales ecosistemas forestales españoles y los efectos del cambio climático sobre ellos”, y en su Disposición Adicional Séptima se indica que las Administraciones Públicas deberán elaborar, en el ámbito del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, un estudio sobre las necesidades de adaptación del territorio forestal español al cambio climático, incluyendo un análisis de los métodos de ordenación y tratamientos selvícolas más adecuados para dicha adaptación. Conscientes de la importancia de la mejora de los Terrenos Forestales, la Junta de Extremadura ha realizado una decidida apuesta por el fomento de la capacidad de estos sumideros naturales de CO₂, mediante un Programa Operativo específico incluido en el Plan Forestal de Extremadura, cuyos objetivos incluyen:

- Aumentar los niveles de dióxido de carbono atmosférico fijado en las cubiertas forestales extremeñas.
- Conservar y mejorar las cubiertas vegetales forestales como sistemas potenciales de fijación de gases del efecto invernadero.
- Fomentar actuaciones forestales que minimicen las emisiones de dióxido de carbono y supongan un balance positivo en la lucha contra el efecto invernadero.
- El ahorro energético en las dependencias, instalaciones y equipos de los servicios forestales y ambientales de la Junta de Extremadura.

Para alcanzar estos objetivos, se han planificado una serie de actuaciones prioritarias entre las que destacan:

- Incrementar la superficie arbolada forestal a través de forestaciones y repoblaciones.
- Potenciar el efecto sumidero de carbono atmosférico y el buen estado selvícola de la cubierta arbolada forestal mediante cambios de especie.
- Realizar una gestión sostenible de bosques y dehesas, basada en el aumento de la densidad de la cubierta arbórea, la diversificación e introducción de nuevas especies y la selección de especies entre las existentes, que suponga un aumento en la eficacia como sumidero de carbono atmosférico.
- Realizar actuaciones de prevención y defensa contra incendios forestales, plagas y enfermedades forestales para defensa de los sumideros de carbono atmosférico y evitar las emisiones de CO₂ de los incendios.
- Establecer un código de buenas prácticas y técnicas para la eliminación de restos forestales alternativas a las quemadas, que disminuyan la emisión de gases nocivos para el efecto invernadero a la atmósfera.
- Desarrollar plantas de producción de energía a partir de biomasa forestal, cuyo balance de emisiones sea positivo en relación con el uso de combustibles tradicionales.

Reconocido el importante papel que desempeñan los montes extremeños en la fijación y retención del CO₂ atmosférico, la política forestal está dirigida a su conservación, favoreciendo su regeneración e incrementando su biomasa leñosa. Así mismo se apuesta por la creación de nuevas áreas forestales mediante plantaciones, en las que las especies y usos de los productos obtenidos determinarán en buena medida el tiempo de retención del carbono.

B. CULTIVOS

Esta categoría de Terreno es una pieza clave de la economía de Extremadura, tanto por su aportación directa al PIB regional (10,5%) como al empleo (15,4%).

Dentro del conjunto de terrenos agrícolas, hay que diferenciar los Cultivos Anuales, donde el ciclo de vida de las especies herbáceas determina que no exista acumulación de carbono a largo plazo, y los Cultivos Arbóreos, en los que los individuos permanecen a lo largo del tiempo, con la consecuente captación y liberación de carbono. A efectos del cómputo de reservas de carbono, únicamente se considera el segundo subconjunto, Cultivos Arbóreos, en los que la capacidad de fijación de carbono está determinada por las especies que ocupen el terreno, sus tasas de crecimiento, así como de la propia gestión del terreno, esto es, densidad de plantación, poda, recolección de frutos, etc. Además, la categoría Cultivos está dividida entre Cultivos que permanecen como Cultivos y Terrenos que se convierten en Cultivos.

Las reservas de carbono de los Cultivos que continúan siendo Cultivos se calculan según la Ecuación 5 (Terrenos Forestales), como la suma del contenido de carbono de la biomasa y de los suelos. En este caso no se contabiliza la materia orgánica ya que las *Directrices del IPCC* no ofrecen ninguna metodología por defecto para la misma.



Fotografía 10. Cultivo arbóreo de frutales.

B.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva

B.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Cultivos que permanecen como tales

Siguiendo el “método por defecto” (Ecuación 1), los cambios de carbono en la biomasa vendrán dados por la diferencia entre las ganancias por crecimiento y las pérdidas por cortas y perturbaciones. Los cambios en la biomasa subterránea se consideran nulos.

B.1.1.1. Incremento de las existencias de carbono por crecimiento de la biomasa

Como se ha comentado anteriormente, únicamente los Cultivos Arbóreos se consideran a efectos de cómputo de cambios en la reserva de carbono, ya que se supone que en los Cultivos Anuales no existe acumulación neta anual de biomasa, esto es, el incremento asociado al crecimiento se pierde por mortalidad y cosechas. No obstante, se ha incluido la totalidad de la superficie de Extremadura en alguna de las seis categorías de Terrenos (Tabla 42) usando para ello el CORINE 1990 y 2000. De forma análoga al caso de los Terrenos Forestales, se ha considerado que la superficie de Cultivo que permanece como tal en el año 1990 corresponde a la superficie total de Cultivos, mientras que la superficie de Cultivo que permanece como tal en el año 2000 es la diferencia entre la superficie total de Cultivos y la que se ha convertido en Cultivo durante este periodo.

Tabla 42. Superficie total de Cultivos. 2000* se refiere a la superficie de Cultivos que permanecen como Cultivos.

Denominación (CORINE)	Categoría AFOLU	1990 ha	2000 ha	2000* ha
Tierras de labor en secano	Cultivo Anual	610.162,50	578.650,10	563.975,69
Cultivos herbáceos en regadío	Cultivo Anual	196.988,10	205.382,20	195.092,82
Arrozales	Cultivo Anual	14.517,00	27.778,40	26.964,94
Mosaico de cultivos anuales con pastizales	Cultivo Anual	27.445,70	26.890,60	26.890,60
Total	Cultivo Anual	849.113,40	838.701,30	812.924,05
Viñedos	Cultivo Arbóreo	55.618,20	56.680,60	54.671,10
Frutales en secano	Cultivo Arbóreo	9.702,50	9.567,30	7.928,69
Cítricos	Cultivo Arbóreo	31,40	31,40	31,40
Otros frutales en regadío	Cultivo Arbóreo	5.354,20	7.094,40	4.962,52
Olivares	Cultivo Arbóreo	173.417,00	175.566,80	172.509,08
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	Cultivo Arbóreo	1.522,90	1.512,00	1.512,00
Mosaico de cultivos permanentes	Cultivo Arbóreo	61.952,60	60.841,00	60.841,00
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes	Cultivo Arbóreo	58.199,80	59.084,80	59.084,80
Total	Cultivo Arbóreo	365.798,70	370.378,30	361.540,59
TOTAL	CULTIVOS	1.214.912,20	1.209.079,60	1.174.464,64

Los cálculos referidos al periodo 2000-2006 se basan en la misma metodología expuesta para el periodo anterior, considerando que la base de datos CORINE CLC2006 está definida a nivel 3º, con lo que el grado de desagregación de las diferentes categorías de Cultivos es inferior. En conjunto, durante el año 2006 un total de 1.209.795 ha estaban ocupadas por cultivos, de las que 1.205.459 ha correspondían a Cultivos que permanecían como Cultivos durante el periodo 2000-2006 (Tabla 43).

Tabla 43. Superficie total de Cultivos. 2006* se refiere a la superficie de Cultivos que permanecen como Cultivos.

Denominación (CORINE)	Categoría AFOLU	2006 ha	2006* ha
Tierras de labor en secano	Cultivo Anual	576.810,60	576.121,33
Terrenos regados permanentemente	Cultivo Anual	206.041,46	204.913,43
Arrozales	Cultivo Anual	28.268,33	27.714,77
Mosaico de cultivos anuales con pastizales	Cultivo Anual	26.890,60	26.890,60
Total	Cultivo Anual	838.011,00	835.640,13
Viñedos	Cultivo Arbóreo	57.995,27	56.507,35
Frutales	Cultivo Arbóreo	16.765,50	16.605,16
Olivares	Cultivo Arbóreo	175.768,20	175.499,35
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	Cultivo Arbóreo	1.494,33	1.494,33
Mosaico de cultivos permanentes	Cultivo Arbóreo	119.760,33	119.712,54
Total	Cultivo Arbóreo	371.783,63	369.818,74
TOTAL	CULTIVOS	1.209.794,63	1.205.458,86

Dada la importancia cuantitativa y cualitativa de los olivares en el conjunto de los Cultivos Arbóreos y que, es el cultivo arbóreo del que se tiene información más precisa, los cálculos de los cambios de la reserva de carbono de este tipo de Terrenos se basan en ellos. Para conocer la totalidad de superficie ocupada por olivos se ha considerado que el 50% de las categorías denominadas "Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes", "Mosaico de cultivos permanentes" y "Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes" (Tablas 42 y 43) está ocupada por esta especie vegetal, además lógicamente, del 100% de la categoría "Olivares". De esta forma, la superficie total de olivar en Extremadura asciende a 234.255 ha, 236.286 ha y 236.396 ha en los años 1990, 2000 y 2006 respectivamente, cifras que coinciden con las estadísticas agrarias del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.



Fotografía 11. Olivar de Orellana de la Sierra (Badajoz).

Asumiendo ahora una densidad media de 150 pies ha^{-1} , el número total de olivos correspondiente a las tres fechas consideradas (1990, 2000 y 2006) sería igual a 35.138.198, 35.442.855 y 35.459.330, respectivamente. Se ha considerado que el número total de olivos presentes en Extremadura se distribuye uniformemente entre las tres clases diamétricas más comunes en esta especie, esto es, clases diamétricas 15, 20 y 25.

Para calcular el incremento de las existencias de carbono por crecimiento del olivar, los valores modulares de incremento anual de carbono de cada clase diamétrica (Montero *et al.*, 2005) se multiplican por el número de pies correspondiente y el resultado es la cantidad de carbono acumulado anualmente (Tabla 44).

Tabla 44. Incremento anual de carbono de los olivos presentes en Extremadura en los años 1990, 2000 y 2006.

CD	Valor modular	1990		2000		2006	
		Nº pies	Biomasa total	Nº pies	Biomasa total	Nº pies	Biomasa total
cm	Kg C año ⁻¹		t C año ⁻¹		t C año ⁻¹		t C año ⁻¹
10	1,96	11.712.733	23.000	11.814.285	23.199	11.819.777	23.210
15	3,93	11.712.733	45.999	11.814.285	46.398	11.819.777	46.419
20	4,2	11.712.733	49.193	11.814.285	49.620	11.819.777	49.643
TOTAL		35.138.198	118.192	35.442.855	119.217	35.459.330	119.272

Al referir las cantidades de carbono obtenidas en la tabla anterior a la superficie total de olivar del año correspondiente, se obtiene la cantidad de carbono acumulado por hectárea de olivar y año, esto es, 0,51 t C ha⁻¹ año⁻¹. Como se ha comentado previamente, este incremento de carbono se aplicará a todos los Cultivos Arbóreos presentes en Extremadura. Finalmente, el producto del incremento anual de carbono por hectárea por la superficie de Cultivo de cada año da como resultado la cantidad total de carbono fijado por los Cultivos Arbóreos que permanecen como tales (Tabla 45).

Tabla 45. Incremento anual de carbono de los Cultivos Arbóreos que permanecen como tales.

Año	Superficie CC	Carbono acumulado	CC _{ganancias}
	ha	t C año ⁻¹ ha ⁻¹	t C año ⁻¹
1990	365.799	0,51	186.558
2000	361.541	0,51	184.386
2006	369.819	0,51	188.608

Por tanto, la biomasa de los Cultivos que permanecen como Cultivos en el periodo 1990-2000 fijó anualmente una media de $185.472 \text{ t C año}^{-1}$, mientras que durante el periodo 2000-2006 esta tasa fue igual a $186.497 \text{ t C año}^{-1}$.

B.1.1.2. Disminución de las existencias de carbono por pérdidas de biomasa (PCCC)

La *GBP 2003* asume que toda la biomasa acumulada anualmente se pierde en las cosechas; no obstante, no pueden utilizarse valores generales de producción para la totalidad de los terrenos agrícolas, ya que éstos dependen del tipo de cultivo, la gestión del terreno y la propia zona en la que se desarrolla el cultivo. De acuerdo con los datos de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Extremadura, la producción media de aceitunas en los olivares extremeños es igual a $0,54 \text{ t C año}^{-1}$, pero este valor no es asumible para el conjunto de Cultivos Arbóreos de la región.

Otros autores consideran que las pérdidas anuales de biomasa están relacionadas con su extracción en forma de talas (Agudo *et al.*, 2007). En términos generales, la poda de olivar, realizada generalmente cada dos años, produce alrededor de 25 Kg de leña por árbol (Hernández *et al.*, 2004). Sin embargo, las prácticas de poda son muy diferentes en distintas regiones españolas y adoptar este valor general induciría a errores significativos en el cálculo de pérdidas de las reservas de carbono. Actualmente se carece de datos específicos de podas de los olivos (u otras especies agrícolas) de Extremadura. Si se asume, como en el apartado anterior, una densidad media de 150 pies por hectárea, los 25 Kg de leña por árbol resultarían en una pérdida igual a $1.875 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ($0,94 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Este valor puede asumirse con reservas, pero habría que estimarlo utilizando datos reales de los cultivos extremeños.

B.1.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos que pasan a Cultivos (LC)

Como se ha explicado anteriormente, la variación en la biomasa de los Cultivos Anuales se considera nula, ya que las ganancias de carbono en la biomasa como consecuencia del crecimiento anual están compensadas por las pérdidas en la recolección. Por ello, esta sección se refiere exclusivamente a la implantación de Cultivos Arbóreos. No obstante, en esta sección se indican todas las transformaciones a la categoría Cultivos que tuvieron lugar en el periodo 1990-2000 (Tabla 46).

Tabla 46. Superficie de Terrenos convertidos en Cultivos entre los años 1990 y 2000.

Categoría final 2000	Categoría anterior 1990	Superficie ha
Cultivo Anual	Forestal	8.921,51
Cultivo Anual	Cultivo Arbóreo	1.904,46
Cultivo Anual	Pastizal	16.576,91
Cultivo Anual	Ríos	7,41
Cultivo Anual	Embalses	5,56
Cultivo Arbóreo	Forestal	2.073,72
Cultivo Arbóreo	Cultivo Anual	4.818,81
Cultivo Arbóreo	Pastizal	540,24
TOTAL		34.848,63

La Ecuación 4 indica que para calcular los cambios en la reserva de carbono en Terrenos que cambian de uso es necesario estimar las reservas de carbono en la biomasa viva antes y después de la conversión.

$$\Delta C_{ij} = A_{\text{conversión}} * (L_{\text{conversión}} + \Delta C_{\text{crecimiento}}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Siendo,

$$L_{\text{conversión}} = C_{\text{posterior}} - C_{\text{anterior}}$$

donde,

ΔC_{ij} es el cambio de carbono en la biomasa en la conversión del uso i al uso j

$A_{\text{conversión}}$ es la superficie que cambia de uso (ha)

$\Delta C_{\text{crecimiento}}$ es el carbono en el primer año de crecimiento de la vegetación ($t \text{ C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

$L_{\text{conversión}}$ es el cambio anual de carbono para cada tipo de conversión ($t \text{ C ha}^{-1}$)

$C_{\text{posterior}}$ es la reserva de carbono inmediatamente después de la conversión ($t \text{ C ha}^{-1}$)

C_{anterior} es la reserva de carbono inmediatamente antes de la conversión ($t \text{ C ha}^{-1}$)

De acuerdo con las indicaciones de la *GBP 2003*, y según se explicó en el apartado de metodología, se ha supuesto que la vegetación predominante se elimina completamente ($C_{anterior} = 0$). El $\Delta C_{crecimiento}$ para el cambio a Cultivo Arbóreo se ha determinado tomando como referencia el olivar, resultando $3,36 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Tabla 47. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Cultivos Arbóreos en el periodo 1990 - 2000.

Categoría anterior 1990	Superficie ha	C _{posterior} t C ha ⁻¹	C _{anterior} t C ha ⁻¹	$\Delta C_{crecimiento}$ t C ha ⁻¹ año ⁻¹	Cambio carbono t C ha ⁻¹	Cambio carbono t C
Forestal	2.073,72	0	14,88	3,36	-11,52	-23.889,25
Cultivo Anual	4.818,81	0	0,00	3,36	3,36	16.191,20
Pastizal	540,24	0	0,00	3,36	3,36	1.815,21
TOTAL	7.432,77	-	-	-	-	-5.882,85

Si se considera que los cambios se producen de forma constante durante todo el periodo de tiempo, anualmente se transformarían 743 ha en Cultivos Arbóreos y la tasa anual de pérdida de carbono asociada a dichos cambios sería igual a 588 t C año^{-1} (Tabla 47). Los cambios que implican ganancia de carbono se indican con signo positivo, en tanto que los cambios de terrenos que conllevan pérdidas de carbono, se expresan con signo negativo.

En el periodo 2000-2006 se transformaron 4.335,77 ha a Cultivos (Tabla 48); las categorías anteriores de estos terrenos eran fundamentalmente Forestal, Cultivo Anual y Pastizal.

Tabla 48. Superficie de Terrenos convertidos en Cultivos entre los años 2000 y 2006.

Categoría final 2006	Categoría anterior 2000	Superficie ha
Cultivo Anual	Forestal	1.148,45
Cultivo Anual	Cultivo Arbóreo	137,01
Cultivo Anual	Pastizal	1.085,41
Cultivo Arbóreo	Forestal	352,21
Cultivo Arbóreo	Cultivo Anual	1.587,38
Cultivo Arbóreo	Pastizal	25,31
TOTAL		4.335,77

Siguiendo la Ecuación 4, se ha calculado el cambio en la reserva de carbono asociado a los Terrenos que se convirtieron en Cultivos Arbóreos durante el periodo 2000-2006 (Tabla 49). Dado que la práctica totalidad de nuevos Cultivos Arbóreos proceden de Terrenos ocupados por Cultivos Anuales, modalidad en la que la metodología considera que la acumulación anual de carbono es nula, estos cambios de uso conllevan un incremento anual de carbono igual a 226,86 t C año⁻¹.

Tabla 49. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Cultivos Arbóreos en el periodo 2000 - 2006.

Categoría anterior	Superficie	C _{posterior}	C _{anterior}	$\Delta C_{\text{crecimiento}}$	Cambio carbono	Cambio carbono
2000	ha	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹ año ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C
Forestal	352,21	0	14,88	3,36	-11,52	-4.057,46
Cultivo Anual	1.587,38	0	0	3,36	3,36	5.333,60
Pastizal	25,31	0	0	3,36	3,36	85,04
TOTAL	1.964,90	-	-	-	-	1.361,18

B.1.3. Cambio anual total en la biomasa en Cultivos (ΔC Cultivos)

Considerando todos los Terrenos cuyo uso final es "Cultivos", independientemente de su categoría inicial, la cantidad anual de carbono acumulada en la biomasa de Cultivos arbóreos durante el periodo 1990-2000 es igual a 184.883 t C año⁻¹, equivalentes a 678 Gg CO₂ año⁻¹ y durante el periodo 2000-2006 igual a 186.723 t C año⁻¹, equivalentes a 685 Gg CO₂ año⁻¹ (Tabla 50). Los cambios que implican ganancia de carbono se indican con signo positivo, en tanto que los cambios de terrenos que conllevan pérdidas de carbono, se expresan con signo negativo. Es necesario señalar que debe ajustarse la estimación de la disminución de carbono por pérdidas de biomasa relacionadas con el volumen de las podas y de las cosechas.

Tabla 50. Cambio anual total en la biomasa de los Terrenos ocupados por Cultivos Arbóreos (CCganancias: incremento de biomasa en Terrenos que continúan siendo Cultivos; PCCC: pérdidas de biomasa en Cultivos; LC: cambios de carbono en la biomasa debidos a cambios de uso del Terreno; ΔC Cultivos: cambio total de carbono en la biomasa de Cultivos; ΔCO₂ Cultivos: captación de CO₂ por la biomasa de Cultivos).

Periodo	CCganancias <i>t C año⁻¹</i>	PCCC <i>t C año⁻¹</i>	LC <i>t C año⁻¹</i>	ΔC Cultivos <i>t C año⁻¹</i>	ΔCO ₂ Cultivos <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	185.472	-0,94	-588,29	184.882,78	677,90
2000-2006	186.497	-0,94	226,86	186.722,92	684,65

B.2. Cambios en el reservorio de carbono en el suelo (ΔCCC Suelos)

Para estimar los cambios en la reserva de carbono en los suelos de Cultivos se ha seguido el “método de ganancias y pérdidas”, con Nivel 1, esto es, utilizando los parámetros propuestos por defecto en las *Directrices del IPCC* y considerando que las variaciones del carbono en materia orgánica muerta y del carbono inorgánico son nulas. Como en los Terrenos Forestales, el método diferencia suelos minerales y suelos orgánicos, a lo que se añaden las enmiendas con cal (Ecuación 14).

$$\Delta CCC_{Suelos} = (\Delta CCC_{Mineral} - \Delta CCC_{Orgánico} - \Delta CCC_{Enmiendas})$$

Ecuación 14

donde,

ΔCCC_{Suelos} es el cambio anual de existencias de carbono en suelos de Cultivos (t C año⁻¹)

ΔCCC_{Mineral} es el cambio anual de existencias de carbono en suelos minerales (t C año⁻¹)

ΔCCC_{Orgánico} son las emisiones anuales de carbono de suelos orgánicos cultivados (t C año⁻¹)

ΔCCC_{Enmiendas} son las emisiones anuales de carbono por enmiendas calizas (t C año⁻¹)

Por defecto, las reservas de carbono en suelos agrícolas se miden hasta una profundidad de 30 cm, donde no se incluyen los residuos superficiales ya que éstos se eliminan en las labores agrícolas, ni las variaciones del carbono de los residuos superficiales, es decir, de los minerales carbonatados.

B.2.1. Suelos minerales ($\Delta CCC_{\text{Mineral}}$)

La Ecuación 15 expresa el modo de llevar a cabo el cálculo de la variación de las reservas de carbono en suelos minerales y está basada en los cambios producidos en un periodo de tiempo finito.

$$\Delta CCC_{\text{Mineral}} = [(COS_0 - COS_{0-T}) * A] / T$$

Ecuación 15

Siendo,

$$COS = COS_{\text{REF}} * F_{\text{UT}} * F_{\text{RG}} * F_{\text{E}}$$

donde,

COS_0 es la reserva de carbono orgánico en el suelo en el año del inventario ($tC \text{ año}^{-1}$)

COS_{0-T} es la reserva de carbono orgánico en el suelo T años antes del inventario ($tC \text{ año}^{-1}$)

A es el área de cada parcela

T es el periodo de tiempo que dura el inventario

COS_{REF} es el carbono de referencia ($tC \text{ año}^{-1}$)

F_{UT} es el factor de variación para cada uso del Terreno o para cada cambio de uso (adimensional)

F_{RG} es el factor de variación para el régimen de gestión o técnica de preparación del terreno (adimensional)

F_{E} es el factor de variación de las reservas de carbono por entrada de materia orgánica (adimensional)

De acuerdo con la GBP2003, las etapas a seguir para estimar COS_0 y COS_{0-T} , y la variación neta de las reservas de carbono en el suelo son las siguientes:

- 1) **Selección del valor de las reservas de carbono de referencia (COS_{REF})**, atendiendo al tipo de clima y de suelo. En este caso se tomarán los valores correspondientes a los suelos de Terrenos Forestales, que son aquellos a los valores sugeridos por defecto para el área climática templada y seca (Tabla 31); estos valores son 38 t C ha^{-1} en suelos con minerales de arcilla de alta actividad, 24 t C ha^{-1} en suelos con minerales de arcilla de baja actividad, 19 t C ha^{-1} en suelos arenosos.
- 2) **Selección de los factores de variación existentes al comienzo del período de inventario**: el factor de variación dependiente del tipo de uso del Terreno destinado a Cultivo (F_{UT}), diferenciando los suelos cultivados durante largos períodos (arrozales y tierras agrícolas en barbecho), con respecto a las reservas de carbono en suelos sin cultivar; el factor relacionado con el régimen de gestión (F_{RG}), según la intensidad de laboreo y el factor de entrada de carbono (F_E). Estos factores, multiplicados por el valor de COS_{REF} , proporcionan la estimación de las reservas iniciales de carbono en el suelo (COS_{0-T}) para el período de inventario.
- 3) **Cálculo del valor de COS_T** repitiendo la etapa anterior y utilizando el mismo valor de referencia de las reservas de carbono (COS_{REF}), pero con unos factores de uso de la tierra, de gestión y de entrada que representen las condiciones existentes al final del periodo.
- 4) **Cálculo del promedio de la variación anual de las reservas de carbono en el suelo para la superficie considerada durante el período de inventario ($\Delta CCC_{Mineral}$)**, como la diferencia entre COS_{2000} y COS_{1990} , dividida entre 10 años (en el caso del primer periodo considerado), o la diferencia entre COS_{2006} y COS_{2000} , dividida entre 6 años (en el caso del segundo periodo considerado).

De acuerdo con la *GBP 2003*, el valor de los factores F_{UT} , F_{RG} y F_E está determinado por las condiciones climáticas, las características del suelo y el tipo de tratamiento del terreno que se practique en un determinado cultivo (Tabla 51).

Tabla 51. Factores relativos de variación de reservas para diferentes actividades de gestión de Cultivos.

Factor	Nivel	Clima	Valor GBP 2003	Descripción
Uso del terreno F_{UT}	Cultivo de larga duración	Templado Seco	0,82	Cultivos anuales, que permanecen más de 20 años. Considera el laboreo total y los aportes medios de carbono
Uso del terreno F_{UT}	Arrozal	Templado	1,10	Arrozales durante más de 20 años. No considera los factores de laboreo ni los aportes de carbono
Preparación F_{RG}	Completo	Templado	1,00	Alteración apreciable del suelo con inversión total de horizontes. Superficie cubierta por residuos < 30% durante la plantación
Preparación F_{RG}	Reducido	Templado Seco	1,03	Laboreos superficiales, sin inversión de horizontes. Superficie cubierta por residuos > 30% durante la plantación
Preparación F_{RG}	Sin laboreo	Templado Seco	1,10	Siembra directa sin labranza ni alteración del suelo Uso de herbicidas
Aportación F_E	Media	Templado Seco	1,00	Típicamente cereales en los que los residuos del cultivo se retornan al suelo o se agrega materia orgánica suplementaria

Como se explicó en el caso de los suelos de los Terrenos Forestales, estos valores por defecto se aplican a la subcategoría de Cultivo (Tabla 52). A diferencia de los cambios de las reservas de carbono en la biomasa viva de Cultivos, donde únicamente se contabilizaron los Cultivos Arbóreos, la variación de reservas de carbono en los suelos agrícolas se estima considerando todos los tipos de Cultivos, Anuales y Arbóreos.

Tabla 52. Factores de ajuste asociados a cada tipo de Cultivo.

Denominación (CORINE)	F _{UT}		F _{RG}		F _E	
Tierras de labor en secano	0,82	Largo tiempo	1,00	Completo	1,00	Medio
Cultivos herbáceos en regadío	0,82	Largo tiempo	1,00	Completo	1,00	Medio
Arrozales	1,10	Arrozal	1,00	Completo	1,00	Medio
Viñedos	0,82	Largo tiempo	1,00	Completo	1,03	Medio
Frutales en secano	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Cítricos	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Otros frutales en regadío	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Olivares	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Mosaico de cultivos permanentes	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes	0,82	Largo tiempo	1,03	Reducido	1,00	Medio

Una vez conocidos los valores del conjunto de factores de ajuste relacionados con el cambio de las reservas de carbono en los suelos de Cultivos (F_{UT} , F_{RG} y F_E), pueden calcularse COS_{0-T} y COS_0 multiplicando dichos factores por el COS_{REF} correspondiente a 1990, 2000 y 2006 (Tablas 53 y 54).

Tras multiplicar la cantidad de carbono acumulada en el suelo por la correspondiente superficie ocupada por cada subcategoría de terreno, según la base de datos CORINE para los años 1990 y 2000, se concluye que el carbono captado por los suelos de los Cultivos que permanecen como Cultivos fue igual a 36.142.452 t C y 35.800.875 t C, en los años 1990 y 2000 respectivamente. Asumiendo una dinámica constante de cambio, la tasa de cambio anual de las reservas de carbono en los suelos de Cultivos que permanecen como Cultivos durante el primer periodo considerado es de - 34.158 t C año⁻¹; el signo negativo implica que se produce una pérdida neta de carbono.

Los cálculos anteriores aplicados a la superficie de Cultivos que permanecen como tales en el año 2006 (Tabla 54), dan como resultado una acumulación total de carbono en los suelos igual a 35.999.516 t C. Si se considera una tasa constante de cambio, la acumulación anual de carbono durante el segundo periodo es la diferencia de carbono almacenado en los años 2000 y 2006 dividida entre el número de años transcurrido, esto es, 33.107 t C año⁻¹.

Tabla 53. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Cultivos que permanecen como tales en 1990 y 2000.

Denominación (CORINE) 1990	F _{total}	Superficie ha	COS _{REF} t C	COS ₁₉₉₀ t C
Tierras de labor en secano	0,82	610.162,54	21.874.326,98	17.936.948,12
Cultivos herbáceos en regadío	0,82	196.988,14	7.062.024,66	5.790.860,22
Arrozales	1,10	14.517,04	520.435,72	572.479,29
Viñedos	0,84	55.618,16	1.993.911,19	1.674.885,40
Frutales en secano	0,84	9.702,53	347.835,81	292.182,08
Cítricos	0,84	31,42	1.126,37	946,15
Otros frutales en regadío	0,84	5.354,22	191.948,80	161.236,99
Olivares	0,84	173.417,04	6.217.000,90	5.222.280,76
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,84	1.522,94	54.597,49	45.861,89
Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales	0,84	27.445,74	983.929,61	826.500,87
Mosaico de cultivos permanentes	0,84	61.952,63	2.221.001,86	1.865.641,57
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes	0,84	58.199,79	2.086.462,47	1.752.628,48
TOTAL				36.142.452

Tabla 53. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Cultivos que permanecen como tales en 1990 y 2000.

Denominación (CORINE) 2000	F total	Superficie ha	COS REF t C ha ⁻¹	COS 2000 t C
Tierras de labor en secano	0,82	563.976	20.636.998	16.922.339
Cultivos herbáceos en regadío	0,82	195.093	7.138.836	5.853.846
Arrozales	1,10	26.965	986.701	1.085.371
Viñedos	0,84	54.671	2.000.525	1.680.441
Frutales en secano	0,84	7.929	290.127	243.706
Cítricos	0,84	31	1.149	965
Otros frutales en regadío	0,84	4.963	181.589	152.534
Olivares	0,84	172.509	6.312.452	5.302.460
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,84	1.512	55.327	46.475
Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales	0,84	26.891	983.981	826.544
Mosaico de cultivos permanentes	0,84	60.841	2.226.294	1.870.087
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes	0,84	59.085	2.162.031	1.816.106
TOTAL				35.800.875

Tabla 54. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Cultivos que permanecen como tales 2006.

Denominación (CORINE) 2006	F total	Superficie ha	COS REF t C	COS 2006 t C
Tierras de labor en secano	0,82	576.121	20.653.950	16.936.239
Cultivos herbáceos en regadío	0,82	204.913	7.346.146	6.023.840
Arrozales	1,10	27.715	993.574	1.092.932
Viñedos	0,84	56.507	2.025.788	1.701.662
Frutales	0,84	16.605	595.295	500.048
Olivares	0,84	175.499	6.291.652	5.284.987
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,84	1.494	53.572	45.000
Mosaico de cultivos permanentes	0,84	119.713	4.291.695	3.605.023
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes	0,84	26.891	964.028	809.784
TOTAL				35.999.516

De forma análoga a lo aplicado en Terrenos convertidos en Forestales, en terrenos convertidos en Cultivos puede asumirse que los tipos de suelo sobre los que se asientan, se distribuyen proporcionalmente a los tipos de suelos minerales presentes en la región (Tablas 55 y 56).

Tabla 55. Carbono orgánico acumulado en los suelos minerales de los Terrenos convertidos en Cultivos entre 1990 y 2000.

Categoría final de Terreno	F_{total}	Superficie <i>ha</i>	COS_{REF} <i>t C</i>	COS_{CLC} <i>t C</i>
Tierras de labor en secano	0,82	14.674	528.132	433.068
Cultivos herbáceos en regadío	0,82	10.289	370.315	303.658
Arrozales	1,10	814	29.276	32.204
Viñedos	0,84	2.010	72.322	60.750
Frutales en secano	0,84	1.639	58.974	49.538
Otros frutales en regadío	0,84	2.132	76.726	64.450
Olivares	0,84	3.058	110.047	92.440
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,84	76	2.723	2.288
Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales	0,84	157	5.647	4.743
TOTAL				1.043.139

El cambio en la reserva de carbono en los suelos de los Terrenos convertidos en Cultivos durante el primer periodo considerado es igual a 104.314 t C año⁻¹ (Tabla 55). En cuanto al segundo periodo, las 4.336 ha transformadas en Cultivos suponen la captación anual de carbono igual a 22.492 t C año⁻¹ (Tabla 56).

Tabla 56. Carbono orgánico acumulado en los suelos minerales de los Terrenos convertidos en Cultivos entre los años 2000 y 2006.

Categoría final de Terreno	F _{total}	Superficie <i>ha</i>	COS _{REF} <i>t C</i>	COS _{CLC} <i>t C</i>
Tierras de labor en seco	0,82	689	24.807	20.342
Cultivos herbáceos en regadío	0,82	1.128	40.598	33.291
Arrozales	1,10	556	19.923	21.915
Viñedos	0,84	1.488	53.550	44.982
Frutales	0,84	160	5.771	4.847
Olivares	0,84	269	9.676	8.128
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,84	48	1.720	1.445
TOTAL				134.949

B.2.2. Suelos orgánicos ($\Delta CCC_{Orgánico}$)

La *GBP 2003* incluye un método por defecto para computar los cambios en la reserva de carbono de suelos orgánicos agrícolas (Ecuación 16). No obstante, como se ha comentado previamente, en el presente inventario se considera despreciable la superficie de este tipo de suelos presentes en la región y, por tanto, no se contabilizará la movilización de carbono.

$$\Delta CCC_{Orgánico} = A * FE$$

Ecuación 16

donde,

A es el área de suelos orgánicos cultivados (ha)
FE es el factor de emisión para cada tipo de clima (para clima templado cálido 10 t C ha⁻¹ año⁻¹)

B.2.3. Enmiendas calizas ($\Delta CCC_{Enmiendas}$)

La corrección de la acidez supone la neutralización de los hidrogeniones de la solución del suelo y el desplazamiento de los ubicados en el complejo de cambio por bases metálicas, típicamente el calcio. Las reacciones que tienen lugar en los suelos donde se aplican carbonatos producen en último lugar CO₂, que será liberado a la atmósfera. Si bien este proceso tiene una duración variable en función del tipo de carbonato añadido, de las características climáticas y del propio suelo; las *Directrices del IPCC* consideran que todo el CO₂ se emite el mismo año en que se realiza la enmienda.

La metodología para calcular las emisiones procedentes de enmiendas calizas consiste en multiplicar la cantidad de cal agrícola aplicada por un factor de emisión específico que dependerá de la composición del material añadido (Ecuación 17). El nivel básico propone por defecto un factor de emisión general igual a 0,12 para todo tipo de material de encalado, asumiendo que el contenido en carbono de los carbonatos es el 12%.

$$\Delta CCC_{Enmiendas} = M * FE$$

Ecuación 17

donde,

M es la cantidad anual de carbonato (t C año⁻¹)
FE es el factor de emisión (por defecto 0,12 t C)

En el caso de Extremadura prácticamente no se aplican enmiendas calizas, por lo que las emisiones procedentes de este tipo de prácticas pueden considerarse despreciables.

B.2.4. Cambio anual total en el suelo en Cultivos (ΔC Cultivos)

La cantidad de carbono capturado por los suelos de terrenos dedicados a Cultivos es la calculada para los suelos minerales, ya que las movilizaciones debidas a aportes de carbonatos y la presencia de suelos orgánicos se consideran insignificantes. Por tanto, integrando los cambios en la reserva de carbono de los suelos del conjunto total de Terrenos ocupados por Cultivos, se obtiene que dichos suelos acumulan anualmente 70.156 t C año⁻¹ durante el periodo 1990-2000 y 55.599 t C año⁻¹ durante el periodo 2000-2006 (Tabla 57).

En la medida que se desarrollen sistemas de trabajo que permitan obtener factores de ajuste más específicos para los Cultivos de la región, los balances de carbono resultantes serán más precisos.

Tabla 57. Cambio anual total en los suelos de Cultivos (CC: Cultivos que continúan siendo Cultivos; LC: cambios de carbono en el suelo debidos a cambios de uso del Terreno; ΔC Cultivos: cambio total de carbono en el suelo de Cultivos; ΔCO₂ Cultivos: captación de CO₂ por el suelo de Cultivos).

Periodo	CC <i>t C año⁻¹</i>	LC <i>t C año⁻¹</i>	ΔC Cultivos <i>t C año⁻¹</i>	ΔCO ₂ Cultivos <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	-34.158	104.314	70.156	272,24
2000-2006	33.107	22.492	55.599	203,86

B.3. Epílogo de Cultivos

A la vista de los resultados obtenidos, los cultivos agrícolas de Extremadura deben considerarse auténticos sumideros de CO₂. Para potenciar la captación de carbono a través de este tipo de terreno deben considerarse los siguientes aspectos:

- Durante el tiempo en que se produce su desarrollo, los cultivos agrícolas realizan una captación de CO₂ atmosférico muy inferior a la que potencialmente puede realizar una cubierta vegetal cerrada. Para aprovechar mejor el potencial fijador de CO₂ de la agricultura serán necesarias investigaciones dirigidas a seleccionar especies y variedades con elevada capacidad fotosintetizadora, así como a optimizar los principales factores de la producción, incluyendo gestión del regadío, uso eficiente de los fertilizantes minerales, control de plagas y enfermedades, así como la adecuada gestión de subproductos y de rastrojos.
- El tiempo de permanencia del carbono almacenado en el suelo es variable, dependiendo de la composición de los residuos y del grado de lignificación. Diversos estudios sobre la velocidad de humificación de la materia orgánica fresca en el suelo y su posterior mineralización, apuntan a que entre el 10 y 20% del total del carbono almacenado en el suelo corresponderá a un sumidero de largo plazo. Aunque el carbono restante pueda corresponder a un sumidero temporal, debe destacarse su efecto en la mitigación anual del balance de carbono.
- Adicionalmente, es interesante reconocer el papel estratégico de los biocombustibles en la mitigación al cambio climático, ya que el CO₂ que se genera en la transformación energética de los mismos es equivalente al que previamente fijó la planta para formar la biomasa que después se transforma en biocombustible. El interés de los biocombustibles en la reducción de los gases de efecto invernadero reside en evitar la emisión que producirían los combustibles fósiles a los que sustituyen.
- En resumen, reconocidas las oportunidades que se presentan en la agricultura respecto a la fijación y almacenamiento de CO₂, se pone de manifiesto la necesidad de ampliar los canales de comunicación entre los investigadores, administración y agricultores para la transmisión y uso eficiente de las nuevas tecnologías disponibles.

C. PASTIZALES

Los Pastizales son ecosistemas caracterizados por presentar una vegetación abierta dominada por especies herbáceas y cuya producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros. Suelen estar situados en zonas con productividad relativamente baja que no son adecuadas para usos agrícolas intensivos. En ellos, el pastoreo es un procedimiento eficaz para recolectar y transformar su dispersa producción primaria en productos para uso o consumo humano. A pesar del predominio herbáceo, los componentes arbustivo y arbóreo juegan con frecuencia un papel clave como protección o recurso trófico, en especial durante las épocas de escasez de herbáceas.

Dentro de la denominación general de Pastizales se incluyen ecosistemas sometidos a condiciones ambientales y de manejo muy variadas. En términos generales, se desarrollan en zonas caracterizadas por un clima con precipitaciones entre 250 y 800 mm, una elevada tasa de evaporación y sequías periódicas extremas.



Fotografía 12. Pastizal arbolado.

Se calcula que la extensión de los ecosistemas de Pastizales del mundo oscila entre 41 y 56 millones de Km², cubriendo entre el 31 y el 43% de la superficie terrestre. A nivel mundial estos ecosistemas almacenan cerca de un tercio de las existencias de carbono de los ecosistemas terrestres, cantidad inferior al carbono almacenado en los bosques, si bien los Pastizales ocupan el doble de superficie terrestre. En los Pastizales el estrato subterráneo, constituido por las raíces, está mucho más desarrollado que en cualquier otro tipo de ecosistema. Excepto en la estación de crecimiento, la mayor parte de la producción neta (entre un 75 y un 80%) en praderas poco transformadas y templadas se dedica a las raíces, donde se almacena incluso dos y tres veces más que la producción de biomasa aérea.

En Extremadura, los pastizales constituyen amplias extensiones abiertas, sin matorral ni arbolado, dedicados mayoritariamente a la cría lanar y se concentran en dos núcleos principales:

- El área central de la provincia de Cáceres, sobre la gran penillanura meridional, entre el río Tajo por el norte, y las sierras de Montánchez y de San Pedro por el sur, abarcando gran parte de los términos de Alcántara, Membrío, Brozas, Arroyo de la Luz y del propio Cáceres.
- La comarca de La Serena, en el extremo oriental de la provincia de Badajoz, en la penillanura delimitada por las localidades de La Coronada, Campanario, Castuera, Cabeza del Buey y Puebla de Alcocer, ocupando una séptima parte de la superficie provincial.

En las más de 600.000 ha de Pastizal extremeño se diferencian cuatro subformaciones, atendiendo a la presencia o ausencia de arbolado disperso y de matorral:

- Pastizales seriales arbolados con matorral:** en los que el arbolado presenta una cobertura inferior o igual al 5% y el matorral ocupa más de un 5% de su superficie, principalmente el retamar - escobonal.
- Pastizales seriales arbolados sin matorral:** en los que el arbolado presenta una cobertura inferior o igual al 5% pero, a diferencia de los anteriores, el matorral no ocupa más de un 5% de su superficie.
- Pastizales seriales desarbolados con matorral:** sin presencia de arbolado, y con matorral en más de un 5% de su superficie, siendo el retamar - escobonal la agrupación de matorral más representada.
- Pastizales seriales desarbolados sin matorral:** sin arbolado de ningún tipo ni matorral presente de forma significativa.

En Extremadura, los Pastizales con mayor representación son los desarbolados sin matorral, seguidos de los desarbolados con matorral; los Pastizales arbolados, con o sin matorral, representan menos del 20% del total (Figura 9).

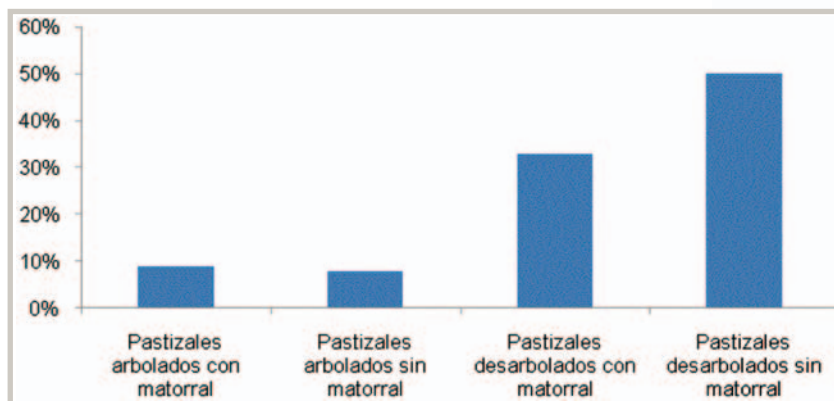


Figura 9. Distribución porcentual de las subformaciones de Pastizales en Extremadura.

Las *Directrices del IPCC* hasta hoy publicadas no han proporcionado valores por defecto para la determinación del contenido de carbono en la materia orgánica muerta de los pastizales, por lo que los cambios en la reserva de carbono en este tipo de terrenos se han computado únicamente en la biomasa y en los suelos.

C.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva

C.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Pastizales que permanecen como Pastizales (PP)

En el presente inventario se han seguido las *Directrices de la IPCC* que consideran que no se produce cambio anual neto en la reserva de carbono en la biomasa de los Pastizales que siguen siendo Pastizales, ya que las ganancias debidas al crecimiento se compensan con las pérdidas generadas por la descomposición y por las actividades humanas tales como el pastoreo, los incendios o la gestión de pastos.

No obstante, de acuerdo con los principios de coherencia, exactitud y transparencia que rigen el presente Inventario, se indica la superficie de Terreno ocupada por Pastizales en los periodo de tiempo considerados (Tabla 58).

Tabla 58. Superficie ocupada por Pastizales en Extremadura.

Año	Total Pastizales <i>ha</i>	Pastizales que permanecen como tales <i>ha</i>
1990	629.534	629.534
2000	637.730	599.685
2006	646.924	634.003

Hay que señalar que el equilibrio en el contenido de carbono es sólo cierto cuando no se producen cambios en los modos de gestión, sin embargo, sería necesario recopilar información para precisar los cambios en la reserva de carbono cuando ocurren modificaciones significativas en el modo de gestión de un ecosistema de este tipo. Así, deberían estimarse las tasas de variación de biomasa en respuesta a los cambios de determinadas condiciones de gestión.

C.1.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en
Terrenos convertidos en Pastizales (LP)

La capacidad de almacenamiento de carbono en los Pastizales puede verse alterada por diversas actividades humanas. Sirva como ejemplo la conversión de Pastizales en tierras para la agricultura; en este caso, la eliminación de la vegetación y el cultivo subsiguiente reducen la cubierta superficial y desestabilizan el suelo, lo cual conduce a la liberación de carbono orgánico. Del mismo modo, la degradación de los Pastizales en las tierras secas también puede convertirse en una fuente significativa de pérdida de carbono, lo mismo que la práctica de quemar pastizales para mejorar su valor como tales (Sala y Paruelo 1997).

Como se ha explicado para los cambios en el uso del Terreno de otras categorías (Ecuación 4), el cálculo de los cambios en la reserva de carbono en Terrenos que pasan a ser Pastizales se realiza mediante la

estimación del contenido de carbono antes y después de la transformación del terreno. Se supone que las reservas de carbono en la biomasa inmediatamente después de la conversión ($C_{\text{posterior}}$) son nulas, ya que toda la vegetación predominante del uso anterior desaparece completamente para el establecimiento de la vegetación que constituirá el nuevo Pastizal.

El promedio de variación de las reservas de carbono será igual a la variación de las reservas de carbono por efecto de la absorción de la biomasa en el uso inicial de la tierra (es decir, el carbono de la biomasa inmediatamente después de la conversión menos el carbono de la biomasa antes de la conversión), más las reservas de carbono procedentes del crecimiento de la biomasa tras la conversión.

Si bien se considera que en el primer año de establecimiento del Pastizal no se acumula carbono ($\Delta C_{\text{crecimiento}} = 0$), ya que toda la biomasa que crece en el nuevo Pastizal desaparece ese mismo año, realmente las reservas de biomasa en los Pastizales recientemente establecidos se equilibran varios años después de la transformación, dependiendo del uso anterior, de las características climáticas y de los modos de gestión. La biomasa herbácea sobre el suelo tardará 1 ó 2 años en estabilizarse, mientras que la biomasa bajo el suelo puede tardar entre 3 y 5 años.

De la misma forma que en las anteriores categorías de Terrenos, para estimar la tasa de incremento anual de superficie de Pastizal se ha comparado el área ocupada por este tipo de Terreno en los años 1990 y 2000, utilizando la base de datos del CORINE (Tabla 5) y se ha seguido la metodología general de Terrenos que cambian de uso, según se comentó en el Apartado 2 (Tabla 59).

Tabla 59. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Pastizales en el periodo 1990 - 2000.

Categoría anterior	Superficie	$C_{\text{posterior}}$	C_{anterior}	$\Delta C_{\text{crecimiento}}$	Cambio carbono	Cambio carbono
1990	ha	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹ año ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C
Forestal	13.005,32	0,00	14,88	0,00	- 14,88	-193.519,16
Cultivo Anual	24.967,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cultivo Arbóreo	72,24	0,00	10,21	0,00	- 10,21	-737,57
TOTAL	38.045,19	-	-	-	-	-194.256,73

De acuerdo con los datos provisiones del CLC2006, toda la superficie convertida en Pastizales durante el periodo 2000-2006 procede de Terrenos Forestales. La transformación de 12.921 ha implica una pérdida anual de 31.794 t C año⁻¹ (Tabla 60), dado que la biomasa de la categoría anterior de Terreno tenía una elevada capacidad de fijación de carbono.

Tabla 60. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Pastizales en el periodo 2000 - 2006.

Categoría anterior	Superficie	C _{posterior}	C _{anterior}	ΔC _{crecimiento}	Cambio carbono	Cambio carbono
2000	ha	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹ año ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C
Forestal	12.803,50	0	14,88	0	-14,88	-190.516,08
Cultivo Anual	92,96	0	0,00	0	0,00	0,00
Cultivo Arbóreo	24,49	0	10,21	0	-10,21	-250,04
TOTAL	12.920,95	-	-	-	-	-190.766,12

C.1.3. Cambio anual total en la biomasa en Pastizales (ΔC Pastizales)

Según el criterio establecido para el desarrollo del inventario, se ha considerado que los cambios de Terreno se producen de forma constante a lo largo del periodo considerado, mientras que en los Pastizales que continúan siendo Pastizales no se producirá cambio neto en la reserva de carbono (Tabla 61).

Tabla 61. Cambios en la reserva de carbono en los Pastizales durante los dos periodos considerados.

Periodo	PP	LP	ΔC Pastizales	ΔCO ₂ Pastizales
	t C año ⁻¹	t C año ⁻¹	t C año ⁻¹	Gg CO ₂ año ⁻¹
1990-2000	0	-19.425,67	-19.425,67	- 71,23
2000-2006	0	-31.794,35	-31.794,35	- 116,58

De acuerdo con los resultados, la conversión de una superficie igual a 38.045 ha en Pastizales durante el periodo 1990-2000 supone un cambio de las reservas de carbono igual a 194.257 t C. Si se asume que la tasa de cambio es constante a lo largo del tiempo desde el año 1990 (periodo de 10 años), el cambio anual de carbono asociado a este cambio es $-19.426 \text{ t C año}^{-1}$; el signo negativo indica que se producen emisiones de carbono asociadas a los cambios en el uso del Terreno. Durante el periodo 2000-2006, el cambio anual de carbono asociado a la formación de Pastizales es $-31.794 \text{ t C año}^{-1}$, equivalentes a una pérdida anual de $117 \text{ Gg CO}_2 \text{ año}^{-1}$.

C.2. Cambios en el reservorio de carbono en el suelo

Como en las categorías de Terreno anteriores, se han seguido las pautas de las *Directrices del IPCC*, según las cuales los cambios en el contenido de carbono de los suelos se estiman diferenciando entre suelos minerales, suelos orgánicos y encalados.

C.2.1. Suelos minerales (CCC_{Minerales})

El cálculo de la variación de las reservas de carbono en suelos minerales está basado en los cambios producidos en un periodo de tiempo finito (Ecuación 13). El procedimiento de cálculo es el mismo que el descrito en el caso de Cultivos (Apartado B.2.1).

La variación de las reservas de carbono en la materia orgánica muerta y de carbono inorgánico se considera nula. Se han tomado los valores de COS_{REF} propuestos por defecto en la *GBP 2003*, para el clima templado cálido y seco (Tabla 33): 38 t C ha^{-1} en suelos con minerales de arcilla de alta actividad, 24 t C ha^{-1} en suelos con minerales de arcilla de baja actividad y 19 t C ha^{-1} en suelos arenosos.

De acuerdo con la clasificación de la base de datos CORINE, únicamente existen dos tipos de Pastizales en Extremadura, las denominadas "Praderas" y los "Otros pastizales". En ambos tipos se aplican los mismos valores a los factores de ajuste: F_{ur} igual a 1, F_{rg} igual a 0,95 y F_{e} igual a 1 (Tabla 62).

Tabla 62. Factores relativos de variación de reservas para diferentes actividades de gestión de Pastizales.

Factor	Nivel	Clima	Valor GBP 2003	Descripción
Uso del terreno F_{ur}	Todos	Todos	1,00	Todos los pastizales permanentes
Preparación F_{RG}	Moderadamente degradado	Templado	0,95	Sobrepastoreo o degradación moderada, con productividad algo reducida y sin aportes de gestión
Preparación F_{RG}	Fuertemente degradado	Todos	0,70	Daños mecánicos de la vegetación o grave erosión del suelo que provoca una importante pérdida de productividad y de cubierta vegetal
Preparación F_{RG}	Mejorado	Templado	1,14	Pastizales gestionadas de manera sostenible con presión de pastoreo moderada y que son objeto alguna mejora
Aportación F_E	Básico	Todos	1,00	Pastizales donde no se utilizan aportes de gestión adicionales
Aportación F_E	Alto	Templado	1,11	Pastizales donde se utilizan aportes y/o mejoras de gestión adicionales

Como resultado de aplicar la Ecuación 13, se obtiene la cantidad de carbono orgánico acumulado por los suelos minerales del conjunto de Pastizales extremeños que permanecen como Pastizales (Tabla 63). Así, dividiendo la diferencia de carbono acumulado al inicio y final de cada periodo entre el número de años transcurrido, la variación anual de carbono almacenado en este tipo de suelos durante el periodo 1990-2000 es igual a - 89.694,50 t C año⁻¹, y durante el periodo 2000-2006 igual a 174.857,17 t C año⁻¹.

Tabla 63. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Pastizales que permanecen como Pastizales.

Año	F _{total}	Superficie ha	COS _{REF} t C	COS t C
1990	0,95	629.534	22.568.794	21.440.354
2000	0,95	599.685	21.624.641	20.543.409
2006	0,95	634.003	22.729.003	21.592.552

En cuanto a los suelos de los Terrenos convertidos en Pastizales, se aplican los mismos factores de ajuste (Tabla 64). Durante el periodo 1990-2000, estos suelos captaron anualmente 129.572 t C año⁻¹, mientras que la tasa de acumulación anual de carbono del periodo 2000-2006 fue igual a 73.343 t C año⁻¹.

Tabla 64. Carbono acumulado en los suelos minerales de los Terrenos convertidos en Pastizales.

Periodo	F _{total}	Superficie ha	COS _{REF} t C	COS t C
1990 - 2000	0,95	38.045	1.363.913	1.295.718
2000 - 2006	0,95	12.921	463.218	440.057

C.2.2. Suelos orgánicos

Las emisiones de carbono procedentes de suelos orgánicos de Pastizales se calculan mediante la Ecuación 16, asignando una tasa de pérdida anual de carbono por efecto del drenaje y de otras perturbaciones de la gestión al adaptar los suelos a Pastizales gestionados. El factor de emisión por defecto propuesto por la *GBP 2003* para el clima templado cálido es de 2,5 t C ha⁻¹ año⁻¹.

La presencia de suelos orgánicos en los Pastizales de Extremadura puede considerarse nula.

C.2.3. Enmiendas calizas

En algunas regiones húmedas se aplica periódicamente cal a los pastos gestionados intensivamente para reducir la acidez del suelo. La metodología propuesta por las *Directrices del IPCC* para calcular el

CO₂ emitido a consecuencia de estas prácticas es la misma que la explicada para Cultivos (Apartado B.2.3). No obstante, como se refleja en los factores de ajuste elegidos para los suelos minerales, se consideran insignificantes las prácticas de enmiendas calizas en el conjunto de la región.

C.2.4. Cambio anual total en el suelo en Pastizales (ΔC Pastizales)

La cantidad anual de carbono acumulada en los suelos de Pastizales es igual a la calculada para los suelos minerales (Tabla 65).

Tabla 65. Cambios en la reserva de carbono en los Pastizales durante los dos periodos considerados.

Periodo	PP <i>t C año⁻¹</i>	LP <i>t C año⁻¹</i>	ΔC Pastizales <i>t C año⁻¹</i>	ΔCO_2 Pastizales <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	- 89.695	129.572	39.877	146,22
2000-2006	174.857	73.343	248.200	910,07

C.3. Epílogo de Pastizales

El sector ganadero es responsable del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Extremadura. Sin embargo, una adecuada gestión de los pastizales puede fomentar el efecto sumidero de los mismos. Es importante determinar el grado en que la gestión en estas áreas pueden contribuir a mejorar la retención de CO₂ y, por lo tanto, a reducir el cambio climático en el marco general de la función de la agricultura en el cambio climático.

Según el IPCC (2007), el potencial mundial de mitigación de la agricultura podría alcanzar 6 Gt CO₂ eq para el año 2030, de los cuales aproximadamente 1,5 Gt CO₂ eq corresponderían a la gestión de las tierras de pastoreo, más de 0,6 Gt CO₂ eq a la restauración de tierras degradadas, y 1,5 Gt CO₂ eq a

la gestión de tierras agrícolas -donde la gestión de pastos tiene una cuota importante-. Por lo tanto, el potencial como sumideros de carbono de los pastizales está vinculado a las prácticas adecuadas de gestión.

Smith *et al.* (2008) presentaron diversas pautas de gestión de pastizales que incluyen la introducción de nuevas especies y variedades, control de incendios, recuperación de suelos orgánicos y tierras degradadas, aumento de la cobertura arbórea, gestión de la intensidad de pastoreo y mejora de la calidad de los pastos.

Ejerciendo una adecuada gestión de los pastizales, su potencial de mitigación puede llegar a ser muy superior a las emisiones de metano del ganado a las emisiones de la gestión del estiércol. Estas buenas prácticas repercutirán positivamente al mismo tiempo, en la producción de alimentos y la biodiversidad y la gestión del agua.

- El pastoreo puede tener un impacto positivo o negativo sobre la vegetación y los suelos de los pastizales, dependiendo de las características climáticas de los ecosistemas de pastizales y de la eficacia de la gestión de la carga ganadera.
- El cultivo de gramíneas y leguminosas y la gestión de la estructura de las comunidades vegetales pueden aumentar el secuestro de C del suelo de los pastizales. A pesar de que los ganaderos suelen considerar que el establecimiento de comunidades arbustivas fragmenta los pastizales cuando la cubierta de las copas excluye el pastoreo del ganado, en muchos pastizales semiáridos los arbustos son un componente importante de la vegetación de los pastizales.
- La aplicación de fertilizantes tiene por objeto aumentar la disponibilidad de nutrientes para estimular la producción de vegetación. Esto puede aumentar el aporte de carbono a los suelos de los pastizales. Sin embargo, la producción de fertilizantes inorgánicos emite importantes cantidades de CO₂ a la atmósfera, por lo que la captación neta de carbono derivada de la aplicación de fertilizantes podría llegar a ser negativa. Además, los fertilizantes de nitrógeno aplicados a los pastizales pueden aumentar las emisiones de N₂O, otro gas de efecto invernadero.

D. HUMEDALES

El papel del flujo de carbono de los Humedales en el ciclo global del carbono es bastante complejo y están implicados cuatro procesos. En primer lugar, en muchos Humedales, especialmente los boreales y tropicales, el carbono es muy lábil y puede liberarse si desciende el nivel del agua o la gestión provoca la oxidación de los suelos. En segundo lugar, la entrada de dióxido de carbono en un sistema de Humedales es a través de la fotosíntesis vegetal. En tercer lugar, en los Humedales es frecuente la captura de sedimentos ricos en carbono y la liberación de carbono disuelto en los ecosistemas adyacentes. Por último, los Humedales también contribuyen a la liberación de metano a la atmósfera.



Fotografía 12. Río Zújar (Badajoz).

Las *Directrices del IPCC* incluyen en la categoría "Humedales" las tierras cubiertas o saturadas de agua durante todo o parte del año, que no pueden clasificarse como Terrenos Forestales, Cultivos, Pastizales o Terrenos Urbanos. En esta categoría se diferencian:

- a) **Humedales gestionados**, en los que se modifica artificialmente la capa freática, o los creados por efecto de las actividades humanas, como embalses, presas fluviales, canales artificiales, etc. Esta categoría se corresponde con el código 51110 (Embalses) de la base de datos CORINE.
- b) **Humedales no gestionados**, correspondiente al código 51110 (Ríos y cauces naturales). La *GBP 2003* excluye del cálculo de emisiones los humedales no gestionados.

La regulación de este tipo de Terrenos a nivel nacional se enmarca en la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, que incluye las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables

con independencia del tiempo de renovación; los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas; los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos; los acuíferos subterráneos, a los efectos de los actos de disposición o de afección de los recursos hidráulicos y las aguas procedentes de la desalación de agua de mar una vez que, fuera de la planta de producción, se incorporen a cualquiera de los elementos señalados en los apartados anteriores.

En el ámbito internacional, España se adhirió a la Convención sobre los Humedales (Ramsar) en 1982, y se han incluido 49 zonas húmedas a la Lista de Humedales de Importancia Internacional, dos de ellas situadas en Extremadura, el Embalse de Orellana y el Complejo Lagunar de La Albuera.

Se han llegado a inventariar 325 humedales en la región, aunque una revisión reciente del Catálogo regional eleva éstos hasta 348 en las distintas categorías de Importancia Internacional, Nacional y Regional. En cuanto a la vegetación presente en los humedales, el Plan Forestal de Extremadura (2003) diferencia dos subcategorías:

- a) **Prados junciales**, son prados y praderas con especies indicadoras de humedad permanente en el terreno (juncos, cárices, etc.), normalmente encharcados buena parte del año, y sin presencia de especies arbustivas ni arbóreas. Las secciones Sur (Higuera de Llerena, Fregenal de la Sierra) y Siberia (Navalvillar de Pela) son de las pocas que albergan cubiertas de este tipo.
- b) **Cañaverales y tarajales**, incluyen cubiertas cuya vegetación está compuesta por cañas y/o tarajes (*Phragmites australis*, *Typha* spp., *Arundo* spp., *Tamarix* spp.) de forma mayoritaria, en áreas donde la presencia de agua, su profundidad o su salinidad impiden el desarrollo de otro tipo de vegetación. Esta subcategoría está presente en la sección Centro-Serena, términos de Don Benito, Acehuchal, Fuente del Maestre; sección Ambroz, términos de Montehermoso y Guijo de Coria; y sección Badajoz-Oeste, entre Solana de los Barros y Villalba de los Barros, a lo largo del río Guadajira.

D.1. Cambios en el reservorio de carbono en Humedales que permanecen como Humedales (ΔC HH)

No se contabilizan los cambios en la reserva de carbono en los humedales no gestionados, sin embargo, dada la necesidad de incluir toda la superficie de la región en alguna de las seis categorías de Terrenos, a continuación se detalla la extensión ocupada por las cuencas de cada uno de los ríos que recorren la región, según se describe en el *Plan Forestal de Extremadura* (2003).

La cuenca del Tajo en Extremadura ocupa 16.689 Km²; recibiendo por su margen derecha las aguas del Tiétar y del Alagón, y por su margen izquierda la del Ibor, el Almonte y el Salor. La superficie ocupada en Extremadura por el Guadiana es de 23.355 Km², con el Rucas por la derecha y el Zújar y el Machatel por la izquierda. Respecto al Guadalquivir (1.520 Km² en Extremadura), está abastecido por las cuencas del Viar y del Bembézar en la provincia de Badajoz. La cuenca extremeña del Duero es de 38 Km² únicamente, con el afluente el Malena en la provincia de Cáceres.

Por su parte, los Humedales gestionados están integrados por el conjunto de embalses, bien para el abastecimiento humano, bien para el aporte de regadíos como los del Zújar, Montijo, Orellana, Rosarito, Gabriel y Galán y Borbollón. La superficie correspondiente a Humedales, según la base de datos del CORINE, incrementó prácticamente 19.000 ha desde el año 1990 al año 2006 (Tabla 66).

Tabla 66. Superficie total ocupada por Humedales en los años 1990, 2000 y 2006. 2000* y 2006* se refiere a la superficie ocupada por los Humedales que permanecen como Humedales los años 2000 y 2006, respectivamente.

Código CORINE	1990 <i>ha</i>	2000 <i>ha</i>	2000* <i>ha</i>	2006 <i>ha</i>	2006* <i>ha</i>
511 Ríos y cauces naturales	6.365,10	6.382,70	6.268,85	6.229,61	6.101,42
512 Embalses	45.962,10	63.253,50	46.648,63	65.059,56	63.253,50



Fotografía 14. Embalse.

Actualmente está en fase de desarrollo la metodología para la estimación del flujo de carbono en los humedales que permanecen como tales. En principio la tasa de emisión de CO₂ se estimará como la suma de la aportación por áreas dedicadas a la extracción de turbas y por áreas anegadas; es decir, superficies cubiertas por agua y gestionadas por el hombre, como salinas tradicionales o industriales, embalses y balsas de riego y ganaderas. A continuación se presentan los métodos generales que sugiere la *GBP 2003* al respecto, aunque no han sido aplicados a los Humedales de Extremadura al carecerse de datos exactos que permitan obtener resultados fiables.

D.1.1. Emisiones de CO₂ procedentes de suelos orgánicos para la extracción de turba (ΔC_{Turba})

En los Terrenos gestionados para la extracción de turba las emisiones proceden de la biomasa y del suelo (Ecuación 18):

$$\Delta C_{\text{Turba}} = (\Delta C_{\text{Turba-BV}} + \Delta C_{\text{Turba-suelos}}) * 10^{-3} * 44/12 \quad \text{Ecuación 18}$$

donde,

ΔC_{Turba} son las emisiones de CO₂ procedentes de terrenos gestionados para la extracción de turbas (Gg CO₂ año⁻¹)

$\Delta C_{\text{Turba-BV}}$ es la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva (t C año⁻¹)

$\Delta C_{\text{Turba-suelos}}$ es la variación de las reservas de carbono en el suelo (t C año⁻¹)

$\Delta C_{\text{Turba-BV}}$ se considera nula, ya que generalmente la vegetación es eliminada de los Terrenos dedicados a la extracción de turba

Las emisiones en suelos se producen en cada una de las fases del proceso de extracción de turbas (Ecuación 19). A pesar de ello, por el momento, las Directrices del IPCC únicamente sugieren un método por defecto para la fase de extracción de turbas, esto es, las emisiones causadas por una mayor oxidación de la materia orgánica del suelo en las zonas de producción.

$$\Delta C_{\text{Turba-suelos}} = (\Delta C_{\text{Turba-suelos-drenaje}} + \Delta C_{\text{Turba-suelos-extracción}} + \Delta C_{\text{Turba-suelos-almacenamiento}} + \Delta C_{\text{Turba-suelos-restablecimiento}}) \quad \text{Ecuación 19}$$

donde,

$\Delta C_{\text{Turba-suelos-drenaje}}$ es la variación del carbono en el suelo durante el drenado (t C año^{-1})

$\Delta C_{\text{Turba-suelos-extracción}}$ es la variación del carbono en el suelo durante la extracción de turba (t C año^{-1})

$\Delta C_{\text{Turba-suelos-almacenamiento}}$ es la variación del carbono en el suelo durante el almacenamiento de turba, antes de retirarla para ser quemada (t C año^{-1})

$\Delta C_{\text{Turba-suelos-restablecimiento}}$ es la variación del carbono en el suelo por efecto de las prácticas realizadas para restablecer tierras anteriormente cultivadas (t C año^{-1})

El cálculo de $\Delta C_{\text{Turba-suelos-extracción}}$ consiste en multiplicar la superficie de suelos orgánicos gestionados para la extracción de turbas por el factor de emisión por defecto, esto es, $0,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en turberas pobres en nutrientes y $1,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en turberas ricas en nutrientes.

D.1.2. Emisiones de CO_2 procedentes de tierras anegadas

El método de estimación de la emisión de CO_2 asume que la única vía de emisión es la difusión durante los periodos con hielo y sin hielo. Se asume que las emisiones debidas al anegamiento se limitan a los 10 primeros años, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica.

D.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos convertidos en Humedales ($\Delta C_{\text{Humedales}}$)

Los cambios en el reservorio de carbono como consecuencia de la transformación de un Terreno a Humedal se calculan mediante la Ecuación 4. Las *Directrices del IPCC* asumen que todo el carbono en la biomasa aérea se convierte en CO_2 en el primer año después del cambio de uso a Humedal. El cambio de carbono asociado a la transformación de Terrenos en Humedales (Embalses), durante el periodo 1990-2000, supuso en Extremadura la pérdida de $120.901,80 \text{ t C}$ (Tabla 67).

Tabla 67. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Embalses en el periodo 1990 - 2000.

Categoría anterior 1990	Superficie ha	C _{posterior} t C ha ⁻¹	C _{anterior} t C ha ⁻¹	ΔC _{crecimiento} t C ha ⁻¹ año ⁻¹	Cambio carbono t C ha ⁻¹	Cambio carbono t C
Forestal	8.053,74	0,00	14,88	0,00	-14,88	-119.839,65
Cultivo anual	3.286,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cultivo arbóreo	104,03	0,00	10,21	0,00	-10,21	-1.062,15
Pastizal	5.137,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ríos	6,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Urbano	15,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	16.604,86					-120.901,80

Durante el periodo 2000-2006, se transformaron en Embalses un total de 1.806 ha lo que, en términos de captación de carbono, supuso una pérdida anual de 2.373 t C año⁻¹ (Tabla 68).

Tabla 68. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Embalses en el periodo 2000 - 2006.

Categoría anterior 2000	Superficie ha	C _{posterior} t C ha ⁻¹	C _{anterior} t C ha ⁻¹	ΔC _{crecimiento} t C ha ⁻¹ año ⁻¹	Cambio carbono t C ha ⁻¹	Cambio carbono t C
Forestal	936,66	0	14,88	0	-14,88	-13.937,50
Cultivo anual	205,07	0	0,00	0	0,00	0,00
Cultivo arbóreo	29,49	0	10,21	0	-10,21	-301,09
Pastizal	282,47	0	0,00	0	0,00	0,00
Ríos	281,28	0	0,00	0	0,00	0,00
Urbano	71,09	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL	1.806,06					-14.238,59

D.3. Cambios anuales totales en la biomasa en Humedales (ΔC Humedales)

Para cada uno de los periodos analizados, se ha considerado que en los Humedales que continúan siendo Humedales no se produce cambio neto en la reserva de carbono. En cuanto a los Terrenos convertidos en Humedales, si se asume que la tasa de cambio es constante a lo largo del tiempo, la tasa de incremento anual de superficie de Humedal durante el periodo 1990-2000 fue de 1.660 ha año⁻¹ y

durante el periodo 2000-2006 de 301 ha año⁻¹. Los cambios anuales de carbono asociados a estas conversiones de terreno son - 12.090 t C año⁻¹ y - 2.373 t C año⁻¹, para los periodos 1990-2000 y 2000-2006 respectivamente. El signo negativo indica que se producen emisiones de carbono.

Tabla 69. Cambios en la reserva de carbono en los Humedales durante los dos periodos considerados. HH (Humedales que continúan siendo Humedales), LH (cambios de carbono debidos a cambios de uso del Humedales), ΔC Humedales (cambio total de carbono en Humedales), ΔCO₂ Humedales (captación de CO₂ por los Humedales).

Periodo	HH <i>t C año⁻¹</i>	LH <i>t C año⁻¹</i>	ΔC Humedales <i>t C año⁻¹</i>	ΔCO ₂ Humedales <i>Gg CO₂ año⁻¹</i>
1990-2000	0	-12.090	-12.090	-44,33
2000-2006	0	- 2.373	-2.373	-8,70

D.4. Epflgo de Humedales

Los Humedales constituyen un sumidero potencial de carbono en la atmósfera, pero si no se gestionan adecuadamente, se convierten en una fuente de gases de efecto invernadero. Sin embargo, existen importantes lagunas de conocimiento en cuanto a la cuantificación de carbono almacenado en ellos, así como su potencial de captación de carbono.

Existe un amplio consenso sobre la importancia de los Humedales como reservorios de carbono en su biomasa, la turba y sedimentos. No obstante, es difícil evaluar su papel como sumideros ya que la descomposición de materia orgánica, la producción de metano y los flujos de sedimentos son procesos muy complejos (Adhikari *et al.*, 2009). En la actualidad se está investigando sobre el verdadero papel de los Humedales como sumideros de carbono, por lo que es posible que pudiera verse modificado el supuesto de que el balance de carbono en los Humedales que permanecen como Humedales es nulo.

Downing *et al.* (2008) afirman que las balsas agrícolas, incluidas en la subcategoría Embalses, tendrían una elevada capacidad de fijación de carbono. Así, las balsas agrícolas captarían de 20 a 50 veces más CO₂ por hectárea que los Terrenos Forestales. Estos autores han calculado que las balsas agrícolas sequestran unos 150 millones de t C año⁻¹, una cantidad similar a la que se acumula en los sedimentos oceánicos y cerca de una tercera parte de la cantidad de CO₂ que, a su vez, los ríos transportan al océano. Este proceso se produce por la actividad fotosintética de las algas y las plantas y porque, una vez muertas, el carbono queda almacenado en los sedimentos.

E. TERRENOS URBANOS

Las *Directrices del IPCC* consideran que esta categoría está constituida por el conjunto de todas las tierras desarrolladas; esto es, las infraestructuras de transporte y los asentamientos humanos incluidos los árboles plantados en las calles, en los jardines públicos y privados, y en diferentes tipos de parques, salvo que formen ya parte de otras categorías de uso de la tierra.



Fotografía 15. Zona recreativa.

Las superficies artificiales representan el 0,7% de la superficie total de Extremadura, una de las más bajas de España, de las cuales algo más de dos tercios corresponden a zonas urbanas. Las ciudades representan el 2% del planeta y el 20% del territorio nacional; prácticamente el 80% de la población española vive en ciudades. La escasa representación de Terrenos Urbanos en la superficie extremeña total concuerda con la baja densidad de población de esta región. Según el Servicio de Análisis y Estadística, de la Consejería de Economía, Comercio e Innovación de la Junta de Extremadura (2001), la población censada en 1990 ascendía a 1.061.852 y en el año 2001 a 1.058.503. Si bien esta tendencia descendente se ha invertido actualmente y las proyecciones de población calculadas a partir del Censo de Población de 2001 muestran un incremento en el número de habitantes (Tabla 70).

Tabla 70. Población de la Comunidad Autónoma de Extremadura (Servicio de Análisis y Estadística, de la Consejería de Economía, Comercio e Innovación de la Junta de Extremadura).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Extremadura	1.058.148	1.061.367	1.066.149	1.069.322	1.072.064	1.074.376	1.076.210

La estimación de flujos de CO₂ por parte de los Terrenos Urbanos se centrará únicamente en la variación de reservas de carbono en la biomasa viva. Si bien los depósitos de carbono en la materia orgánica muerta y en el suelo podrían ser también fuentes o sumideros de CO₂, se sabe poco sobre el papel y la magnitud de esos depósitos. En cuanto a la biomasa viva la metodología propuesta por la *GBP 2003* se basa en los trabajos de Nowak y Crane (2002) y de Nowat *et al.* (1996).

E.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos Urbanos que permanecen como Urbanos (ΔC UU)

Dada la dificultad para computar la vegetación arbustiva y herbácea de los núcleos urbanos, la variación de las reservas de carbono de la biomasa viva se basa únicamente en la biomasa arbórea. Esta variación viene determinada por la diferencia entre el crecimiento de los árboles y las pérdidas por podas y muertes.

En coherencia con el resto de categorías de Terrenos, la superficie ocupada por Terrenos Urbanos se ha calculado según los datos del CORINE, para los años 1990 y 2000 (Tabla 71).

Tabla 71. Superficie ocupada por Terrenos Urbanos en los años 1990 y 2000. 2000* se refiere a la superficie de Terreno que permanece como Urbano el año 2000.

Código y denominación	1990 ha	2000 ha	2000* ha
12210 Autopistas, autovías y terrenos asociados	0,00	2.445,90	2.445,90
13200 Escombreras y vertederos	0,00	214,00	214,00
11100 Tejido urbano contínuo	15.668,80	16.188,70	15.800,74
11210 Estructura urbana laxa	739,47	1.784,90	1.115,73
11220 Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	2.578,03	3.174,60	2.542,49
12100 Zonas industriales o comerciales	1.727,83	3.600,90	2.192,98
12400 Aeropuertos	412,05	412,10	412,10
13100 Zonas de extracción minera	1.351,24	2.320,70	1.346,87
13300 Zonas en construcción	722,22	54,42	54,42
14200 Instalaciones deportivas y recreativas	107,64	281,60	107,67
TOTAL	23.307,28	30.477,82	26.232,90

La superficie correspondiente al año 2006 se ha estimado mediante los cambios producidos en el periodo 2000-2006 (base de datos CLC2006, datos provisionales). Durante estos seis años la cantidad total de Terrenos Urbanos se incrementó en un 8,4%, mientras que la superficie de Terrenos Urbanos que permanece como tales durante el segundo periodo es un 15% superior.

Tabla 72. Superficie ocupada por Terrenos Urbanos en los años 2000 y 2006. 2006* se refiere a la superficie de Terreno que permanece como Urbano el año 2006.

Denominación	2006 <i>ha</i>	2006* <i>ha</i>
Tejido urbano continuo	16.289,30	16.188,70
Tejido urbano discontinuo	5.180,59	4.959,50
Zonas industriales o comerciales	4.094,40	3.600,90
Redes viarias y ferroviarias	2.517,84	2.445,90
Aeropuertos	412,10	412,10
Zonas de extracción minera	2.933,11	2.023,51
Escombreras y vertederos	220,27	214,00
Zonas en construcción	1.001,79	54,42
Instalaciones deportivas y recreativas	404,97	281,60
TOTAL	33.054,38	30.180,63

La *GBP 2003* incluye dos métodos alternativos para computar los cambios en la reserva de carbono en la biomasa viva. El primero se basa en el número de árboles como factor de absorción y la tasa de crecimiento de los mismos (Ecuación 20).

$$\Delta C_{UU} = \sum (NA_i * C_{Tasa\ i})$$

Ecuación 20

donde,

ΔC_{UU} es la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva de Terrenos Urbanos que permanecen como Urbanos (t C año⁻¹)

NA_i es el número de árboles de la clase de especies genérica i

$C_{Tasa\ i}$ es la tasa media anual de acumulación de carbono por árbol de la clase de especies genérica i (t C número de árboles⁻¹ año⁻¹)

Este método requiere por tanto conocer el número de árboles de cada especie y la tasa de acumulación de carbono de cada especie, basada en la tasa de crecimiento de la misma. La *GBP 2003* aporta valores

por defecto para C_{Tasa} (Nowak y Crane, 2002), sin embargo aún sería necesario conocer el número total de árboles que existen en todos los Terrenos Urbanos, incluyendo parques, jardines, equipamientos deportivos, etc. Únicamente se dispone de datos para las tres ciudades más pobladas de Extremadura (Badajoz, Cáceres y Mérida) a partir de los trabajos realizados en la Universidad de Extremadura (Silva *et al.*, 1999). Se ha considerado que, el uso exclusivo de los árboles de estos tres núcleos urbanos daría como resultado una cantidad de acumulación de carbono no representativa de los valores reales (Tabla 73).

Tabla 73. Número de las especies arbóreas presentes en la localidad de Badajoz (Silva *et al.*, 1999).

Especie	Nº pies	Especie	Nº pies
<i>Acacia dealbata</i> Link.	3	<i>Morus alba</i> L.	52
<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br.	8	<i>Morus kagayamae</i> Kaidz.	38
<i>Acer negundo</i> L.	171	<i>Olea europaea</i> L.	91
<i>Ailanthus altissima</i> Miller.	26	<i>Paulownia tomentosa</i> Thunb.	52
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	103	<i>Phoenix canariensis</i> Chabaud.	292
<i>Calocedrus decurrens</i> Torr.	10	<i>Phoenix dactylifera</i> L.	309
<i>Casuarina cunninghamiana</i> Miq.	87	<i>Photinia serrulata</i> Lindl.	2
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter.	119	<i>Pinus halepensis</i> Miller.	123
<i>Cedrus atlántica</i> Endl.	6	<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	156
<i>Cedrus deodara</i> D.	148	<i>Pinus pinea</i> L.	2
<i>Celtis australis</i> L.	812	<i>Platanus hispanica</i> Mill.	929
<i>Celtis occidentalis</i> L.	64	<i>Platanus orientalis</i> L.	519
<i>Cercis siliquastrum</i> L.	67	<i>Platycladus orientalis</i> L.F.	103
<i>Chamaerops humilis</i> A. Murray.	4	<i>Populus alba</i> L.	93
<i>Citrus auranthium</i> L.	279	<i>Populus nigra</i> L.	52
<i>Cupressus arizonica</i> Greene.	75	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	338
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	18	<i>Punica granatum</i> L.	3
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	161	<i>Robinia hispida</i> L.	28
<i>Cupressocyparis leylandii</i> Dallim. & A.B.Jacks.	29	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	204
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	2	<i>Schinus molle</i> L.	4
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dhn.	19	<i>Sophora japonica</i> L.	95
<i>Ficus carica</i> L.	1	<i>Sterculia diversifolia</i> Schott & Endl	229
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	146	<i>Trachycarpus fortunei</i> Hook.	39
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn.	6	<i>Ulmus minor</i> Mill.	253
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don.	5	<i>Viburnum tinus</i> L.	7
<i>Ligustrum lucidum</i> Ait.	410	<i>Washingtonia filifera</i> Linden	258
<i>Magnolia grandiflora</i> L.	53	<i>Washingtonia robusta</i> Wendl	18
<i>Melia azedarach</i> L.	517		

El segundo método propuesto por la *GBP 2003* utiliza la superficie de la cubierta de copas (porcentaje de terreno cubierto por la proyección vertical del perímetro más externo de la extensión natural del follaje de las plantas) como factor de absorción (Ecuación 21). Dada la ausencia de base de datos referentes al número de pies presentes en todos los Terrenos Urbanos de Extremadura, se ha optado por aplicar el método de la superficie de copas.

$$\Delta C_{uu} = (A_{copas} * CCOP)$$

Ecuación 21

donde,

ΔC_{uu} es la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva de Terrenos Urbanos que permanecen como Urbanos ($t\ C\ año^{-1}$)

A_{copas} es el área total de la cubierta de copas, ha

$CCOP$ es la tasa de crecimiento basada en el área de la cubierta de copas ($t\ C * ha\ cubierta\ de\ copas^{-1}\ año^{-1}$)

La *GBP 2003* propone un valor de $COPP$ por defecto de $2,9\ t\ C\ ha\ cubierta\ de\ copas^{-1}$, basado en un estudio realizado en ocho ciudades de Estados Unidos (Nowak y Crane, 2002), con valores que oscilaron entre $1,8$ y $3,4\ t\ C\ ha\ cubierta\ de\ copas^{-1}$. El porcentaje de cobertura en este tipo de Terrenos se ha estimado atendiendo a la descripción de la nomenclatura CORINE.



Fotografía 16. Jardines urbanos.

Considerando la superficie cubierta por las copas de los Terrenos Urbanos que permanecen como tales y el porcentaje de cobertura, la cantidad de carbono almacenado en los años 1990 y 2000 fue de $9.527\ t\ C$ y $10.223\ t\ C$, respectivamente (Tabla 74). La diferencia entre estas cifras, dividido entre el tiempo transcurrido, es la tasa de acumulación anual durante este periodo, esto es, $69,62\ t\ C\ año^{-1}$.

Tabla 74. Estimación del carbono acumulado por la biomasa en Terrenos Urbanos que permanecen como tales durante el periodo 1990 - 2000.

Código y denominación		Año	Superficie total <i>ha</i>	Porcentaje de cobertura %	Superficie cubierta <i>ha</i>	CCOP <i>t C</i>
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados	1990	0,00	5%	0,00	0,00
13200	Escombreras y vertederos	1990	0,00	5%	0,00	0,00
11100	Tejido urbano continuo	1990	15.668,80	15%	2.350,32	6.815,93
11210	Estructura urbana laxa	1990	739,47	15%	110,92	321,67
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	1990	2.578,03	15%	386,70	1.121,44
12100	Zonas industriales o comerciales	1990	1.727,83	15%	259,17	751,61
12400	Aeropuertos	1990	412,05	5%	20,60	59,75
13100	Zonas de extracción minera	1990	1.351,24	5%	67,56	195,93
13300	Zonas en construcción	1990	722,22	5%	36,11	104,72
14200	Instalaciones deportivas y recreativas	1990	107,64	50%	53,82	156,08
TOTAL			23.307,28		3.285,22	9.527,12
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados	2000	2.445,90	5%	122,295	354,66
13200	Escombreras y vertederos	2000	214,00	5%	10,70	31,03
11100	Tejido urbano continuo	2000	15.800,74	15%	2370,11	6.873,32
11210	Estructura urbana laxa	2000	1.115,73	15%	167,36	485,34
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	2000	2.542,49	15%	381,37	1.105,98
12100	Zonas industriales o comerciales	2000	2.192,98	15%	328,95	953,95
12400	Aeropuertos	2000	412,10	5%	20,61	59,75
13100	Zonas de extracción minera	2000	1.346,87	5%	67,34	195,30
13300	Zonas en construcción	2000	54,42	5%	2,72	7,89
14200	Instalaciones deportivas y recreativas	2000	107,67	50%	53,84	156,12
TOTAL			26.232,90		3.525,29	10.223,34

Aplicando la Ecuación 21 a la superficie de Terreno Urbano que se mantiene como tal en el año 2006 (Tabla 73) se obtiene la cantidad de carbono acumulado en la biomasa viva (Tabla 75). El secuestro de carbono por parte de la biomasa viva de Terrenos Urbanos que permanecen como tales durante el periodo 2000-2006 es la diferencia entre las cantidades acumuladas durante los años 2000 y 2006, dividida por el número de años transcurridos. La tasa de acumulación de carbono resultante es igual a 276,08 t C año⁻¹.

Tabla 75. Estimación del carbono acumulado por la biomasa en Terrenos Urbanos que permanecen como tales durante el periodo 2000 - 2006.

Código y denominación	Superficie total <i>ha</i>	Porcentaje de cobertura %	Superficie cubierta <i>ha</i>	CCOP <i>t C</i>
111 Tejido urbano continuo	16.188,70	15%	2.428,31	7.017,80
112 Tejido urbano discontinuo	4.959,50	15%	743,93	2.149,94
121 Zonas industriales o comerciales	3.600,90	15%	540,14	1.560,99
122 Redes viarias y ferroviarias	2.445,90	5%	122,30	353,43
124 Aeropuertos	412,10	5%	20,61	59,55
131 Zonas de extracción minera	2.023,51	5%	101,18	292,40
132 Escombreras y vertederos	214,00	5%	10,70	30,92
133 Zonas en construcción	54,42	5%	2,72	7,86
142 Instalaciones deportivas y recreativas	281,60	50%	140,80	406,91
TOTAL	30.180,63		4.110,66	11.879,81

Evidentemente, los valores aquí estimados podrían estar alejados de las tasas reales de fijación de carbono en los Terrenos Urbanos de Extremadura, ya que utilizan unos supuestos calculados fuera de su ámbito territorial. Para reducir incertidumbres, serían necesarios trabajos de campo que permitieran obtener tasas de crecimiento de copas específicos de la región, atendiendo a las zonas climáticas predominantes y porcentajes de cobertura de copas basadas en la interpretación de fotografías aéreas de áreas urbanas; el porcentaje de cubierta de copas debería convertirse en un valor de superficie total multiplicando el valor porcentual de la cubierta de copas por la superficie total de árboles.

E.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en
Terrenos convertidos en Urbanos (ΔC LU)

La baja densidad de población, la débil estructura urbana y la merma demográfica no han sido obstáculo para un crecimiento de superficies artificiales de un 30%, o del parque de vivienda entre 1990 y 2000 de un 22%. Aun siendo relativamente reducido el crecimiento de las superficies artificiales, existen dos hechos destacables en su evolución; por un lado, el notable crecimiento de las autovías y autopistas, y por otro, la tendencia de crecimiento de la estructura urbana laxa, siguiendo el nuevo modelo de ciudad dispersa.

Como en las anteriores categorías, en los Terrenos convertidos en Urbanos se asume que toda la biomasa presente antes de la conversión se pierde el mismo año en que se realiza el cambio de uso del Terreno y, además, que las reservas de carbono en la biomasa viva después de la conversión son nulas. La tasa anual de cambio de carbono asociada a la creación de Terrenos Urbanos fue igual a - 2.847 t C año⁻¹ durante el periodo 1990 - 2000 (Tabla 76) y a - 2.739 t C año⁻¹ durante el periodo 2000 - 2006 (Tabla 77).

Tabla 76. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Urbanos en el periodo 1990 - 2000.

Categoría anterior	Superficie	C _{posterior}	C _{anterior}	$\Delta C_{\text{crecimiento}}$	Cambio carbono	Cambio carbono
1990	ha	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹ año ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C
Forestal	1.552,85	0	14,88	0	-14,88	-23.106,41
Cultivo anual	2.872,67	0	0	0	0	0,00
Cultivo arbóreo	525,52	0	10,21	0	-10,21	-5.365,56
Pastizal	1.641,00	0	0	0	0	0,00
Humedal	30,09	0	0	0	0	0,00
Otros	63,50	0	0	0	0	0,00
TOTAL	6.685,64					-28.471,97

Tabla 77. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Urbanos en el periodo 2000 - 2006.

Categoría anterior	Superficie	C _{posterior}	C _{anterior}	ΔC _{crecimiento}	Cambio carbono	Cambio carbono
2000	ha	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C ha ⁻¹ año ⁻¹	t C ha ⁻¹	t C
Forestal	863,77	0	14,88	0	-14,88	-12.852,90
Cultivo anual	992,51	0	0,00	0	0,00	0,00
Cultivo arbóreo	350,78	0	10,21	0	-10,21	-3.581,46
Pastizal	666,69	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL	2.873,75					-16.434,36

E.3. Cambios anuales totales en la biomasa viva en Terrenos Urbanos (ΔC Urbanos)

Como en las categorías anteriores, para evaluar los cambios en las reservas de carbono en los Terrenos Urbanos en los dos periodos considerados se ha tenido en cuenta que el cambio en la reserva de carbono en los Terrenos que se mantienen en la misma categoría se produce de forma progresiva, mientras que el cambio en los Terrenos que cambian de categoría se considera que ocurre al final del periodo. A pesar de la captación de carbono que tiene lugar a través de la vegetación presente en los Terrenos Urbanos que permanecen como tales, la creación de Terrenos Urbanos desde otros tipos de Terrenos supone una pérdida de carbono. Así, durante el periodo 1990-2000, el balance de carbono a través de la biomasa del conjunto de Terrenos Urbanos es igual a - 2.778 t C año⁻¹ y durante el periodo 2000-2006 igual a - 2.463 t C año⁻¹; en ambos casos el signo negativo indica que existe pérdida neta de carbono (Tabla 78).

Tabla 78. Cambio anual total en la biomasa de los Terrenos Urbanos (UU: Terrenos que continúan siendo Urbanos; LU: Terrenos convertidos en Urbanos; ΔC Urbanos: cambio total de carbono en la biomasa de Terrenos Urbanos; ΔCO₂ Urbanos: captación de CO₂ por la biomasa de Terrenos Urbanos).

Periodo	UU	LU	ΔC Urbanos	ΔCO ₂ Urbanos
	t C año ⁻¹	t C año ⁻¹	t C año ⁻¹	Gg CO ₂ año ⁻¹
1990-2000	69,62	-2.847,19	-2.777,57	-10,18
2000-2006	276,08	- 2.739,06	-2.462,98	- 9,03

E.4. Epílogo de Terrenos Urbanos

La apuesta de las ciudades extremeñas ha de ser la de promover espacios verdes de carácter esencialmente mediterráneo que se vayan acercando a un modelo más naturalizado y disociado de los convencionales parques de estilo anglosajón.

Los parques y jardines urbanos, además de constituir espacios de encuentro, ocio y descanso accesibles para la mayor parte de la población, deberán incrementar su capacidad de absorción de CO₂, aumentando para ello su proporción de cubierta arbolada y arbustiva.

Para estimar la evolución previsible de los Terrenos Urbanos de Extremadura, atendemos a la normativa urbanística. La Ley 15/2001, de 14 de diciembre, del Suelo y Ordenación Territorial de Extremadura por la que, según el artículo 70, la superficie de parques y jardines públicos en los Municipios de más de 5.000 habitantes no podrá ser inferior a 5000 m² por cada 1000 habitantes. Además, el artículo 74 indica algunas reglas sustantivas de ordenación en los nuevos desarrollos urbanos: habrá de reservarse una superficie de suelo suficiente y proporcionada para dotaciones públicas excluido el viario; reserva que no podrá ser inferior a 35 m² por cada 100 de techo potencialmente edificable en sectores en que se permita el uso residencial. Una parte proporcional adecuada de la reserva deberá destinarse a zonas verdes, que será, como mínimo, de 15 m² por cada 100 de techo potencialmente edificable en dichos sectores y nunca menor del 10% de la superficie neta de la actuación. En sectores de uso industrial o terciario, la reserva de suelo dotacional será, como mínimo, el 15% de la superficie total ordenada, destinándose dos tercios de dicha reserva a zonas verdes.

Según la citada normativa urbanística, actualmente vigente, es previsible un incremento de fijación de carbono por parte de este tipo Terrenos. Dada la tendencia creciente de las zonas urbanas en Extremadura, es importante comprometer un porcentaje suficiente de zonas verdes en las diferentes subcategorías de Terrenos Urbanos de forma que su transformación no implique una merma en la capacidad de fijación de carbono.

F. OTROS TERRENOS

La categoría “Otros Terrenos” se incluye en el inventario con objeto de considerar la totalidad de la superficie de Extremadura y como referencia ante las conversiones entre las diferentes categorías de usos del Terreno. Esta categoría está constituida por los suelos desprovistos de vegetación, las rocas, el hielo, etc., y todo tipo de áreas de tierra no incluidas en ninguna de las anteriores categorías.

El equivalente a esta categoría en el *Plan Forestal de Extremadura* (2003) son los denominados “semi-desiertos”, constituidos por aquellas zonas (pedregales y arenales) donde la existencia de afloramientos o acúmulos rocosos de distinto tipo, o la naturaleza extremadamente arenosa del sustrato hacen que la cubierta vegetal no alcance el 20% de la superficie del suelo. Pueden presentar restos de vegetación sobre roquedos de diferente naturaleza, incluyendo conglomerados, pudingas y areniscas, vegetación que no suele variar respecto a la circundante aunque normalmente presente menor porte y densidad, y en la que suelen dominar los elementos más heliófilos.



Fotografía 17. Monumento Natural Los Barruecos (Cáceres).

Esta categoría ocupa una superficie bastante escasa, encontrándose principalmente en la sección Cáceres-Centro, al sur de Valencia de Alcántara (donde aparecen *Cytisus multiflorus* L'Her (Sweet), *Arrhenatherum bulbosum* Willd, *Pteridium aquilinum* L, *Lavandula stoechas* L. y pies aislados de *Quercus ilex* L., *Quercus suber* L., *Quercus pyrenaica* Wild, *Pinus pinea* L. y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh); en el extremo nororiental de la provincia de Cáceres, dentro de la sección Vera-Jerte, en las zonas más altas de los términos de Tornavacas y Guijo de Santa Bárbara, donde la vegetación predominante es el lastonar de altura con *Festuca indigesta* Boiss, *Festuca elegans* Boiss, *Agrostis trunctula* Parl., y presencia esporádica de especies arbustivas, *Erica arborea* L. De forma más puntual aparecen estos desiertos rocosos en secciones como Centro-Serena, Ambroz y Monfragüe.

Menor representación tienen los arenales y la vegetación sanmófila o arenícola asociada a ellos, limitándose a una mancha en la sección Cáceres-Centro, que ocupa una zona baja de penillanura, donde el pastizal estacional claro se alterna en mosaico con el semidesierto de arena, con zonas no representables de roquedo compacto y con charcas, y a otra mancha más pequeña en la sección Gata en el término de Villasbuenas de Gata.

A esta escasa representación contribuye también el hecho de ocupar zonas próximas a los cursos de los ríos principales, cuyos depósitos aluviales los originan, dónde es habitual que se aprovechen para la agricultura.

F.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva

F.1.1. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en

Otros Terrenos que permanecen como tales (ΔC_{OT})

Dadas las características de los Terrenos incluidos en esta categoría, las *Directrices del IPCC* no indican ninguna metodología por defecto para Otros Terrenos que permanecen como tales. Únicamente es necesario estimar la superficie ocupada por los mismos. Utilizando la base de datos del CORINE, se ha estimado la superficie ocupada por Otros Terrenos en los años 1990 y 2000 (Tabla 79). En este caso, la superficie de Otros Terrenos que permanecen como tales en 1990 y en 2000 coincide con la superficie total de Otros Terrenos.

Tabla 79. Superficie ocupada por Otros Terrenos en los años 1990 y 2000.

Código y denominación		1990 <i>ha</i>	2000 <i>ha</i>
33200	Afloramientos rocosos y chancales	61,0	61,0
33100	Playas, dunas y arenales	63,5	0,0
33200	Rocas desnudas con fuerte pendiente	324,0	324,0
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	10.400,3	10.379,2
TOTAL	OTROS TERRENOS	10.848,8	10.764,2

La superficie de Otros Terrenos correspondiente al año 2006, se ha estimado en base a los datos provisionales de cambios de uso del terreno CLC2006 y la superficie del año 2000 (Tabla 79). Como puede comprobarse, este tipo de terrenos sufre escasas modificaciones.

Tabla 80. Superficie ocupada por Otros Terrenos en el año 2006. 2006* se refiere a la superficie que permanece como Otros Terrenos.

Código y denominación		2006 <i>ha</i>	2006* <i>ha</i>
332	Roquedos	385,00	385,00
333	Espacios con vegetación escasa	10.288,75	10.252,64
TOTAL	OTROS TERRENOS	10.673,75	10.637,64

F.1.2. Cambios en el reservorio de carbono en la biomasa viva en Terrenos convertidos en Otros Terrenos (ΔC_{LO})

El proceso más habitual por el que un terreno se convierte a esta categoría es la degradación del mismo, bien provocada por el hombre o bien por causas naturales. Así, se asume que toda la vegetación propia de la categoría anterior desaparece en el proceso de transformación.



Fotografía 18. Zona de extracción minera.

Para calcular la superficie convertida en “Otros Terrenos” se ha procedido como en las categorías anteriores, esto es, utilizando la base de datos del CORINE. En el periodo comprendido entre el año 1990 y el 2000 no se producen incorporaciones de nuevas superficies a la categoría Otros Terrenos, por los que los cambios en la reserva de carbono debidos a la conversión de terrenos son nulos. Durante el periodo 2000-2006, se crearon 36,11 ha de Otros Terrenos, lo que supone una tasa anual de cambio de carbono igual a -89 t C año^{-1} .

Tabla 82. Cambios en la reserva de carbono en Terrenos convertidos en Otros Terrenos en el periodo 2000 - 2006.

Categoría anterior 2000	Superficie ha	C _{posterior} t C ha ⁻¹	C _{anterior} t C ha ⁻¹	ΔC _{crecimiento} t C ha ⁻¹ año ⁻¹	Cambio carbono t C ha ⁻¹	Cambio carbono t C
Forestal	36,11	0	14,88	0	-14,88	-534,43
TOTAL	36,11					-534,43

F.1.3. Cambio anual total en la biomasa en Otros Terrenos (ΔC Otros)

Como se ha comentado con anterioridad, la metodología considera que en los denominados Otros Terrenos que permanecen como tales el balance neto de carbono es nulo. En cuanto a los Terrenos transformados en dicha categoría, considerando una tasa de cambio constante, durante el periodo 2000 - 2006 se produjo pérdida anual de 89 t C año⁻¹.

Tabla 83. Cambio anual total en la biomasa de los Otros Terrenos (OO: Otros Terrenos que continúan siendo Otros Terrenos; LO: Terrenos convertidos en Otros Terrenos; ΔC Otros Terrenos: cambio total de carbono en la biomasa de Otros Terrenos; ΔCO₂ Otros Terrenos: captación de CO₂ por la biomasa de Otros Terrenos).

Periodo	OO t C año ⁻¹	LO t C año ⁻¹	ΔC Otros Terrenos t C año ⁻¹	ΔCO ₂ Otros Terrenos Gg CO ₂ año ⁻¹
1990-2000	0	0,00	0,00	0,00
2000-2006	0	- 89,07	- 89,07	- 0,33

4. CONCLUSIONES

Una vez analizadas las seis categorías de Terrenos consideradas por el IPCC, se contabilizan de forma conjunta los cambios producidos en cada una de las categorías consideradas para el periodo 1990-2000.

Considerando en conjunto todas las categorías de Terreno (Tabla 84), se pone de manifiesto el destacado papel de los Terrenos Forestales como sumideros de carbono; este tipo de Terrenos captura el 80% del carbono secuestrado en la región ($1.088.794 \text{ t C año}^{-1}$ frente a las $1.349.471 \text{ t C año}^{-1}$ totales). En menor medida contribuyen a la captación de carbono los Cultivos ($255.039 \text{ t C año}^{-1}$, esto es, el 19% del total) y Pastizales ($20.451 \text{ t C año}^{-1}$, el 1,5% del total). En sentido opuesto se encuentran los Humedales y Terrenos Urbanos, en los que durante el periodo de tiempo considerado se produjo una disminución de las reservas de carbono, igual a $12.090 \text{ t C año}^{-1}$ y $2.777 \text{ t C año}^{-1}$, respectivamente.



Fotografía 19. Parque Nacional de Monfragüe (Cáceres).

Tabla 84. Cambios anuales en la reserva de carbono en todas las categorías de Terrenos en el periodo 1990 - 2000.

CATEGORÍA		BIOMASA <i>t C año⁻¹</i>	SUELOS <i>t C año⁻¹</i>	TOTAL <i>t C año⁻¹</i>
FORESTAL	FF	1.030.218	36.235	1.066.453
	LF	1.495	20.846	22.341
	TOTAL	1.031.713	57.081	1.088.794
CULTIVOS	CC	185.471	-34.158	151.313
	LC	-588	104.314	103.726
	TOTAL	184.883	70.156	255.039
PASTIZAL	PP	0	-89.695	-89.695
	LP	-19.426	129.572	110.146
	TOTAL	-19.426	39.877	20.451
HUMEDAL	HH	0	NC	0
	LH	-12.090	NC	-12.090
	TOTAL	-12.090	0	-12.090
URBANO	UU	70	NC	70
	LU	-2.847	NC	-2.847
	TOTAL	-2.777	0	-2.777
OTROS	OO	NC	NC	0
	LO	0	NC	0
	TOTAL	0	0	0
TOTAL		1.182.303	167.114	1.349.417

Si bien el flujo de carbono únicamente ha sido considerado en tres categorías de Terrenos, se observan diferencias en la participación porcentual respecto a la biomasa de cada tipo de Terreno. Así, los suelos de los Cultivos son responsables del 28% de la captación de carbono que tiene lugar en este tipo de Terrenos, en tanto que los suelos de los Terrenos Forestales representan el 5% de las captaciones de los bosques extremeños. Dado que la absorción de carbono en los suelos de los Pastizales supera las pérdidas de carbono que tienen lugar en la biomasa, el resultado es que los Pastizales son sumideros netos de carbono.

Del mismo modo que en el periodo anterior, durante el periodo 2000-2006 en los Terrenos Forestales tiene lugar más del 80% de la captación de carbono (2.094.858 t C año⁻¹ frente a las 2.548.661 t C año⁻¹ totales) (Tabla 85). Durante este segundo periodo, el 9,5% de la captación de carbono tuvo lugar en los Cultivos y el 8,5% en los Pastizales. Humedales, Terrenos Urbanos y Otros Terrenos produjeron pérdidas anuales de carbono que, en conjunto, supusieron 93.836 t C año⁻¹.

Si se analiza la participación de la biomasa y del suelo en cada tipo de Terreno, las pautas son similares a las del anterior periodo considerado; los suelos de los Cultivos captaron el 23% del carbono en este tipo de Terrenos, en tanto que los suelos de los Terrenos Forestales absorbieron el 2,3%; los Pastizales son sumideros netos de carbono debido a la capacidad de captación de sus suelos.

Atendiendo a la relación de las masas atómicas del carbono y el dióxido de carbono (44 / 12), los valores mostrados en las Tablas 84 y 85 pueden transformarse en cantidad de CO₂ intercambiado. Para expresarlo en unidades más apropiadas, se utiliza la relación entre toneladas y Gigagramos (10⁻³). Siguiendo estos cálculos, se obtiene la cantidad total de CO₂ capturado o liberado por cada una de las categorías de Terrenos durante todo el periodo 1990-2000 (10 años) (Tabla 86).

Globalmente considerados, los resultados indican que durante el primer periodo analizado, en Extremadura se retiraron de la atmósfera un total de 49.479 Gg CO₂, equivalentes a alrededor de 50 millones de toneladas de CO₂.

Tabla 85. Cambios anuales en la reserva de carbono en todas las categorías de Terrenos en el periodo 2000 - 2006.

CATEGORÍA		BIOMASA	SUELOS	TOTAL
		<i>t C año⁻¹</i>	<i>t C año⁻¹</i>	<i>t C año⁻¹</i>
FORESTAL	FF	2.045.191	40.619	2.085.810
	LF	624	8.424	9.048
	TOTAL	2.045.815	49.043	2.094.858
CULTIVOS	CC	186.496	33.107	219.603
	LC	227	22.492	22.719
	TOTAL	186.723	55.599	242.322
PASTIZAL	PP	0	174.857	174.857
	LP	-31.794	73.343	41.549
	TOTAL	-31.794	248.200	216.406
HUMEDAL	HH	0	NC	0
	LH	-2373	NC	-2.373
	TOTAL	-2.373	0	-2.373
URBANO	UU	276	NC	276
	LU	-2.739	NC	-2.739
	TOTAL	-2.463	0	-2.463
OTROS	OO	NC	NC	0
	LO	-89	NC	-89
	TOTAL	-89	0	-89
TOTAL		2.195.819	352.842	2.548.661

Tabla 86. Captación de CO₂ en Extremadura durante todo el periodo 1990-2000.

CATEGORÍA		BIOMASA	SUELOS	TOTAL
		<i>Gg CO₂</i>	<i>Gg CO₂</i>	<i>Gg CO₂</i>
FORESTAL	FF	37.775	1.329	39.103
	LF	55	764	819
	TOTAL	37.829	2.093	39.922
CULTIVOS	CC	6.801	-1.252	5.548
	LC	-22	3.825	3.803
	TOTAL	6.779	2.572	9.351
PASTIZAL	PP	0	-3.289	-3.289
	LP	-712	4.751	4.039
	TOTAL	-712	1.462	750
HUMEDAL	HH	0	NC	0
	LH	-443	NC	-443
	TOTAL	-443	0	-443
URBANO	UU	3	NC	3
	LU	-104	NC	-104
	TOTAL	-102	0	-102
OTROS	OO	NC	NC	0
	LO	0	NC	0
	TOTAL	0	0	0
TOTAL		43.351	6.128	49.479

Tabla 87. Captación de CO₂ en Extremadura durante el todo periodo 2000-2006.

CATEGORÍA		BIOMASA <i>Gg CO₂</i>	SUELOS <i>Gg CO₂</i>	TOTAL <i>Gg CO₂</i>
FORESTAL	FF	44.994	894	45.888
	LF	14	185	199
	TOTAL	45.008	1.079	46.087
CULTIVOS	CC	4.103	728	4.831
	LC	5	495	500
	TOTAL	4.108	1.223	5.331
PASTIZAL	PP	0	3.847	3.847
	LP	-699	1.614	914
	TOTAL	-699	5.460	4.761
HUMEDAL	HH	0	NC	0
	LH	-52	NC	-52
	TOTAL	-52	0	-52
URBANO	UU	6	NC	6
	LU	-60	NC	-60
	TOTAL	-54	0	-54
OTROS	OO	NC	NC	0
	LO	-2	NC	-2
	TOTAL	-2	0	-2
TOTAL		48.308	7.763	56.071

Durante todo el periodo 2000-2006 (6 años) la cantidad total de CO₂ capturado por el conjunto de Terrenos que constituye Extremadura fue igual a 56.071 Gg CO₂ (Tabla 87). A pesar de que este periodo es inferior (6 años frente a los 10 años del periodo anterior), la captación neta de CO₂ fue superior, debido fundamentalmente al notable incremento de la capacidad sumidero de los Terrenos Forestales.

En referencia a la captación anual neta de CO₂ por parte de la biomasa, durante los periodos 1990-2000 y 2000-2006, se aprecian diferencias significativas entre ambos periodos (Figura 10). Así, la cantidad de carbono retirado de la atmósfera por la biomasa forestal prácticamente se duplicó entre el primer y segundo periodo; esta evolución procede de las modificaciones que han tenido lugar en los bosque extremeños en el periodo comprendido entre el *IFN2* y el *IFN3*, especialmente en cuanto al incremento anual del volumen con corteza; esto es, el crecimiento de la biomasa.

Considerando en conjunto los Terrenos que permanecen como tales y los Terrenos que cambian de uso, el intercambio de CO₂ en Cultivos, Terrenos Urbanos y Otros Terrenos fue muy similar en las dos etapas. Sin embargo, las pérdidas de carbono en la biomasa de los Pastizales fue superior en el segundo periodo; estas pérdidas están asociadas a la categoría de origen de los Terrenos transformados en Pastizales. Así, durante el periodo 1990-2000 el 66% de los nuevos Pastizales procedía de Cultivos Anuales, con lo que esta transformación de Terreno no suponía cambio neto en la reserva de carbono; sin embargo, durante el periodo 2000-2006 el 99% de los nuevos Pastizales eran antiguos Terrenos Forestales, con lo que se produjo una disminución en las reservas de carbono equivalente a 14,88 tC por hectárea transformada.

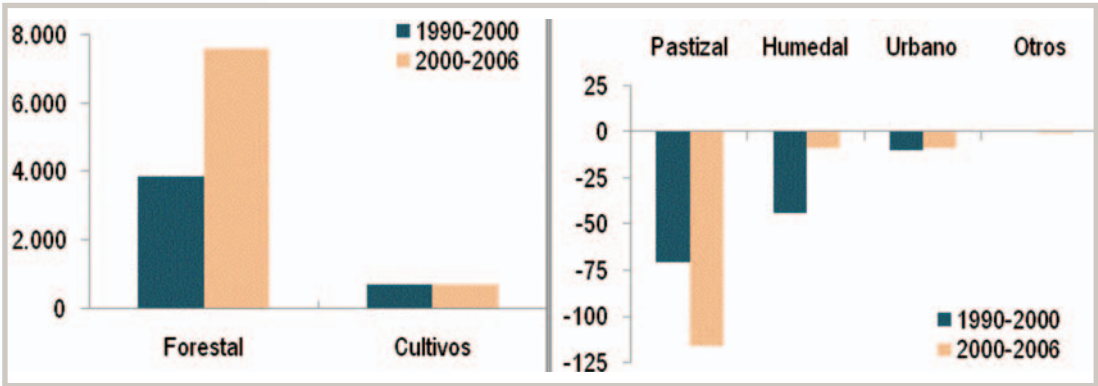


Figura 10. Intercambio neto de CO₂ a través de la biomasa de los sumideros de Extremadura (Gg CO₂ año⁻¹).

Los suelos, globalmente considerados, constituyen sumideros netos de carbono (Figura 11). Comparando el primer y segundo periodo, en los Terrenos Forestales la captación de carbono descendió un 14%, debido fundamentalmente a que durante el periodo 1990-2000 se transformó un mayor número de hectáreas a Terrenos Forestales. En el caso de los suelos de Cultivos, por la misma razón, también se produjo una disminución del 21% de la captación de carbono entre el primer y segundo periodo. Sin embargo, la captación neta de CO₂ por parte de los suelos de los Pastizales se incrementó más de seis veces ya que los Pastizales que permanecieron como tales entre el año 2000 y el 2006 retuvieron una cantidad de carbono muy elevada.

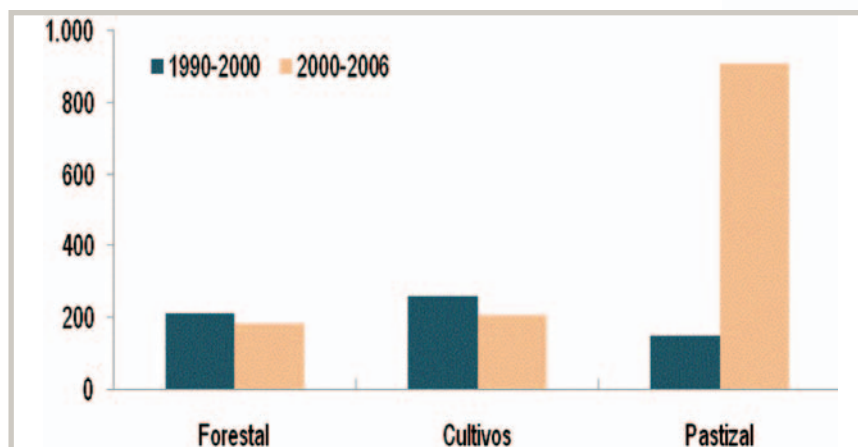


Figura 11. Intercambio neto de CO₂ a través de los suelos de los sumideros de Extremadura (Gg CO₂ año⁻¹).

Si se suman los intercambios ocurridos en la biomasa y en el suelo en las diferentes categorías de usos del terreno (Figura 12) se observa que durante el periodo 2000-2006 se absorbió una mayor cantidad de carbono de la atmósfera, fundamentalmente debido a que los Terrenos Forestales secuestraron más CO₂ y en los terrenos ocupados por Humedales hubo una pérdida menor del mismo. Siendo de menores cuantías los cambios, los Pastizales evolucionaron en el mismo sentido que los Terrenos Forestales, en tanto que los Terrenos Urbanos se comportaron como los Humedales en el transcurso de un periodo al siguiente.

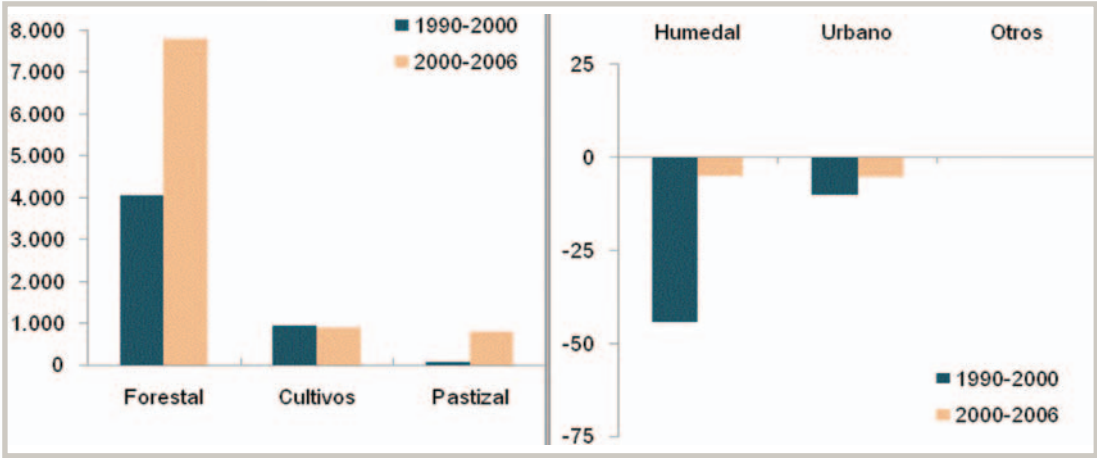


Figura 12. Intercambio neto de CO₂ a través de los sumideros de Extremadura, biomasa y suelos (Gg CO₂ año⁻¹).

Dado que en el presente inventario se ha supuesto que el cambio en la reserva de carbono en los Terrenos que se mantienen en la misma categoría se produce de forma progresiva, mientras que el cambio en los Terrenos que cambian de categoría se considera que ocurre al final del periodo, la comparación de la capacidad de los sumideros de Extremadura entre los dos periodos analizados puede también realizarse en función de la superficie de cada tipo de Terreno al final del periodo.

Para ello, las captaciones netas mostradas en las Tablas 84 y 85 se han dividido entre las superficies totales de las seis categorías de terreno en los años 2000 y 2006 respectivamente, de acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 7 (Tabla 88).

La tasa de captación de carbono anual de carbono por unidad de superficie, de cada categoría de Terreno y periodo analizado pone de manifiesto que:

- la capacidad de sumidero de carbono por superficie de Terreno Forestal se duplicó entre el primer y segundo periodo analizado, debido exclusivamente a la contribución de la biomasa.
- La captación de carbono por unidad de superficie de Cultivo disminuyó ligeramente, ya que se redujo la absorción por parte del suelo.

Tabla 88. Captación de anual CO₂ en Extremadura durante los dos periodos analizados, por unidad de superficie.

TERRENO	Periodo	BIOMASA <i>Gg CO₂ m⁻² año⁻¹</i>	SUELOS <i>Gg CO₂ m⁻² año⁻¹</i>	TOTAL <i>Gg CO₂ m⁻² año⁻¹</i>
Forestal	1990-2000	17,1	0,9	18,0
	2000-2006	34,2	0,8	35,0
Cultivos	1990-2000	5,6	2,1	7,7
	2000-2006	5,7	1,7	7,3
Pastizal	1990-2000	-1,1	2,3	1,2
	2000-2006	-1,8	14,1	12,3
Humedal	1990-2000	-6,4	0,0	-6,4
	2000-2006	-1,2	0,0	-1,2
Urbano	1990-2000	-3,3	0,0	-3,3
	2000-2006	-2,7	0,0	-1,6
Otros	1990-2000	0,0	0,0	0,0
	2000-2006	-0,3	0,0	-0,2
TOTAL	1990-2000	11,9	5,3	17,2
	2000-2006	33,9	16,6	51,6

- La tasa de captación de CO_2 por parte de los Pastizales ascendió desde $1,2 \text{ Gg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el primer periodo considerado hasta $12,3 \text{ Gg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el segundo periodo. Este destacado incremento fue debido al suelo.
- Aplicando lo que se conoce por el momento de las superficies ocupadas por Humedales y de Terrenos Urbanos, en las que únicamente se considera la biomasa, en estos tipos de Terrenos se produce una pérdida neta de carbono. Sin embargo, estas pérdidas fueron menores en el periodo 2000-2006.
- Los denominados Otros Terrenos suponen una parte muy poco significativa de la superficie de la región, apenas alcanzan el 0,25% de la superficie total. Los flujos de carbono que se producen en los mismos se deben a los cambios de uso del terreno, por los que determinadas superficies que venían capturando CO_2 , como Terrenos Forestales o Cultivos, dejan de hacerlo al transformarse en esa otra categoría de Terreno.

Durante el periodo 1990-2000, la tasa anual de intercambio neto de CO_2 referida a la superficie media de cada categoría de terreno para el periodo considerado, alcanzó su valor máximo en los Terrenos Forestales ($18 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) (Figura 13); donde $17,10 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ corresponden a la biomasa (Figura 14), en tanto que $0,95 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ se capturaron en los suelos forestales (Figura 15).

Los Cultivos retiraron de la atmósfera anualmente $7,7 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 13), de las que $5,6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ se debieron a la biomasa (Figura 14) y $2,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ a los suelos agrícolas, incluidos los Cultivos Arbóreos y los Cultivos Anuales.

La captación anual de CO_2 por unidad de superficie en los Pastizales extremeños durante el periodo 1990-2000 fue igual a $1,2 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 13). Si bien se produjo una pérdida de carbono en la biomasa de los mismos ($-1,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$, Figura 14), la fijación de $2,3 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 14) en los suelos de los Pastizales provocó que el saldo anual neto fuera positivo en este tipo de Terrenos.

Como se ha comentado ya, los suelos de los Humedales y de los Terrenos Urbanos no han sido analizados. Considerando únicamente la biomasa de los mismos, en ambos se produjo una pérdida anual de carbono, igual a $-3,3 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ en los Terrenos Urbanos y $-6,4 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ en los Humedales. Sin embargo, la escasa representación de ambas categorías de Terreno en la superficie total de la región hacen que estas pérdidas sean poco representativas en el conjunto de la región.

En los denominados Otros Terrenos no se produjo intercambio neto de carbono durante el primer periodo analizado.

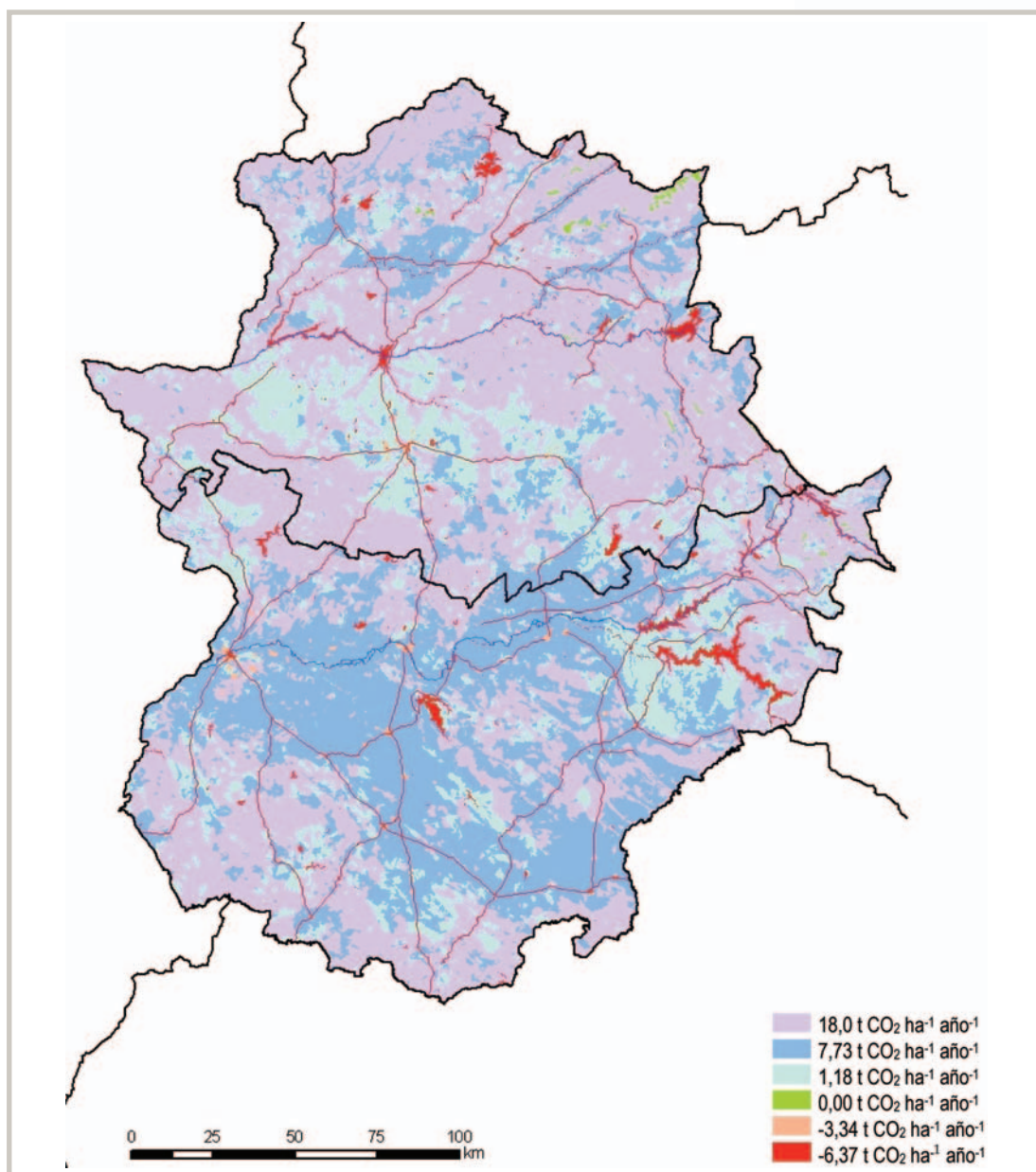


Figura 13. Intercambio neto de CO₂ a través de los sumideros de carbono de Extremadura durante el periodo 1990 - 2000, considerando biomasa y suelos en conjunto (toneladas de CO₂ por hectárea).

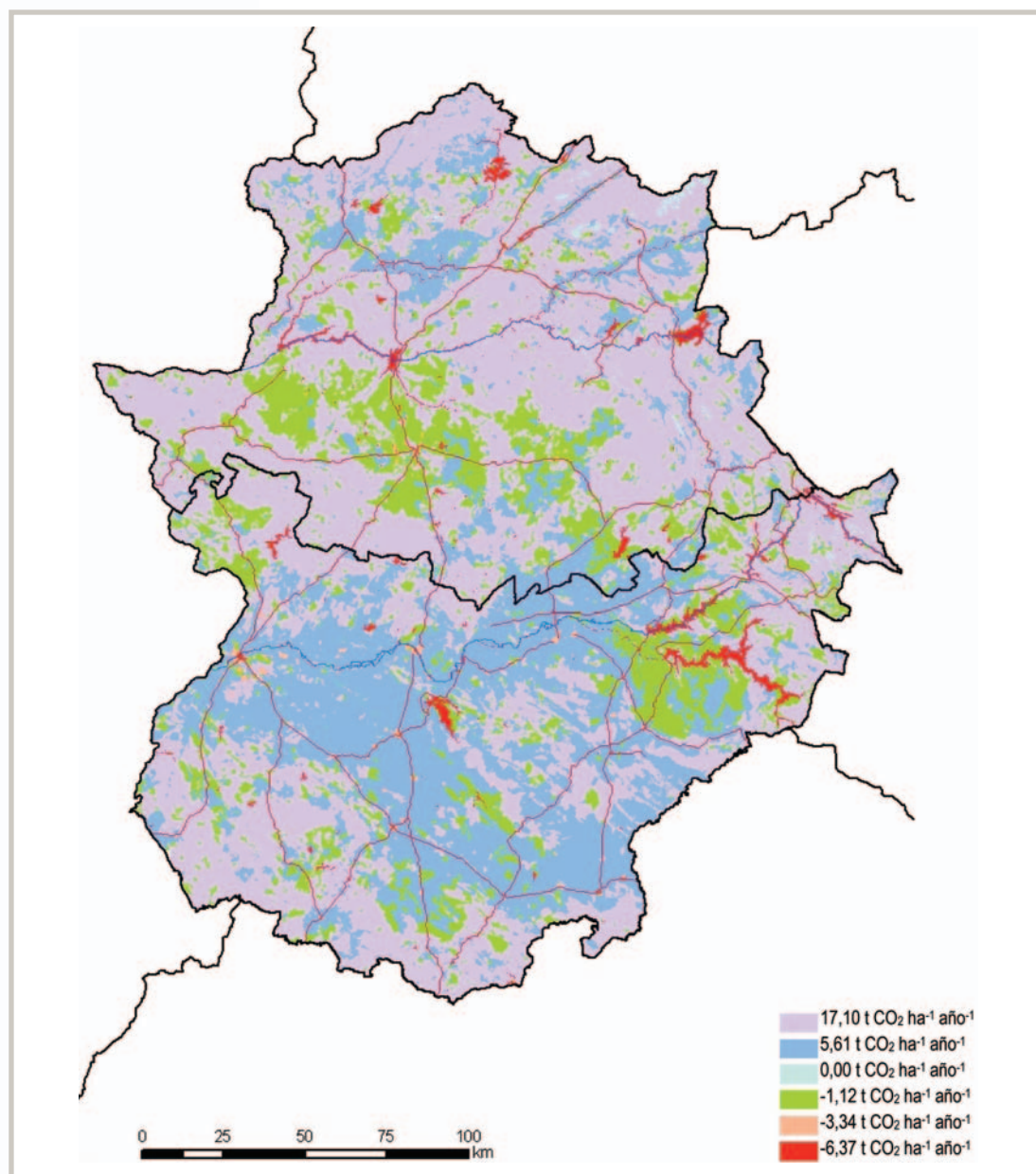


Figura 14. Intercambio neto de carbono por parte de la biomasa de los sumideros de carbono de Extremadura (toneladas de CO₂ por hectárea).

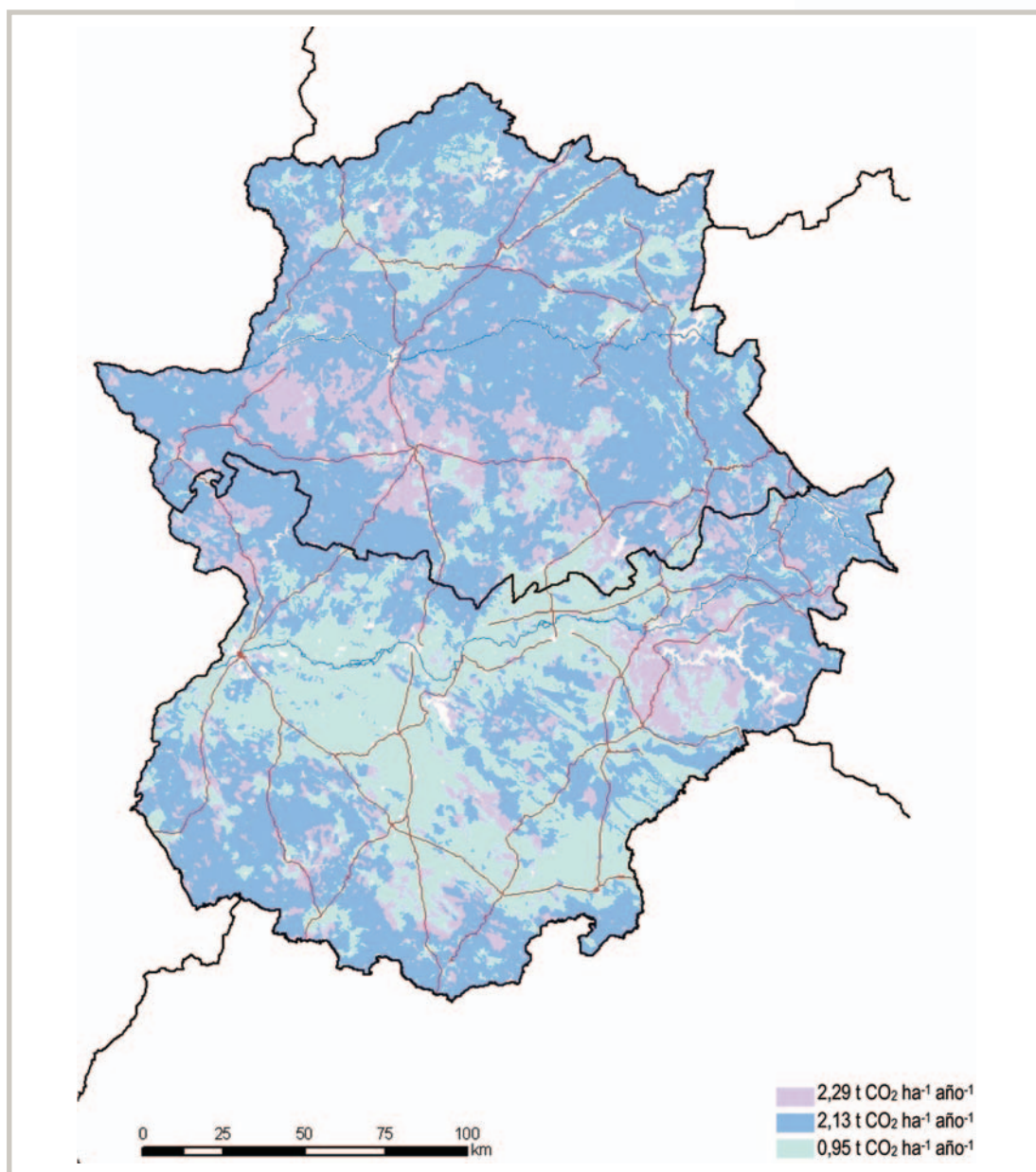


Figura 15. Intercambio neto de carbono que tiene lugar en los suelos de los sumideros de carbono de Extremadura (toneladas de carbono por hectárea y año).

5. COMPARACIÓN ENTRE METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO

Dada la especial relevancia de los Terrenos Forestales en cuanto al secuestro de carbono, se incluirán las estimaciones que al efecto han llevado a cabo diversos autores mediante metodologías contrastadas.

5.1. MÉTODO BASADO EN LOS INVENTARIOS FORESTALES NACIONALES

Los modelos basados en Inventarios Forestales Nacionales utilizan el incremento anual de la biomasa para la productividad primaria neta del ecosistema a partir de sencillos factores de conversión (Kauppi *et al.*, 2002; Liski *et al.*, 2000). En estos modelos se incluyen los fenómenos de tala pero se excluye la

contribución de la vegetación del sotobosque porque se considera que tiene una escasa contribución en la productividad primaria neta de los bosques.

Estos métodos asumen que la contribución de otros usos de suelo como plantaciones jóvenes, áreas urbanas o matorral, asimilan una cantidad de carbono despreciable comparada con los bosques. En todo caso, se reconoce una alta incertidumbre en la estimación del contenido de carbono en los suelos (Janssens *et al.*, 2001).

A nivel nacional, el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria desarrolló un protocolo metodológico para poder realizar estimaciones de carbono en las principales especies forestales arbóreas españolas. El procedimiento general consiste en inventariar parcelas experimentales midiendo diámetros y alturas, para estimar volúmenes y cantidades de biomasa por unidad de superficie, para posteriormente calcular el carbono contenido en madera, raíces y hojas.

Basándose en esta estrategia, y considerando los incrementos medios del *Segundo Inventario Nacional Forestal*, Montero *et al.* (2005) determinaron la cantidad de carbono y de CO₂ atmosférico equivalente presentes en distintas formaciones vegetales. Los crecimientos anuales fueron calculados a partir de las existencias medias del *IFN2*, que se llevó a cabo entre los años 1986 y 1996, por lo que estos autores tomaron el año 1990 como referencia.

Con objeto de contextualizar la situación de Extremadura respecto al conjunto de la nación, y debido a que no todas las especies forestales están representadas en Extremadura, se presenta un subtotal nacional y un total en el que se incluyen todas las especies recogidas en el *Inventario Forestal Nacional* (Tabla 89).

De acuerdo con los resultados de Montero *et al.* (2005) utilizando los datos del *IFN2*, se fijan cada año 75.143.536 toneladas de CO₂ en el conjunto de España y de los que 4.431.357 toneladas de CO₂ son fijadas en los terrenos forestales extremeños. Esto es, en Extremadura se produce el 6% de la captación de carbono de los bosques españoles.

Tabla 89. Captación anual de CO₂ (toneladas año⁻¹) y cantidad de CO₂ acumulado (toneladas) por las diferentes especies vegetales presentes en los terrenos forestales en el ámbito nacional y de la región extremeña según el IFN2.

Especie		Captación anual	2004	2005	2006	2007
<i>Alnus glutinosa</i> L.	España	823.808	16.215.079	17.038.887	17.862.695	18.686.503
	Extremadura	10.939	243.325	254.264	265.203	276.142
<i>Castanea sativa</i> Miller.	España	1.881.691	87.049.566	88.931.257	90.812.948	92.694.639
	Extremadura	70.834	2.499.639	2.570.473	2.641.307	2.712.141
<i>Eucalyptus</i> spp.	España	12.703.173	357.950.722	370.653.895	383.357.068	396.060.241
	Extremadura	2.338.226	47.976.998	50.315.224	52.653.450	54.991.676
<i>Olea europaea</i> L.	España	503.597	12.141.251	12.644.848	13.148.445	13.652.042
	Extremadura	33.840	773.084	806.924	840.764	874.604
<i>Populus</i> spp.	España	2.403.319	42.630.234	45.033.553	47.436.872	49.840.191
	Extremadura	-3.833	-40.091	-43.924	-47.757	-51.590
<i>Quercus faginea</i> Lam.	España	1.019.419	45.568.912	46.588.331	47.607.750	48.627.169
	Extremadura	7.304	386.036	393.340	400.644	407.948
<i>Quercus ilex</i> L.	España	13.458.547	510.938.695	524.397.242	537.855.789	551.314.336
	Extremadura	1.163.409	90.767.970	91.931.379	93.094.788	94.258.197
<i>Q. pyrenaica</i> Wild.	España	2.256.070	98.241.560	100.497.630	102.753.700	105.009.770
	Extremadura	171.258	7.008.469	7.179.727	7.350.985	7.522.243
<i>Quercus suber</i> L.	España	1.031.232	48.749.514	49.780.746	50.811.978	51.843.210
	Extremadura	202.910	11.930.346	12.133.256	12.336.166	12.539.076
Otras frondosas	España	1.229.559	81.529.914	82.759.473	83.989.032	85.218.591
	Extremadura	36.241	1.974.082	2.010.323	2.046.564	2.082.805
<i>Juniperus</i> spp.	España	689.817	22.164.478	22.854.295	23.544.112	24.233.929
	Extremadura	4.183	153.111	157.294	161.477	165.660
<i>Pinus pinaster</i> Aiton.	España	4.212.400	218.447.079	222.659.479	226.871.879	231.084.279
	Extremadura	285.247	10.072.876	10.358.123	10.643.370	10.928.617
<i>Pinus pinea</i> L.	España	1.538.423	63.154.643	64.693.066	66.231.489	67.769.912
	Extremadura	105.761	3.551.416	3.657.177	3.762.938	3.868.699
<i>Pinus sylvestris</i> L.	España	8.495.585	284.037.890	292.533.475	301.029.060	309.524.645
	Extremadura	5.037	133.197	138.234	143.271	148.308
TOTAL	España	52.246.641	1.888.819.536	1.941.066.177	1.993.312.817	2.045.559.457
	Extremadura	4.431.357	177.430.458	181.861.814	186.293.170	190.724.526
Total de especies	España	75.143.536	2.858.268.312	2.933.411.848	3.008.555.384	3.083.698.920

Actualmente ha sido completado el *IFN3* de todas las provincias españolas, lo que permite realizar una comparativa con el *IFN2* (Tabla 90). Dado que la fecha de referencia para el *IFN3* ha sido el 2001, el periodo transcurrido entre inventarios forestales es igual a 11 años. En este transcurso de tiempo la superficie forestal total del conjunto de España incrementó un 5%, en tanto que la de Extremadura aumentó un 17%.

En cuanto a la biomasa principal, o volumen maderable con corteza, a nivel nacional se incrementó un 53,17%, pasando de 597.322.225 m³ en el *IFN2* a 893.584.979 m³ en el *IFN3*, en tanto que en Extremadura el incremento alcanzó el 74,47%, pasando de 19.060.829 m³ en el *IFN2* a 33.255.502 m³ en el *IFN3*. Estos datos pueden interpretarse en términos de capacidad de absorción de carbono por parte de los terrenos forestales. En este sentido, la situación de Extremadura ha experimentado progresos más favorables que los del conjunto de España.

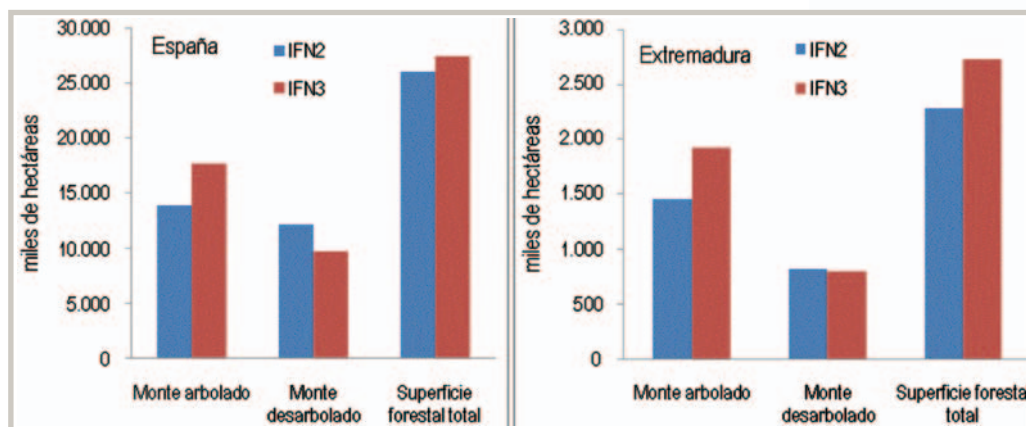


Figura 16. Evolución de la superficie forestal entre inventarios forestales nacionales en España y en Extremadura.

Recientemente han sido publicados los resultados de aplicar el modelo de cálculo de captación de carbono basado en inventarios forestales nacionales a los datos del *IFN3* (Corrales *et al.*, 2009). De acuerdo con este inventario, Extremadura alberga 2,7 millones de hectáreas de superficie forestal, de las que un 40,80% corresponden a monte arbolado no adhesado, un 53,92% a bosque adhesado y un 5,28%

a monte arbolado ralo y disperso; en el conjunto de España estas proporciones son el 81,25%, el 11,47% y al 7,28%, respectivamente.

Según los resultados del *IFN3*, Corrales *et al.* (2009) estiman que la biomasa total de los terrenos forestales de Extremadura contenía 28,1 millones de toneladas de materia seca, lo que equivale a un almacenamiento de 14 millones de toneladas de carbono y 51,5 millones de toneladas de CO₂. Estos datos fueron comparados con los del *IFN2*, cuando la biomasa total contenía 16,1 millones de toneladas de materia seca, equivalentes a 8 millones de toneladas de carbono y 29,5 millones de toneladas de CO₂. El autor considera que el secuestro medio anual de CO₂ durante los 11 años transcurridos entre los dos inventarios fue igual a 2 millones de toneladas, equivalentes a 1,04 t CO₂ por año y hectárea arbolada. Las diferencias metodológicas, así como los diferentes criterios en la definición de Terrenos Forestales explican la falta de coincidencia de estos resultados con los obtenidos en el presente inventario.

Sin embargo, el propio autor reconoce que es evidente que la información proporcionada por los Inventarios Forestales Nacionales resulta insuficiente, dado que se considera el volumen de madera de los troncos principales, con valor comercial, ignorando tanto el resto de biomasa arbórea como otras fuentes de carbono, como el suelo. Otra característica de este tipo de métodos es la disparidad de criterios en la elección del factor de expansión utilizado para calcular el carbono acumulado por la biomasa a partir de los valores de biomasa de los inventarios forestales nacionales; así la Junta de Andalucía considera el factor de expansión igual a 1,4 (Martínez de Saavedra y Sánchez, 2002); el Ministerio de medio Ambiente y Medio Rural y Marino la Xunta de Galicia lo toman como 1,6 y otros estudios lo consideran igual a 1,69.

5.2. MÉTODO ELABORADO POR EL PLAN FORESTAL NACIONAL

El Anexo 12 del *Plan Forestal de Extremadura* evalúa el efecto de sumidero de carbono atmosférico que tienen los terrenos forestales extremeños, así como los efectos que tendrá la aplicación de dicho Plan. Para ello se aplica la metodología diseñada en el *Plan Forestal Español*.



Fotografía 20. Monumento Natural Cueva del Castañar (Cáceres).

En el cálculo de las existencias de cada tipo de vegetación se emplearon los datos reflejados por el *Segundo Inventario Forestal* para las provincias de Cáceres y Badajoz, analizando el volumen con corteza por hectárea existente y el incremento anual de volumen con corteza en cada uno de los estratos de muestreo. Sólo en los tipos de vegetación que no tienen representación en el *Segundo Inventario Forestal* se han calculado los valores de carbono fijado a partir de datos existentes en la bibliografía consultada y por comparación con los restantes tipos de cubierta forestal.

La vegetación forestal extremeña existente supone un almacenamiento de 11.369.458 toneladas de carbono atmosférico (una media de $4,08 \text{ t C ha}^{-1}$), partiendo de las coberturas mostradas en el *Mapa de Vegetación y Recursos Forestales de Extremadura* (Tabla 90). Como se indicó en el apartado anterior, estas cantidades deben actualizarse en base a los datos del *Tercer Inventario Forestal Nacional*.

A la hora de aplicar el cálculo de la cantidad de CO_2 fijado dentro de treinta años según la imagen objetivo del *Plan Forestal de Extremadura* (2003), ha de considerarse la cubierta vegetal objetivo y el proceso de transformación que es necesario hasta llegar a la misma (Tabla 91).

Por tanto, la ejecución de las actuaciones previstas sobre la vegetación para llegar a la imagen objetivo del *Plan Forestal de Extremadura* en el plazo previsto tendría un efecto muy notable en el incremento del almacenamiento de carbono atmosférico en los montes, suponiendo un incremento de 8.141.397 toneladas, esto es, $271.380 \text{ t año}^{-1}$, y alcanzándose previsiblemente la cifra total de 19.510.854 toneladas de CO_2 . Este notable incremento en los niveles de carbono atmosférico fijado por la vegetación forestal en la imagen objetivo se debe fundamentalmente al aumento previsto de superficie arbolada y a la densificación y diversificación de las masas forestales extremeñas, aunque también al natural crecimiento y desarrollo de las masas forestales y el crecimiento de la biomasa.

Tabla 90. Cantidad de CO₂ acumulado (toneladas) por la vegetación forestal extremeña, calculada a partir de los datos del Segundo Inventario Forestal Nacional.

Subformación	Agrupación	Especie principal	Superficie <i>ha</i>	Carbono fijado <i>t CO₂</i>
1.1. Bosques densos	Coníferas	Todas	25.260	392.539
	Frondosas	Castaño	1.019	30.837
	Frondosas	No castaño	27.681	436.806
	Mixtas	Todas	9.952	158.337
1.1. Bosques medios	Coníferas	Todas	37.654	452.226
	Frondosas	Castaño	2.505	23.544
	Frondosas	No castaño	119.731	623.797
	Mixtas	Todas	7.175	62.705
1.3. Bosques claros	Todas	Todas	152.127	810.839
1.4. Repoblaciones	Todas	Todas	23.988	223.571
1.5. Cultivos forestales	Exóticas	Eucalipto	83.446	619.168
	Exóticas	Chopos	769	18.235
2.1 Matorrales	Todas	Todas	273.071	1.228.821
3.1. Dehesas densas	Todas	Todas	398.771	1.854.287
3.2. Dehesas normales	Todas	Todas	1.029.858	3.522.114
4.1. Arbolados c/ matorral	Todas		47.760	88.834
4.2. Arbolados s/ matorral			41.951	40.273
4.3. Desarbolados c/ matorral			181.275	224.781
4.4. Desarbolados s/ matorral			286.499	97.410
5.1. Arbóreas	Frondosas	De riberas	4.713	39.215
	Exóticas	Eucalipto	20.846	347.533
5.2. Arbustivas			8.176	73.584
SUPERFICIE FORESTAL ACTUAL			2.784.229	11.369.458

Tabla 91. Cantidad de CO₂ acumulado (toneladas) por la vegetación forestal extremeña en 30 años según la imagen objetivo del Plan Forestal de Extremadura.

Subformación	Agrupación	Superficie ha	Carbono fijado t CO ₂
1.1. Bosques densos	Coníferas	24.572	666.156
	Frondosas	5.319	248.444
	Frondosas	34.286	796.808
	Mixtas	48	1.287
1.1. Bosques medios	Coníferas	710	15.834
	Frondosas	661	7.052
	Frondosas	137.086	793.725
	Mixtas	206	3.101
1.3. Bosques claros	Todas	25.480	142.180
1.4. Repoblaciones	Todas	859.224	8.007.971
1.5. Cultivos forestales	Exóticas	17	221
	Exóticas	769	25.468
2.1 Matorrales	Todas	68.426	307.915
3.1. Dehesas densas	Todas	1.325.289	6.931.261
3.2. Dehesas normales	Todas	101.481	372.437
4.1. Arbolados c/ matorral	Todas	19.526	37.294
4.2. Arbolados s/ matorral		15.840	15.999
4.3. Desarbolados c/ matorral	Todas	97.262	120.605
4.4. Desarbolados s/ matorral		226.746	77.094
5.1. Arbóreas	Frondosas	48.287	866.420
	Exóticas	0	0
5.2. Arbustivas		8.176	73.584
TOTAL DE LA SUPERFICIE FORESTAL EN 30 AÑOS		2.999.412	19.510.854

6. BALANCE DE CARBONO EN EXTREMADURA

6.1. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera, realizado por la Subdirección General de Calidad del Aire y Prevención de Riesgos, encuadrada en la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, muestra para cada año de la serie inventariada, el flujo anual de emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de gas dentro de cada sector de actividad económica. Este inventario se elabora utilizando las fuentes de información por sectores disponibles y la metodología internacionalmente acordada del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) y CORINAIR. Si bien el inventario tiene una prioridad de cobertura nacional, está diseñado y elaborado para facilitar el desglose territorial por Comunidades Autónomas.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera 1990-2007, en España el aumento de emisiones de gases efecto invernadero ha mantenido un incremento constante, siendo el año 2006 el primero en el que se registró una reducción de emisiones. La evolución de emisiones de GEI en Extremadura ha sido muy similar a la de España (Figura 17).

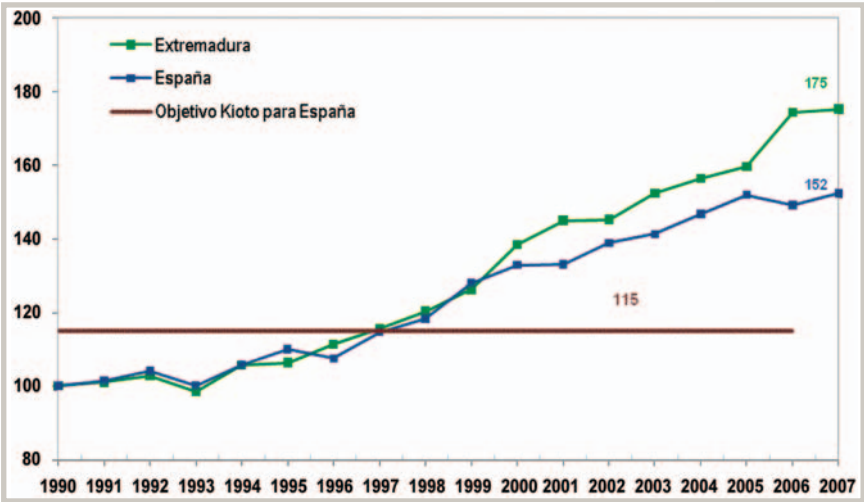


Figura 17. Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España y en Extremadura en referencia al año base del Protocolo de Kioto.

Según los datos del INE, la superficie de Extremadura representa el 8,2% del territorio nacional (41.635 Km² frente a 505.990 Km²). Si se referencian las emisiones en términos de superficie, se pone de manifiesto que, en el año base del Protocolo de Kioto (1990), las emisiones por hectárea en Extremadura fueron un 4,5 veces inferiores a las de la media nacional (Tabla 92). Esta desigual situación de partida de las emisiones de la región y la similitud de su evolución a lo largo del tiempo respecto a las emisiones del conjunto de España, ha provocado que las desigualdades se mantengan. De este modo, en el año 2007, última fecha de actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera, las emisiones de CO₂ equivalente en Extremadura por hectárea fueron casi 4 veces inferiores a las de la media nacional.

Tabla 92. Emisiones de CO₂ equivalente en términos de superficie en España y en Extremadura.

Año		Emisiones <i>Kt CO₂-eq</i>	Superficie <i>Km²</i>	Emisiones/superficie <i>t CO₂-eq ha⁻¹</i>
1990	España	290.368	505.990	5,74
	Extremadura	5.339	41.635	1,28
2007	España	442.322	505.990	8,74
	Extremadura	9.357	41.635	2,25

Del mismo modo, las emisiones de GEI pueden referenciarse en términos de población (Tabla 93). La población de Extremadura suponía el 2,66% del total nacional en 1990 y el 2,41% en el año 2007 (INE). En 1990, año de referencia para el Protocolo de Kioto, las emisiones computables a cada extremo eran 1,44 veces inferiores a las del español medio. A pesar de que el crecimiento demográfico de esta Comunidad Autónoma es inferior al del conjunto de España, en el año 2007 las emisiones per cápita de Extremadura eran un 14% inferiores a las de la media nacional.

Tabla 93. Emisiones de CO₂ equivalente en términos de población.

Año		Emisiones <i>Kt CO₂-eq</i>	Población <i>habitantes</i>	Emisiones/población <i>t CO₂-eq hab⁻¹</i>
1990	España	290.368	39.887.140	7,28
	Extremadura	5.339	1.061.852	5,03
2007	España	442.322	45.200.737	9,79
	Extremadura	9.357	1.089.990	8,58

Las categorías de actividades emisoras consideradas en el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera son las siguientes: industrias del sector energético; combustión en industrias manufactureras y de la construcción; transporte; combustión en otros sectores; procesos industriales; uso de disolventes y otros productos; agricultura; cambios de uso de suelo y silvicultura; y tratamiento y eliminación de residuos.

El incremento de las emisiones de GEI en la Comunidad Autónoma de Extremadura en la CCAA o en España se debe principalmente a dos sectores, el sector primario, que engloba las actividades agrícolas y ganaderas, y el sector transporte (Figura 18). Sin embargo, el sector que ha tenido una evolución más acentuada ha sido el de procesos industriales, incrementando desde 34 Kt CO₂-eq en el año base a 697 Kt CO₂-eq en 2007; a pesar de ello este sector representaba únicamente el 8% de las emisiones totales en 2007. El grupo procesado de la energía, que incluye tanto las emisiones de la combustión de fuentes fijas y móviles, como las emisiones evaporativas procedentes de las actividades de extracción, transporte y distribución de combustibles, supuso el 42% y el 48% de las emisiones totales de la región en los años 1990 y 2007 respectivamente. El sector primario, que incluye agricultura y ganadería, representaba en 1990 el 53% de las emisiones totales, descendiendo al 41% en el año 2007. El tratamiento y la eliminación de residuos suponen el 3% de las emisiones de GEI que se producen en Extremadura.

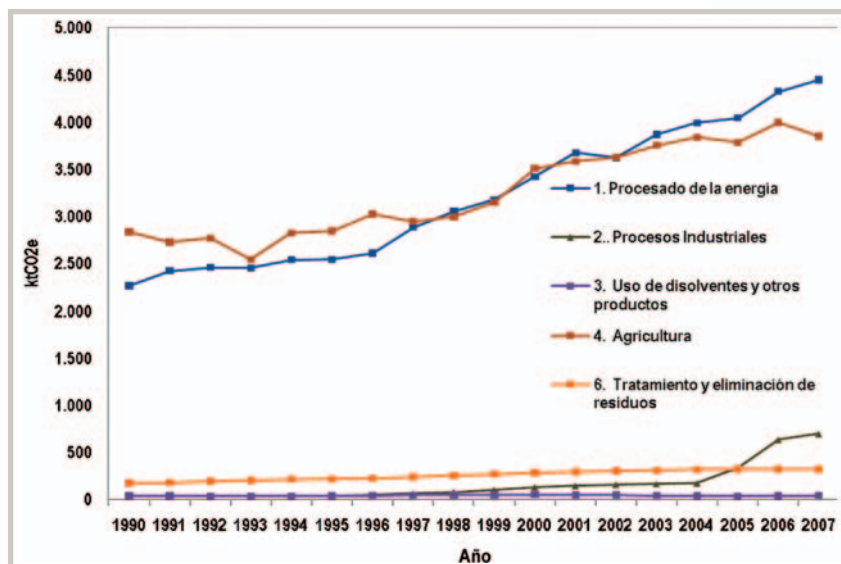


Figura 18. Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero sectoriales en Extremadura.

6.2. RÉGIMEN DE COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN

La **Directiva 2003/87/CE**, establece el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión, que se apoya en los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto. Su transposición a la normativa española se realizó a través de la **Ley 1/2005 de 9 de marzo**, por la que se regula el Régimen del Comercio de Derechos de Emisión de gases efecto invernadero.

Anualmente, todas las instalaciones afectadas por la Ley 1/2005, de 9 de marzo, deben verificar sus emisiones que posteriormente serán validadas por la autoridad competente, en el caso de Extremadura tal validación es llevada a cabo por la Dirección General de Evaluación y Calidad Ambiental, de la Consejería de Industria Energía y Medio Ambiente. Como mecanismo de control del sistema de comercio europeo de derechos de emisión, las cantidades de CO₂ asignadas y emitidas por cada una de las industrias participantes son publicadas por el Registro Nacional de Derechos de Emisión, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Los **Planes Nacionales de Asignación** (PNA) constituyen piezas claves en el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión, al establecer las cantidades de emisiones que cada industria tiene autorizadas. El

primer Plan Nacional de Asignación se aprobó para el periodo 2005-2007 y, en 2006, se aprobó el segundo PNA para el periodo 2008-2012.

El PNA 2008-2012 afecta a 1.001 instalaciones industriales en toda España, de las cuales 20 están en Extremadura. A estas empresas extremeñas se le han asignado 6,98 millones de derechos de emisión para todo el periodo, cifra que representa menos del 1% del total de derechos de emisión repartidos en el total nacional.

Al analizar las emisiones asignadas y validadas para las industrias extremeñas desde la entrada en vigor de la Ley 1/2005 (Tabla 94) puede afirmarse que en esta Comunidad Autónoma las industrias han cumplido con los compromisos adquiridos desde el establecimiento del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión, produciéndose para todos los años de aplicación de dicho Régimen un superávit en toneladas de CO₂-eq.

Tabla 94. Emisiones de CO₂ asignadas y validadas para las industrias de Extremadura afectadas por la Ley 1/2005.

Sectores	2005		2006		2007		2008	
	Asignadas	Validadas	Asignadas	Validadas	Asignadas	Validadas	Asignadas	Validadas
	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq
Siderurgia	82.638	92.749	82.638	102.480	102.311	95.225	232.918	148.266
Cemento	299.280	222.594	809.165	699.490	809.165	783.202	799.182	688.359
Vidrio	63.109	55.780	63.109	56.554	63.109	55.001	56.854	54.195
Tejas y ladrillos	73.043	58.022	104.157	72.726	104.157	54.683	76.122	45.070
Combustión			254.748	183.230	255.057	184.432	232.193	182.214
TOTAL	518.070	429.145	1.313.817	1.114.480	1.333.799	1.172.543	1.397.269	1.118.104

Efectivamente, el balance de emisiones las industrias de Extremadura, esto es, la diferencia entre las emisiones asignadas y las emisiones reales (validadas) ha resultado todos los años en un superávit de toneladas de CO₂-eq (Figura 19). Para el primer periodo de aplicación de la Ley 1/2005, en Extremadura se produjo un remanente de 449.518 toneladas de CO₂-eq, dado que el total de asignaciones en el periodo 2005-2007 se elevaron a 3.165.686 toneladas de CO₂ y que la cantidad de las emisiones validadas en ese periodo por parte de las industrias extremeñas sumaron un total de 2.716.168 to-

neladas de CO₂-eq. El 2008 siguió la tendencia del primer periodo de aplicación, con un superávit de 279.165 toneladas de CO₂-eq.

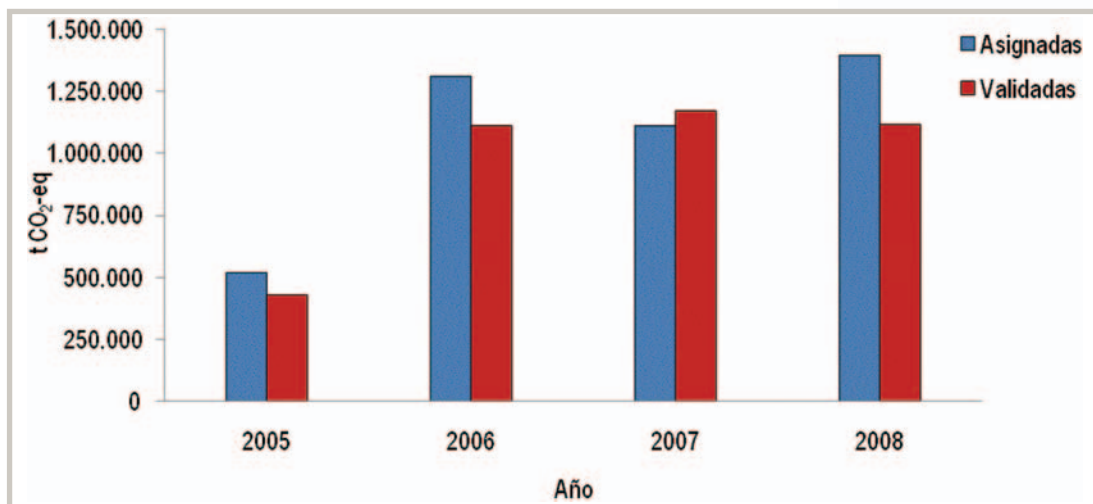


Figura 19. Emisiones asignadas y validadas anualmente para las industrias de Extremadura, en toneladas de CO₂-eq.

En términos porcentuales, las emisiones que no han llegado a producir las industrias extremeñas supusieron el 17% de las asignadas en 2005, el 15% de las de 2006, el 12% de las de 2007 y el 20% de las asignadas en el año 2008. Durante el último año validado, 2008, en las industrias extremeñas se produjo un descenso de las emisiones del 5% respecto a 2007, destacando la disminución de emisiones en el sector tejas y ladrillos con un 18% respecto al 2007. En el sector cemento se produjo una caída del 12% de las emisiones respecto a 2007, y en los sectores vidrio y combustión un descenso del 1%.

Sin embargo, el balance de emisiones validadas frente a emisiones asignadas en el conjunto de la nación es de signo negativo debido a que, consideradas en conjunto, las emisiones validadas de las industrias afectadas por la Ley 1/2005 en España fueron superiores a las emisiones previstas en el Plan Nacional de Asignación (Figura 20). En términos porcentuales, las emisiones validadas que sobrepasaron las asignadas supusieron el 11% de las mismas en 2005, el 4% en 2006, el 8% en 2007 y el 10 en el año 2008.

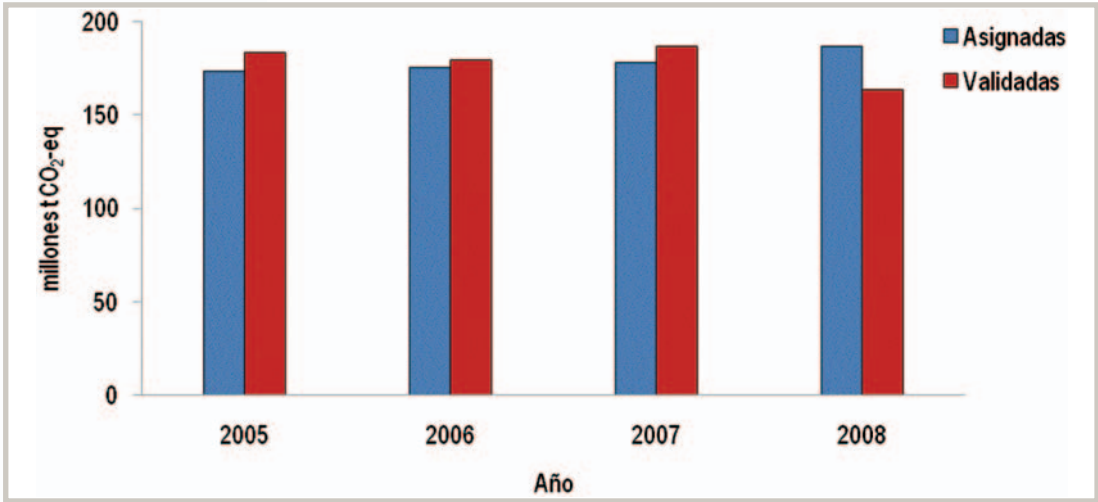


Figura 20. Emisiones asignadas y validadas anualmente por las industrias de España, en millones de toneladas de CO₂-eq.

De forma análoga a las emisiones totales, es posible referenciar las emisiones afectadas por el Comercio de Derechos de Emisión en términos de superficie (Tabla 95). En términos absolutos, las emisiones validadas en las industrias extremeñas no alcanzan el 1% de las del conjunto de la nación. Si se expresa en términos de superficie, las emisiones en Extremadura eran 35 veces inferiores a la de la media nacional a la entrada en vigor de la Ley 1/2005 y, en los años sucesivos se ha mantenido entre 12 y 13 veces por debajo del total nacional.

Tabla 95. Emisiones validadas de CO₂ equivalente relativas al Comercio de Derechos de Emisión en términos de superficie.

Año		Emisiones validadas <i>Mt CO₂-eq</i>	Superficie <i>Km²</i>	Emisiones/superficie <i>t CO₂-eq ha⁻¹</i>
2005	España	183,59	505.990	36,28
	Extremadura	0,43	41.635	1,03
2006	España	179,71	505.990	35,52
	Extremadura	1,11	41.635	2,68
2007	España	186,55	505.990	36,87
	Extremadura	1,17	41.635	2,82
2008	España	163,46	505.990	32,30
	Extremadura	1,12	41.635	2,69

La notable diferencia del año 2005 respecto a los años anteriores responde a la incorporación de todas las instalaciones de combustión de más de 20 MW en enero de 2006, ya que inicialmente sólo estaban afectadas por la normativa las centrales de generación eléctrica en régimen ordinario y las centrales de cogeneración. En esta inclusión resultaron afectadas 13 industrias en Extremadura. Paralelamente ocurrió en la región una ampliación de la siderurgia y la progresiva puesta en funcionamiento del sector cemento, teniendo en cuenta que en el año 2005 dicho sector comenzó su actividad.

Por otra parte, las emisiones per cápita en el conjunto de España se situaron entre 4,16 t CO₂-eq hab⁻¹ en el año 2005 y 3,54 t CO₂-eq hab⁻¹ en el año 2008, en tanto que en Extremadura variaron entre 0,40 t CO₂-eq hab⁻¹ en el año 2005 y 1,07 t CO₂-eq hab⁻¹ en el año 2007 (Tabla 96).

Tabla 96. Emisiones validadas de CO₂ equivalente relativas al Comercio de Derechos de Emisión en términos de población.

Año		Emisiones validadas <i>Mt CO₂-eq</i>	Población <i>habitantes</i>	Emisiones/superficie <i>t CO₂-eq hab⁻¹</i>
2005	España	183,59	44.108.530	4,16
	Extremadura	0,43	1.083.879	0,40
2006	España	179,71	44.708.964	4,02
	Extremadura	1,11	1.086.373	1,02
2007	España	186,55	45.200.737	4,13
	Extremadura	1,17	1.089.990	1,07
2008	España	163,46	46.157.822	3,54
	Extremadura	1,12	1.097.744	1,02

Exceptuando el año 2005, las emisiones por habitante en la Comunidad de Extremadura son prácticamente un 75% inferiores a las del conjunto de España. Estas diferencias se deben a que, durante los años 2006, 2007 y 2008, las industrias extremeñas afectadas por la Ley 1 / 2005 fueron responsables únicamente del 0,62%, 0,63% y el 0,69% de las emisiones nacionales relacionadas con el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión, siendo esta región la que ostenta el menor número de derechos de emisión asignados. A pesar de ello, como se ha comentado ya, Extremadura es excedentaria en derechos de emisión, en tanto que el conjunto de industrias españolas mantienen tasas de emisión de gases de efecto invernadero por encima de los límites asignados.

6.3. BALANCE DE EMISIONES Y CAPTACIONES DE CO₂

En el contexto de la lucha contra el cambio climático y la mitigación del efecto invernadero, la importancia estratégica de los sumideros de carbono es patente, especialmente considerando que España está lejos de alcanzar los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto.

Mediante la fotosíntesis, la vegetación es capaz de transformar la energía solar en energía química absorbiendo CO₂ del aire para fijarlo en forma de biomasa, y liberando simultáneamente oxígeno a la atmósfera. De esta forma, la Biosfera en su conjunto constituye un elemento preponderante en el ciclo global del carbono al almacenar grandes cantidades de carbono en la biomasa y en el suelo. Además, mediante la fotosíntesis y respiración, biomasa y suelo realizan un intercambio continuo de carbono con la atmósfera.

La gestión de los usos del suelo por parte del hombre influye de forma destacada en las reservas de carbono de los sumideros y en la capacidad de intercambio de CO₂ de los mismos, modificando su papel en el ciclo del carbono y, con ello, su potencial para mitigar el cambio climático.

Con objeto de cuantificar el grado de participación en el cambio climático de las diferentes Comunidades Autónomas de España, Corrales *et al.* (2009) aplicaron el método de cálculo de almacenamiento de carbono basado en los Inventarios Forestales Nacionales a todos los terrenos forestales nacionales, de acuerdo con los datos del IFN3. Los resultados fueron comparados con las emisiones verificadas de las instalaciones acogidas al Régimen de Comercio de Derechos de Emisión en cada Comunidad Autónoma durante el año 2007, calculando de esta manera las correspondientes Balanzas Ambientales.

Estos autores ponen de manifiesto que las emisiones verificadas en Extremadura en 2007 equivalían a 0,61 t CO₂-eq por hectárea arbolada, cifra prácticamente 20 veces inferior a la media nacional. Dado que estima que cada hectárea de superficie arbolada fija 1,04 t CO₂-eq, el saldo neto de fijación resultaría en 0,43 tCO₂-eq; siendo la Comunidad Autónoma con mayor superávit de calidad ambiental. Extremadura sería además la única región con un potencial de intercambio ambiental de fijación de CO₂, ya que mantiene un excedente de fijaciones por hectárea arbolada del 70,65% de las toneladas de CO₂ capturadas por su biomasa. Efectivamente, las emisiones por hectárea arbolada de Extremadura serían un 94,02% inferiores a las emisiones verificadas por superficie del conjunto de la nación.

Conocidas las diferencias metodológicas en la estimación de los sumideros, la importancia del trabajo de Corrales *et al.* (2009) es que se aplica un mismo método a todo el territorio nacional, lo que permite contextualizar la situación de cada una de las Comunidades Autónomas en el resto de la nación. Sin embargo, el autor reduce los sumideros de una región a la biomasa de la superficie arbolada de la misma, eludiendo el intercambio de carbono que se produce en los restantes tipos de usos del suelo reconocidos desde el panel intergubernamental de cambio climático.

Los resultados obtenidos en el presente inventario hacen posible la elaboración de un balance de emisiones y captaciones de emisiones de CO₂ en Extremadura. La captación anual de carbono en Extremadura se ha estimado igual a 1.349.417 t C año⁻¹ y 2.548.661 t C año⁻¹ en los periodos 1990 - 2000 y 2000-2006 (Tablas 84 y 85). Dado que el peso molecular del carbono es 12 y el del CO₂ es 44, estas cantidades equivalen a 4.947.862 t CO₂ año⁻¹ y 9.345.090 t CO₂ año⁻¹ para los periodos respectivos. Por otra parte, de acuerdo con los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, las emisiones anuales medias en Extremadura en el periodo 1990-2000 ascendieron a 5.948 millones de toneladas de CO₂, en tanto que en el periodo 2000-2006 se emitieron 8.170 Kt CO₂ año⁻¹ (Figura 17). La comparación de captaciones y emisiones de CO₂ en Extremadura actúa como indicador del flujo de carbono que tiene lugar en esta Comunidad (Tabla 97).

Tabla 97. Emisiones y captaciones anuales de CO₂ en Extremadura.

Periodo	Captaciones <i>Kt CO₂-eq año⁻¹</i>	Emisiones <i>Kt CO₂-eq año⁻¹</i>	Captaciones - Emisiones <i>Kt CO₂-eq año⁻¹</i>
1990-2000	4.978	5.948	-970
2000-2006	9.345	8.170	1.175

Durante el primer periodo analizado, 1990-2000, se emitieron 970 Kt CO₂-eq año⁻¹ más que la cantidad de CO₂ absorbido por los sumideros extremeños; esto es, el 84% de las emisiones producidas en la región eran compensadas en el propio territorio. En el segundo periodo, 2000-2006, las captaciones superaron a las emisiones producidas en la región en 1.175 Kt CO₂-eq año⁻¹. Este superávit supone el 14% de las emisiones anuales generadas en Extremadura durante este segundo periodo, lo que convierte a la región en sumidero neto de carbono. El cambio entre periodos obedece a que, mientras las emisiones de CO₂ han incrementado un 37%, la absorción de CO₂ por parte de los sumideros aumentó un 88%.

En términos de superficie, cada hectárea de terreno pasó de emitir 0,23 toneladas de CO₂ al año durante el primer periodo, a capturar 0,28 t CO₂-eq ha⁻¹ año⁻¹ durante el segundo periodo (Tabla 98).

Tabla 98. Emisiones y captaciones anuales de CO₂ en Extremadura en términos de superficie.

Periodo	Superficie Km ²	Captaciones t CO ₂ -eq ha ⁻¹ año ⁻¹	Emisiones t CO ₂ -eq ha ⁻¹ año ⁻¹	Captaciones - Emisiones t CO ₂ -eq ha ⁻¹ año ⁻¹
1990-2000	41.635	1,20	1,43	-0,23
2000-2006	41.635	2,24	1,96	0,28

Para calcular la cantidad de CO₂ intercambiado que correspondería a cada extremeño, se ha tomado la población media de cada periodo según los datos del INE (Tabla 99). A cada extremeño le correspondía la emisión de 0,91 t CO₂ al año durante el primer periodo, en tanto que durante el segundo periodo se capturaron 1,09 t CO₂-eq año⁻¹ por cada extremeño.

Tabla 99. Emisiones y captaciones anuales de CO₂ en Extremadura en términos de población.

Periodo	Población habitantes	Captaciones t CO ₂ -eq hab ⁻¹ año ⁻¹	Emisiones t CO ₂ -eq hab ⁻¹ año ⁻¹	Captaciones - Emisiones t CO ₂ -eq hab ⁻¹ año ⁻¹
1990-2000	1.065.636	4,67	5,58	-0,91
2000-2006	1.077.897	8,67	7,58	1,09

Si el balance se refiere únicamente a las emisiones relativas al Comercio de Derechos de Emisión, los resultados concuerdan con la balanza ambiental positiva calculada por Corrales *et al.* (2009). Durante el periodo 2005 - 2008 las industrias extremeñas emitieron una media de 1.118 Kt CO₂-eq año⁻¹ que, frente a la captación anual de 9.345 Kt CO₂-eq año⁻¹ supone un superávit de 8.227 Kt CO₂-eq año⁻¹.

A nivel europeo se ha reconocido la importancia de investigar los procesos relacionados con los balances de emisiones y captaciones de gases de efecto invernadero. Por ello, en el marco del Convenio Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, se ha iniciado recientemente el proyecto GHG Europe, que permitirá la elaboración de un inventario completo de emisiones de gases invernadero incorporando los sumideros terrestre y las emisiones causadas por los distintos usos del suelo. El proyecto, que involucra a más de 40 institutos europeos, pretende establecer un balance de los gases con

efecto invernadero en Europa, para entender la magnitud de las distintas fuentes y sumideros, su distribución regional, y su dinámica temporal. Además, se iniciarán medidas en regiones que hasta ahora han sido poco estudiadas, como los matorrales Mediterráneos.

La investigación sobre los mecanismos subyacentes a la variabilidad espacial y temporal en los gases con efecto invernadero es esencial para mejorar las predicciones de la futura composición atmosférica y, por ende, del clima, así como para contribuir a mitigar el cambio climático a través de una adecuada gestión de los ecosistemas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ADHIKARI, S; ROSHAN M. BAJRACHARAYA, RM; SITAULA, BK. 2009. *A Review of Carbon Dynamics and Sequestration in Wetlands*. Journal of Wetlands Ecology, 2: 42-46.
- AGUDO ROMERO, R; MUÑOZ MARTÍNEZ, M; DEL PINO CASTILLO, O. 2007. *Primer Inventario de sumideros de CO₂ en Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 168 pp.
- ALLOZA, JA; BAGINO, SM; BRAVO, F; BRAVO-OVIEDO, A; BROTO, M; CÁMARA, A; CANGA, E; DELGADO, JA; BALTEIRO, LD; FERNÁNDEZ NIETO, MJ; GALLARDO LANCHO, JF; GÓMEZ, C; HERRERO, C; LIZARRALDE, I; MENÉNDEZ MÍGUELEZ, MERINO, A; MONTERO, G; MORO, O; NAVARRO, RM; ORDÓNEZ, C; OSORIO, LF; DEL PESO, C; ROCA, N; RODRÍGUEZ, F; ROMANYA, J; ROMERO, C; ROVIRA, P; RUBIO, A; RUIZ-PEINADO, R; SEGUR, M; VALLEJO, R. 2007. *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Fundación Gas Natural. 315 pp.
- AMTHOR, JS. 1998. *Perspective on the relative insignificant of increasing atmospheric CO₂ concentration to crop yield*. Field Crop Research, 58: 109-127.
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE. 2003. *Plan Forestal de Extremadura*. Junta de Extremadura.
- CORRALES, N; ESCRIBANO, M; MURILLO, LR; SÁNCHEZ, M. 2009. *Balanzas ambientales de España*. Universidad de Extremadura. 341 pp.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL. SUBDIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD DEL AIRE Y PREVENCIÓN DE RIESGOS. 2007. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990 - 2005. Comunicación a la Comisión Europea. Decisiones 280/2004/CE y 2005/166/CE*. Ministerio Medio Ambiente. Madrid. 396 pp.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL. SECRETARÍA DE ESTADO DE CAMBIO CLIMÁTICO. 2009. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990 - 2007. Comunicación a la Secretaría del Convenio Marco sobre Cambio Climático*. Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 458 pp.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA. *Tercer Inventario Forestal Nacional. 1997-2006. Provincias de Badajoz y Cáceres*. Ministerio Medio Ambiente. Madrid.
- DIRECCIÓN GENERAL PARA LA BIODIVERSIDAD. 2006. *Los incendios forestales en España. Decenio 1996-2005*. Ministerio de Medio Ambiente, 106 pp.
- DIXON, RK; BROWN, S; HOUGHTON, RA; SOLOMON, AM; TREXLER, MC; WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263: 185-190.
- DOWNING, JA; COLE, JJ; MIDDELBURG, JJ; STRIEGL, RG; DUARTE, CM; KORTELAINEEN, P; PRAIRIE, YT; LAUBE, KA. 2008. Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochemical Cycles*, 22: 1-10.

- EGDELSTON, S; BUENDIA, L; MIWA, K; NGARA, T; TANABE, K. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- FCCC/SBSTA/2004/8. UNFCCC. 2004. *Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual inventories*.
- FCCC/SBSTA/2006/9. UNFCCC. 2006. *Updated UNFCCC reporting guidelines on annual inventories following incorporation of the provisions of decision 14/CP.11*.
- GARCÍA NAVARRO, A; LÓPEZ PIÑEIRO, A. 2002. *Mapa de suelos de la provincia de Cáceres: Escala 1:300.000*. Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones. 119 pp.
- HERNÁNDEZ, E; LÓPEZ, F; ALFONSO, F; CONESA, C; ÁLVAREZ, Y. 2004. *La huella ecológica del cultivo del olivo en España y su aplicabilidad como indicador de agricultura sostenible*. Papeles de Geografía, 39: 141-155.
- HOUGHTON, JT; MEIRA FILHO, LG; LIM, B; TREANTON, K; MAMATY, I; BONDUKI, Y; GRIGGS, DJ; CALLENDER, BA. 1996. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological Office, Bracknell.
- HOUGHTON, JT; GYLVA MEIRA FILHO, L; GRIGGS, DJ; MASKELL, K. 1997. *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC*. Documento técnico II del IPCC.
- IBÁÑEZ, JJ; VAYREDA, J; GRACIA, C. 2001. *Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Cataluña*. Centre de Recerca Ecològica y Aplicacions Forestals (CREAF). En: Bravo, F; del Río, M; del peso, C. 2002. *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la gestión forestal sostenible*, pp. 66-67
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. CORINE Land Cover 1990 y Actualización de la base de datos CORINE Land Cover. Proyecto I&CLC 2000. Ministerio de Fomento. Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (ICONA). 1995. *Segundo Inventario Forestal Nacional 1986 - 1995. Provincias de Badajoz y Cáceres*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2004. *Anuario Estadístico de España*. www.ine.es
- IPCC. 1995. *Second Assessment: Climate Change, 1995*. 73 pp.
- IPCC. 2007. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- JANSSENS, IA; LANKREIJER, H; MATTEUCCI, G; KOWALSKI, AS; BUCHMANN, N; EPRON, D; PILEGAARD, K; KUTSCH, W; LONGDOZ, B; GRÜNWALD, T; MONTAGNANI, L; DORE, S; REBMANN, C; MOORS, EJ; GRELE, A; RANNIK, Ü; MORGENSTERN, K; OLTCEV, S; CLEMENT, R; GUDMUNDSSON, J; MINERBI, S; BERBIGIER, P; IBROM, A; MONCRIEFF, J. B; AUBINET, M; BERNHOFER, C; JENSEN, N. O; VESALA, T; GRANIER, A; SCHULZE, E-D; LINDROTH, A; DOLMAN, AJ; JARVIS, PG; CEULEMANS, R; VALENTINI, R. 2001. *Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests*. Global Change Biology, 7: 269-278.
- JOBBAGY, EG; JACKSON, RB. 2000. *The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation*. Ecological Applications, 19(2): 423 - 436.

- JOHNSON, MG; LEVINE, ER; KERN, JS. 1995. *Soil organic matter: distribution, genesis and management to reduce greenhouse*. Water, Air and Soil Pollution, 82: 593 - 615.
- JONES, RJA; HIEDERER, R; RUSCO, E; LOVELAND, PJ; MONTANARELLA, L. 2004. *The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No. 72 (S.P.I.04.72)*. European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- JONES, RJA; HIEDERER, R; RUSCO, E; LOVELAND, PJ; MONTANARELLA, L. In press. *Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support*. European Journal of Soil Science.
- JONES, RJA; HIEDERER, R; RUSCO, E; LOVELAND, PJ; MONTANARELLA, L. 2003. *Topsoil organic carbon in Europe*. Proceedings of the 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, 17-20 June 2003, Bologna, Emilia Romagna, Direzione.
- KAUPPI, P; MIELIKÄINEN, K; KUUSELA, K. 2002. *Biomass and Carbon budget of European Forests, 1971 to 1990*. Science, 256 (5053): 70.
- KIRKBY, MJ; JONES, RJA; IRVINE, B; GOBIN, A; GOVERS, G; CERDAN, O; VAN ROMPAEY, AJJ; LE BISSESSONNAIS, Y; DAROUSSIN, J; KING, D; MONTANARELLA, L; GRIMM, M; VIEILLEFONT, V; PUIGDEFABREGAS, J; BOER, M; KOSMAS, C; YASSOGLOU, N; TSARA, M; MANTEL, S; VAN LYNDEN, GJ; HUTING, J. 2004. *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003*. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- KIRKBY, KR; POTVIN, C. 2007. *Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project*. Forest Ecology and Management. Artículo en prensa.
- KOLLMANN, F. 1959. *Tecnología de la Madera y sus aplicaciones*. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias y Servicios de la Madera, Madrid.
- LISKI, J; KARJALAINEN, A; PUSSINEN, A; NABUURS, G; KAUPPI, P. 2000. *Trees as carbon sinks and sources in the European Union*. Environmental Science and Policy, 3: 91-97.
- MARTIKAINEN, PJ; NYKÄNEN, H; ALM, J; SILVOLA, J. 1995. *Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophy*. Plant and Soil, 168-169: 571-577.
- MARTÍNEZ DE SAAVEDRA, J, SÁNCHEZ, G. 2002. *El proceso de cuantificación nacional de los sumideros de carbono en los bosques forestales españoles*. SPCAN-DGCN. Ministerio de Medio Ambiente. 8 pp.
- MENDOZA-VEGA, J; KARLTUN, E; OLSSON, M. 2003. *Estimations of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico*. Forest Ecology and Management, 177: 191-206.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 1990 y siguientes. *Anuario de estadística agroalimentaria*.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 1978. *Mapa de cultivos y Aprovechamientos, 1:50.000*.

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. 2001. *Mapa Forestal Español, 1:50.000*.
- MONTERO, G; RUÍZ-PEINADO, R; MUÑOZ, M. 2005. *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Monografías Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA): Serie Forestal. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid. 270 pp.
- MORENO RODRÍGUEZ, JM; MORENO, JM; AGUILO, E; ALONSO, S; ÁLVAREZ, M; ANADÓN, R; BALLESTER, F; BENITO, G; CATALÁN, J; DE CASTRO, M; CENTRERO, A; COROMINAS, J; DÍAZ, J; DÍAZ-FIERROS, F; DUARTE, CM; ESTEBAN TALAYA, A; ESTRADA, A; ESTRELA, T; FARIÑA, AC; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F; GALANTE, E; GALLART, F; GARCÍA DE JALÓN, LD; GIL, L; GRACIA, C; IGLESIAS, A; LAPIEZA, R; LOIDI, J; LÓPEZ PALOMEQUE, F; LÓPEZ-VÉLEZ, R; LÓPEZ ZAFRA, JM; DE LUIS, E; MARTÍN-V. DE, J; MENEU, V; MINGUEZ TUDELA, MI; MONTERO, G; MORENO, J; MORENO SAIZ, JC; NÁJERA, A; PEÑUELAS, J; PISERRA, MT; RAMOS, MA; DE LA ROSA, D; RUÍZ MANTECÓN, A; SÁNCHEZ ARCILLA, A; SÁNCHEZ DE TEMBLEQUE, LJ; VALLADARES, F; VALLEJO, VR; ZAZO, C. 2005. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente. Oficina Española de Cambio Climático.
- NACIONES UNIDAS. 1998. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. NRCS 2003. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. <http://www.nrcs.usda.gov/>
- NOAA. 2009. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.mlo.noaa.gov/>
- NOWAK, DJ; CRANE, DE. 2002. *Carbon storage and sequestration by urban trees in the United States*. Environmental Pollution, 116 (3): 381 – 389.
- NOWAK, DJ; ROWNTREE, RA; McPHERSON, EG; SISINNI, SM; KERKMANN, ER; STEVENS, JC. 1996. *Measuring and analyzing urban tree cover*. Landscape and Urban Planning, 36: 49 – 57.
- PENMAN, J; GYTARSKY, M; HIRAISHI, T; KRUG, T; KRUGER, D; PIPATTI, R; BUENDIA, L; MIWA, K; NGARA, T; TANABE, K; WAGNER, F. 2003. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- PREGITZER, KS. 2003. *Woody plants, carbon allocation and fine roots*. New Phytologist, 158 (3): 421-424.
- RODRÍGUEZ MURILLO, JC. 2001. *Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain*. Biology and Fertility of Soils, 33: 53-61.
- SALA, OE; PARUELO, JM. 1997. *Ecosystem services in grasslands*. En Daily, G (Ed.). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC.
- SERVICIO DE ANÁLISIS Y ESTADÍSTICA. CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, COMERCIO EN INNOVACIÓN DE LA JUNTA DE EXTREMADURA. 2001. Anuario estadístico. 860 pp.
- SCHERER-LORENZEN M., KÖRNER C., AND SCHULZE E.D. 2005. *Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems*. Springer (Berlin, Heidelberg, New York). Ecological Studies, 176: 400 pp.

- SILVA, I; MUÑOZ, AF; TORMO, R; GONZALO, MA. 1999. *Aerobiología en Extremadura. El polen de la atmósfera de la ciudad de Badajoz*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Badajoz, 158 pp.
- SMITH, P; MARTINO, D; CAI, Z; GWARY, D; JANZEN, H; KUMAR, P; MCCARL, B; OGLE, S; O'MARA, F; RICE, C; SCHOLLES, B; SIROTKENKO, O; HOWDEN, M; MCALLISTER, T; PAN, G; ROMANENKOV, V; SCHNEIDER, U; TOWPRAYOON, S; WATTENBACH, M; SMITH, J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. En *Philosophical Transactions. Royal Society Biological Sciences*, 363: 789-813.
- THORMANN, MN; SZUMIGALSKI, AR; BAYLEY, SE. 1999. Aboveground peat and carbon accumulation potentials along a bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Wetlands*, 19: 305-317.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. 2006. *Updated UNFCCC reporting guidelines on annual inventories following incorporation of the provisions of decision 14/CP.11*.
- UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA. *Mapa de tipos de suelos de Extremadura*. Trabajo desarrollado en el ámbito del Proyecto Dehesa/Montado dentro de la iniciativa comunitaria INTERREG III.
- VILÁ, M; INCHAUSTI, P; VAYREDA, J; BARRANTES, O; GRACIA, C; IBÁÑEZ, JJ; MATA, T. 2005. *Confounding factors in the observed productivity-diversity relationship in forest*. En: Scherer-Lorenzen, M; Körner, Ch; Schulze, Ed. (Eds.). *Forest diversity and function. Temperature and boreal systems*. Ecological Studies, vol. 176. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 347 - 376.
- WATSON, RT; NOBLE, IR; BOLIN, B; RAVINDRANATH, NH; VERARDO, DJ; DOKKEN, DJ. 2001. *Land use, land use change and forestry. A special report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 377 pp.
- WIENS, J. A. 1989. *Spatial scaling in Ecology*. Functional Ecology, 3: 385-397.
- YAVITT, JB; WILLIAMS, CJ; WIEDER, RK. 1997. *Production of methane and carbon dioxide in peatland ecosystems across North America: Effects of temperature, aeration and organic chemistry of peat*. Geomicrobiology Journal, 14: 299-316.

