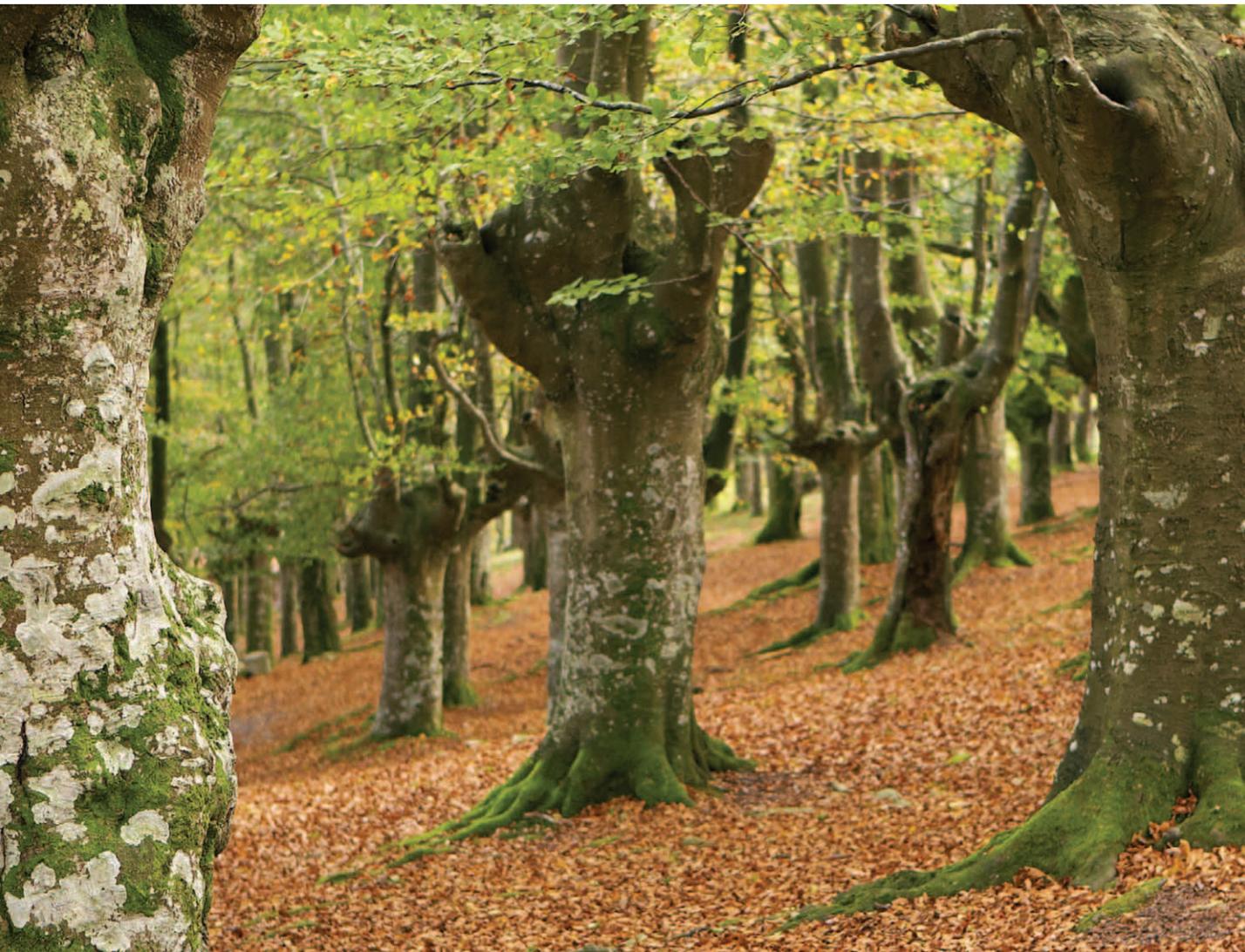


# SUMIDEROS DE CARBONO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO

Capacidad de secuestro y medidas para su promoción



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE  
POLITIKA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE  
Y POLÍTICA TERRITORIAL







# SUMIDEROS DE CARBONO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO

## Capacidad de secuestro y medidas para su promoción

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE  
POLITIKA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE  
Y POLÍTICA TERRITORIAL

Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia

Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

Vitoria-Gasteiz, 2014

Un registro bibliográfico de esta obra puede consultarse en el catálogo de la Red *Bibliotekak* del Gobierno Vasco: <http://www.bibliotekak.euskadi.net/WebOpac>

Este libro se ha impreso utilizando papel procedente de bosques gestionados de manera sostenible y con tintas que no contienen metales pesados. Todo ello aplicando criterios para la gestión sostenible de las publicaciones, en desarrollo por el proyecto Life+ Ecoedición de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.



Edición: 1ª, junio 2014

Tirada: 200 ejemplares

© Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial

Internet: [www.euskadi.net](http://www.euskadi.net)

Edita: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia / Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Donostia-San Sebastián, 1 - 01010 Vitoria-Gasteiz

Autor: NEIKER-Tecnalia

Coordinación: NEIKER-Tecnalia

Maquetación: NEIKER-Tecnalia

Impresión: RGM, S.A.

ISBN: 978-84-457-3345-5

D.L.: BI 949-2014

## NEIKER-Tecnalia

Ainara Artetxe Arrien, <sup>1</sup>Óscar del Hierro Cerezo, <sup>1</sup>Miriam Pinto Tobalina, Nahia Gartzia Bengoetxea, Ander Arias González.

### Agradecimientos:

Sergal, S. Coop. - Lorra, S. Coop. - Abelur, S. Coop. - Lurgintza S. Coop.  
Fraisoro Laboratorio Agroambiental – Ingurumen eta Nekazal Laborategia  
Diputación Foral de Araba – Arabako Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia – Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Gipuzkoa – Gipuzkoako Foru Aldundia

Este libro ha sido financiado por el Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco.

<sup>1</sup> Estos autores han recibido financiación del proyecto Adaptaclima (Adaptación a los efectos derivados del cambio climático. Financiado por el Programa de Cooperación Territorial Sudoeste Europeo, SUDOE – Interreg IV B), para el desarrollo de trabajos que se han plasmado en algunos de los contenidos de esta publicación. Más información en [www.adaptaclima.eu](http://www.adaptaclima.eu)





## Prólogo



**Ana Oregi.** Consejera de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco

© Mikel Arrazola argazkia/Eusko Jauriaritza

Euskadi es consciente de que el cambio climático es un aspecto global cuyo abordaje debe realizarse desde el trabajo y responsabilidad colectiva. Para ello, se elaboró en su día el “Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático 2008-2012”. Actualmente estamos trabajando con todos los agentes científicos y tecnológicos públicos y privados, y con las diferentes administraciones a fin de contribuir a alcanzar los objetivos internacionales de mitigación y adaptación al cambio climático, que abogan por la consolidación de un modelo socio-económico menos dependiente del carbono y mejor preparado para los impactos que tendrá el cambio climático.

Esta estrategia global tiene sus pilares en la innovación tecnológica, la integración de las diferentes políticas sectoriales y la implicación de la ciudadanía y de la Administración. El compromiso es de toda la sociedad.

El incremento de los sumideros de carbono para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero es uno de los compromisos adoptados por el Gobierno Vasco. Dada su capacidad para secuestrar o fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico, los sumideros de carbono de la biosfera terrestre juegan un papel importante en la lucha contra el cambio climático. Por ello, este documento se ha elaborado para implantar una estrategia política de mitigación y adaptación adecuada que potencie la capacidad de secuestro de carbono de los sumideros de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Además, el establecimiento de estas medidas de mitigación para incrementar las existencias de carbono en la biomasa y el suelo, conlleva otros efectos beneficiosos desde el punto de vista medioambiental, como son una gestión agrícola, piscícola, y forestal sostenibles, con la consiguiente mejora de la calidad de las aguas, los suelos, y en general, del medio natural.

Este trabajo contextualiza el problema del cambio climático en todo el planeta y detalla las emisiones y fijaciones de los gases de efecto invernadero derivados del uso de la tierra en nuestro país, Euskadi. De esta manera, se pueden identificar los depósitos de carbono claves a la hora de plantear políticas contra el cambio climático, poniendo el foco en los sumideros de carbono esenciales como la biomasa forestal y los suelos, analizando su capacidad fijadora y proponiendo medidas para potenciar el carácter de sumidero.

Una sociedad que apuesta por un futuro más sostenible, no puede quedarse indiferente frente al cambio climático. Una actuación social conjunta nos permitirá incrementar nuestra eficiencia contra el cambio climático, incrementando los beneficios y contribuyendo a una mejora en nuestra calidad de vida.

La prevención y anticipación a los problemas y la búsqueda de soluciones, asumiendo responsabilidades como Administración responsable, es uno de los compromisos fundamentales que este Gobierno ha adquirido con la sociedad. Este compromiso contribuye localmente a la estrategia global de uno de los mayores problemas ambientales a los que nos enfrentamos en el siglo XXI; el cambio climático.

**Ana Oregi**

Consejera de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco





# Índice

Prólogo .....	7
Resumen .....	17
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1. OBJETIVOS .....	21
1.2. EL CICLO DEL CARBONO EN RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	22
1.2.1. El ciclo del carbono .....	23
1.3. EVIDENCIAS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	26
1.3.1. Evidencias del cambio climático según el IPCC.....	26
1.3.2. Efectos del cambio climático previstos en la CAPV .....	28
1.4. ACUERDOS INTERNACIONALES, ESTATALES Y DE LA CAPV .....	32
RELATIVOS A LOS SUMIDEROS .....	32
1.4.1. Inventarios de GEI de cara a la Convención y de cara al Protocolo de Kioto .....	33
1.4.2. Definiciones de interés en los inventarios del Protocolo de Kioto .....	36
CAPÍTULO 2	
2. INVENTARIOS DE GEI DEL SECTOR UTCUTS DE LA CAPV EN EL AÑO 1990 Y 2008 .....	40
2.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LOS INVENTARIOS DE GEI EN LA CAPV DE CARA A LA CONVENCIÓN .....	41
2.1.1. Directrices del IPCC del año 2006 .....	41
2.1.2. Niveles de procedimiento de cálculo (“tier”) .....	42
2.1.3. Superficie correspondiente a cada categoría de uso de la tierra.....	43
2.1.4. Zonas climáticas y tipos de suelo en la CAPV .....	44
2.1.5. Determinación de las existencias de carbono por categorías de uso de tierra .....	45
2.1.6. Emisiones de GEI distintos al CO <sub>2</sub> en el sector UTCUTS .....	47
2.1.6.1. Emisiones de CH <sub>4</sub> en humedales .....	47
2.1.6.2. Emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O por incendios de tierras forestales y de pastos.....	47
2.1.6.3. Emisiones de N <sub>2</sub> O por conversión de tierras en tierras de cultivo .....	48
2.1.7. Emisiones de GEI no contabilizadas en el sector UTCUTS .....	48
2.2. INVENTARIOS DE GEI DEL SECTOR UTCUTS DE LA CAPV EN LOS AÑOS 1990 Y 2008 .....	49

## CAPÍTULO 3

3. CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA DE TIERRAS FORESTALES DE LA CAPV.....	62
3.1. METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO DE LA BIOMASA FORESTAL.....	63
3.1.1. Primera asunción: tasas de crecimiento esperadas y turnos de corta .....	63
3.1.2. Segunda asunción: distribución de especies forestales .....	66
3.1.3. Tercera asunción: curva de crecimiento y sostenibilidad en el tiempo .....	66
3.2. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO ESPERADA PARA LA BIOMASA FORESTAL.....	68
3.3. DIFERENCIA ENTRE EL CARBONO FIJADO Y LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN ESPERADA DE LA BIOMASA FORESTAL DE LA CAPV .....	71

## CAPÍTULO 4

4. CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DE LOS SUELOS DE LA CAPV .....	74
4.1. POTENCIAL DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS FORESTALES DE LA VERTIENTE ATLÁNTICA DE LA CAPV: MODELOS DE DINÁMICA... ..	76
4.1.1. Fundamentos de los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo ..	77
4.1.2. Metodología: capacidad predeterminada de almacenar carbono, potencial de secuestro de carbono y existencias de carbono presentes.....	78
4.1.2.1. Capacidad predeterminada y potencial de secuestro.....	78
4.1.2.2. Existencias de carbono presentes.....	79
4.1.3. Resultados: capacidad predeterminada de almacenar carbono, potencial de secuestro de carbono y existencias de carbono presentes.....	80
4.1.3.1. Capacidad predeterminada de almacenar carbono en suelos forestales de la vertiente atlántica y potencial de secuestro .....	80
4.1.3.2. Existencias de carbono presentes en relación a la capacidad predeterminada de almacenar carbono y al potencial de secuestro de carbono.....	82
4.2. APROXIMACIÓN A LA FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DE LA CAPV: ANÁLISIS DE SUELOS .....	85
4.2.1. Introducción y objetivos.....	85
4.2.2. Existencias de carbono de los suelos forestales y no-forestales de la CAPV .....	85
4.2.3. Fijación de carbono esperada de los suelos forestales y no-forestales de la CAPV derivada de prácticas de gestión adecuadas.....	90
4.3. DIFERENCIA ENTRE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN SUELOS DE LA CAPV Y LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN ESPERADA.....	93

## CAPÍTULO 5

5. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ECOSISTEMAS TERRESTRES DE LA CAPV.....	96
---	----

5.1. INTRODUCCIÓN.....	96
5.2. MEDIDAS EN TIERRAS FORESTALES, DE PASTO Y DE CULTIVO .....	98
 BIBLIOGRAFÍA.....	 103
 ACRÓNIMOS Y UNIDADES DE MEDIDA DE MASA .....	 116
 ANEXOS	
 ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS INVENTARIOS DE GEI 1990 Y 2008 DE LA CAPV .....	 121
1. SUPERFICIE CORRESPONDIENTE A CADA CATEGORÍA DE USO DE LA TIERRA .....	124
1.1. Metodología para obtención de superficies por categorías de uso principales del IPCC .....	124
1.1.1. Procedimiento para clasificación de los usos del suelo por teledetección .....	126
1.1.1.1. Clasificación de escenas Landsat .....	127
1.1.1.2. Comparación de las imágenes satelitales clasificadas de 1990 y 2008: superficies de permanencia y cambio .....	129
1.2. Resultado de superficies que permanecen y cambian de uso en 1990 y 2008.....	131
2. SUBDIVISIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE USO DE LA TIERRA .....	136
3. MÉTODOS GENERALES DEL IPCC PARA ESTIMACIÓN DEL CAMBIO ANUAL DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO .....	137
4. DETERMINACIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO POR CATEGORÍAS DE USO DE TIERRA .....	139
4.1. Tierras forestales .....	139
4.1.1. Tierras forestales que permanecen como tales.....	139
4.1.1.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	139
4.1.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	143
4.1.1.3. Carbono orgánico en suelo .....	144
4.1.2. Tierras convertidas en tierras forestales.....	144
4.1.2.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	145
4.1.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	146
4.1.2.3. Carbono orgánico en suelo .....	147
4.2. Tierras de cultivo .....	150
4.2.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales .....	150
4.2.1.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	150
4.2.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	150
4.2.1.3. Carbono orgánico en suelo .....	150
4.2.2. Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo.....	152
4.2.2.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	152
4.2.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	153
4.2.2.3. Carbono orgánico en suelo .....	153

4.3. Pastos.....	154
4.3.1. Pastos que permanecen como tales .....	154
4.3.1.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	154
4.3.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	154
4.3.1.3. Carbono orgánico en suelo .....	154
4.3.2. Tierras convertidas en pastos.....	156
4.3.2.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	156
4.3.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	156
4.3.2.3. Carbono orgánico en suelo .....	157
4.4. Humedales .....	158
4.4.1. Humedales que permanecen como tales .....	158
4.4.2. Tierras convertidas en humedales.....	158
4.4.2.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	158
4.4.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	158
4.4.2.3. Carbono orgánico en suelo .....	159
4.5. Asentamientos .....	160
4.5.1. Asentamientos que permanecen como tales.....	160
4.5.1.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	160
4.5.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	160
4.5.1.3. Carbono orgánico en suelo .....	160
4.5.2. Tierras convertidas en asentamientos.....	160
4.5.2.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	161
4.5.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	161
4.5.2.3. Carbono orgánico en suelo .....	161
4.6. Otras tierras.....	162
4.6.1. Otras tierras que permanecen como tales.....	162
4.6.2. Tierras convertidas en otras tierras .....	162
4.6.2.1. Biomasa: aérea y subterránea .....	162
4.6.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca .....	162
4.6.2.3. Carbono orgánico en suelo .....	163
5. EMISIONES DE GEI DISTINTOS AL CO <sub>2</sub> EN EL SECTOR UTCUTS.....	164
5.1. Emisiones de CH <sub>4</sub> en humedales .....	164
5.2. Emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O por incendios de tierras forestales y de pastos .....	165
5.3. Emisiones de N <sub>2</sub> O por conversión de tierras en tierras de cultivo .....	167
6. EMISIONES DE GEI NO CONTABILIZADAS EN EL SECTOR UTCUTS .....	168
ANEXO II. COMPARACIÓN DE DOS METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL CARBONO FIJADO POR LA BIOMASA FORESTAL.....	169
1. MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS PARA ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LA BIOMASA FORESTAL .....	170
2. RESULTADOS: INVENTARIOS DE GEI DEL SECTOR UTCUTS APLICANDO EL MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS EN LA BIOMASA FORESTAL .....	174

ANEXO III. CONVERSIÓN DE TASAS DE CRECIMIENTO FUSTAL EN ABSORCIÓN DE CARBONO.....	179
ANEXO IV. CARBONO ORGÁNICO EN SUELO.....	181
1. POTENCIAL DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS FORESTALES DE LA CAPV: MODELOS DE DINÁMICA.....	182
1.1. Fundamentos de los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo .....	182
1.2. Metodología para determinación de la capacidad predeterminada de almacenar carbono en suelos forestales y del potencial de secuestro de carbono .....	185
1.3. Metodología para determinación de las existencias de carbono de los suelos forestales de la vertiente atlántica de la CAPV .....	187
2. APROXIMACIÓN A LA FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DE LA CAPV: ANÁLISIS DE SUELOS .....	189
2.1. Existencias de carbono de los suelos forestales y no-forestales de la CAPV .....	189
2.1.1. Fuentes de información, ámbito geográfico y usos del suelo .....	189
2.1.2. Fechas de muestreo.....	190
2.1.3. Método de determinación de materia orgánica .....	190
2.1.4. Densidad aparente: transformación del porcentaje de carbono en cantidad por unidad de superficie.....	191
2.1.5. Distribución del carbono en profundidad del perfil de suelo hasta 30 cm de profundidad .....	191
2.1.6. Interpolación espacial del carbono del suelo.....	192
ANEXO V. MEDIDAS CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TIERRAS FORESTALES, DE PASTO Y DE CULTIVO .....	195
1. MEDIDAS EN TIERRAS FORESTALES.....	196
2. MEDIDAS EN TIERRAS DE PASTO .....	201
3. MEDIDAS EN TIERRAS DE CULTIVO.....	205
4. MEDIDAS APLICABLES EN OTROS TIPOS DE USO DE LA TIERRA.....	212



## Resumen

La vegetación actúa como sumidero de CO<sub>2</sub>, al extraer este gas de la atmósfera mediante la fotosíntesis y acumular en sus tejidos el carbono fijado. Parte del carbono presente en la biomasa vegetal se libera a la atmósfera en los procesos de respiración (durante el ciclo de vida de la planta) y de descomposición (una vez los tejidos vegetales han llegado al final de su ciclo), mientras que el resto del carbono se acumula en la madera (sumidero temporal) y en la materia orgánica del suelo (sumidero relativamente permanente). En ecosistemas terrestres naturales este proceso de acumulación de carbono alcanza, con el tiempo, un valor de stock de carbono orgánico estable o en equilibrio que depende de, entre otros factores, la especie vegetal, el clima, la topografía, la litología, y el tipo de suelo. Las perturbaciones que se producen, como laboreo, talas masivas, incendios, erosión, etc., afectan a la dinámica del carbono de los ecosistemas terrestres que, a menudo, han pasado a actuar como fuente de carbono (IHOBE y NEIKER-Tecnalia, 2005).

Mediante los inventarios de GEI (Gases de Efecto Invernadero) elaborados para los años 1990 y 2008 siguiendo las directrices del IPCC, se observó que, en la CAPV (Comunidad Autónoma del País Vasco), había dos depósitos o reservorios importantes dada su capacidad de emitir/fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico: la biomasa forestal y los suelos (Capítulo 2). En cualquier caso, las posibilidades de acumular carbono en biomasa forestal y suelo son finitas.

A pesar de que la incertidumbre de los inventarios de GEI de la CAPV asociada al carbono fijado en biomasa forestal era elevada, se estimó que se podía llegar a fijar un 52% más de carbono respecto al actualmente fijado en la CAPV mediante una ordenación y gestión de las tierras forestales que favorezca la acumulación de carbono en la biomasa forestal, sin incluir la forestación de nuevas superficies y sin tener en cuenta la obtención de productos recolectados de la madera de ciclo de vida largo (Capítulo 3). Así mismo, por medio de prácticas adecuadas de gestión forestal, pascícola y agrícola, no sólo se evitaría la pérdida de carbono orgánico del suelo sino que, además, se podría favorecer e incrementar la acumulación de carbono orgánico en los suelos, estimándose para la CAPV este incremento en un 70 (más para pino radiata y eucalipto), 40 y 50% en las tierras forestales, de prados/praderas y de cultivos herbáceos y leñosos, respectivamente (Capítulo 4).

Aunque el potencial de fijación de CO<sub>2</sub> en biomasa forestal y suelo es finito y, por sí mismo, no solucionará el problema del cambio climático, las medidas para llegar a este potencial o acercarse más a él son necesarias para ganar tiempo en la carrera de reducción de emisiones de GEI a la atmósfera, mientras se desarrollan, por ejemplo, las energías renovables que deberán sustituir a los combustibles fósiles. Lal *et al.* (1998) estimaban que en un período de 50 años se alcanzarían los límites máximos de secuestro de carbono mediante técnicas de uso y gestión de tierras agrícolas, forestales, y pascícolas, si bien se esperaba que este lapso de tiempo permitiera realizar los reajustes necesarios en los sistemas de producción de energía para poder estabilizar los niveles de CO<sub>2</sub> liberados a la atmósfera.

Además, el establecimiento de estas medidas de mitigación para incrementar las existencias de carbono en biomasa forestal y suelo conlleva otros efectos beneficiosos desde el punto de vista ambiental, como son una gestión agrícola, pascícola, y forestal sostenibles, con la consiguiente mejora de la calidad de las aguas y los suelos y, en general, del medio natural, con lo cual también constituyen indirectamente medidas de adaptación al cambio climático.



**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema que afecta a todo el planeta y, dado su carácter global, requiere una estrategia política general de mitigación y adaptación, que implicará, a su vez, la respuesta y responsabilidad de cada individuo.

Dada su capacidad para secuestrar o fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico, los sumideros de carbono de la biosfera terrestre juegan un papel importante en el cambio climático. Por ello, el presente documento se ha elaborado con el objetivo de servir de orientación para implantar una estrategia política de mitigación y adaptación adecuada que potencie la capacidad de secuestro de carbono de los sumideros de la CAPV (Comunidad Autónoma del País Vasco).

Para ello, se plantea el documento de la siguiente forma:

- Este primer capítulo trata de contextualizar el tema central del cambio climático, tratando conceptos generales como su origen, los impactos a nivel mundial y de la CAPV y las respuestas políticas que ha conllevado.
- El segundo capítulo se centra en contabilizar las emisiones y fijaciones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en la CAPV debidos a los usos de la tierra con el fin de identificar los depósitos de carbono que, en nuestro caso particular, pueden representar aspectos clave a la hora de plantear estrategias políticas y medidas contra el cambio climático referentes a sumideros de carbono. En concreto, se identifican dos depósitos de carbono de suma importancia: la biomasa forestal y los suelos.
- En el tercer capítulo se profundiza sobre la capacidad que presenta la biomasa forestal de la CAPV como sumidero de carbono.
- En el cuarto capítulo, así mismo, se profundiza sobre el potencial de los suelos de la CAPV como sumideros de carbono.
- En el quinto capítulo, finalmente, se proponen medidas concretas relacionadas con la potenciación del carácter de sumidero de la biomasa forestal y de los suelos de la CAPV.

## 1.1. OBJETIVOS

El presente documento persigue tres objetivos fundamentalmente:

- Identificar las categorías y reservorios o depósitos principales por su capacidad potencial de secuestrar carbono en el ámbito geográfico de la CAPV, partiendo de los inventarios de GEI de 1990 y de 2008.
- Cuantificar la capacidad para fijar o secuestrar carbono de las categorías y reservorios principales de la CAPV: la biomasa forestal y los suelos.
- Orientar sobre las medidas de mitigación/adaptación al cambio climático más adecuadas que deberían desarrollarse en el ámbito de los usos del suelo de la CAPV de cara a aprovechar la capacidad de los sumideros de carbono.

## 1.2. EL CICLO DEL CARBONO EN RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

El término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana (IPCC, 2007a).

Las condiciones climáticas de nuestro planeta han experimentado cambios muy importantes a lo largo del tiempo, con una alternancia natural de períodos de larga duración de condiciones cálidas y períodos más cortos de intenso frío. Sin embargo, existen indicios claros que apuntan a una alteración de esta alternancia como resultado de las actividades humanas, debido al incremento de las emisiones a la atmósfera de una gran parte del carbono que se había almacenado en la Tierra en forma sólida a lo largo de su historia. Así, para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), el cambio climático es un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables (IPCC, 2007a).

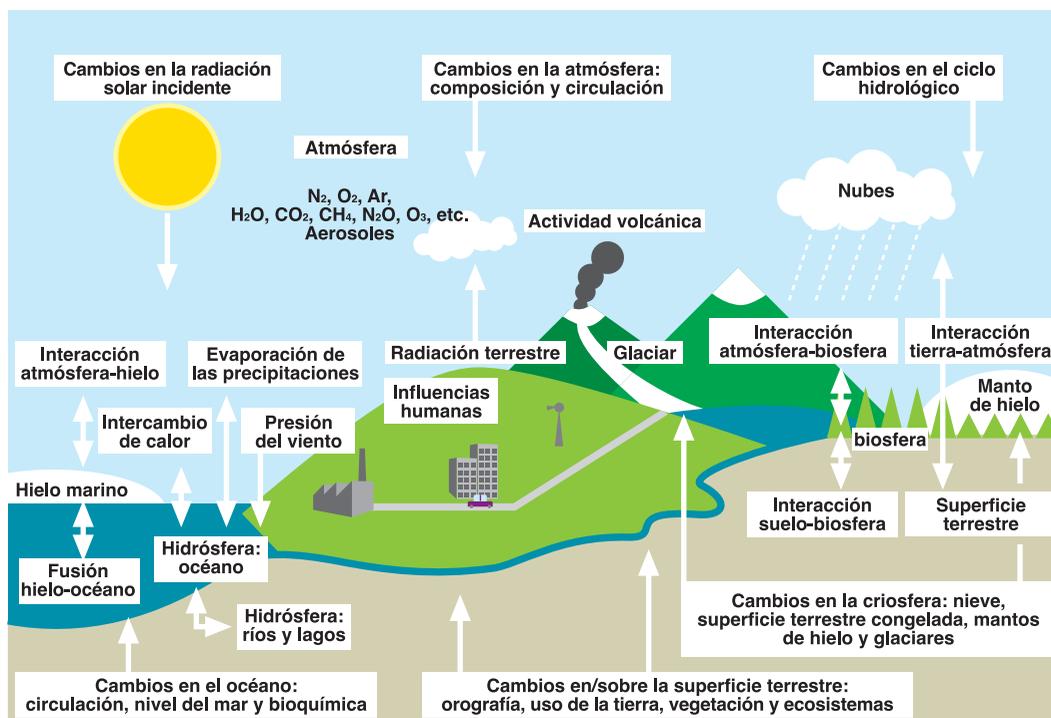


Figura 1. Vista esquemática de los componentes del sistema climático, sus procesos e interacciones (IPCC, 2007b).

Los cambios climáticos guardan estrecha relación con el ciclo del carbono (Figura 1) que es el término utilizado para describir el flujo del carbono (en diversas formas, p.e., como  $\text{CO}_2$ ) entre la atmósfera, los océanos, la biosfera terrestre y la litosfera (IPCC, 2007b). El carbono es parte primordial de la Tierra y del sistema estructural de la vida en la Tierra. Su presencia en la atmósfera en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ) es determinante para conservar unas condiciones de vida habitables. También, es el elemento dominante de las fuentes energéticas que utilizamos las personas, ya que es la base del carbón, el petróleo y el gas natural, que son hidrocarburos derivados de vegetales que absorbieron  $\text{CO}_2$  atmosférico hace cientos de millones de años (Michalak *et al.*, 2011).

### 1.2.1. El ciclo del carbono

El ciclo de carbono es un ciclo biogeoquímico por el que se intercambia carbono entre la atmósfera, la hidrosfera (incluyendo, océanos, organismos marítimos, materia no viva y el carbono inorgánico disuelto), la biosfera terrestre (incluyendo agua dulce, carbono del suelo y de la biomasa) y la litosfera (incluyendo sedimentos y combustibles fósiles). Los movimientos de carbono entre estos 4 reservorios o depósitos ocurren debido a procesos químicos, biológicos, físicos y geológicos. Dentro de ese único ciclo de carbono, se pueden dividir dos ciclos que interactúan: uno geológico o lento y, otro, biológico, mucho más rápido. En el ciclo biológico, los flujos entre la biosfera terrestre, los océanos y la atmósfera (la litosfera quedaría incluida en el ciclo geológico), ocurren mediante procesos de fotosíntesis y respiración, es decir, mediante las ecuaciones que se pueden resumir así:



Las componentes del ciclo del carbono se encuentran balanceadas, de manera que el incremento de carbono en uno de los depósitos implica la disminución en otro. Por ejemplo, los combustibles fósiles son el resultado de períodos en los que la fotosíntesis excedía la respiración y, lentamente, la materia orgánica fue formando depósitos de sedimentos que, en ausencia de oxígeno, se fueron transformando en combustibles fósiles. Así el carbono de la atmósfera pasó al depósito de la biosfera terrestre.

En la Figura 2 se puede ver una versión simplificada del ciclo del carbono.

La actividad humana emite aproximadamente  $9.1 \text{ Pg C año}^{-1}$  ( $7.6 \text{ Pg C año}^{-1}$  por la utilización de combustibles fósiles y  $1.5 \text{ Pg C año}^{-1}$  por cambios de uso de la tierra). De esta contribución humana, cerca de  $4.1 \text{ Pg}$  permanecen en la atmósfera,  $2.8 \text{ Pg}$  son introducidas en procesos naturales del

medio terrestre y los otros 2.2 Pg son fijados en los océanos. A pesar de que los sumideros naturales están absorbiendo aproximadamente la mitad del CO<sub>2</sub> producido por los humanos en los últimos 15 años, los 4.1 Pg de C año<sup>-1</sup> emitidos por la actividad antrópica a la atmósfera están causando un incremento de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> (Canadell *et al.*, 2007).

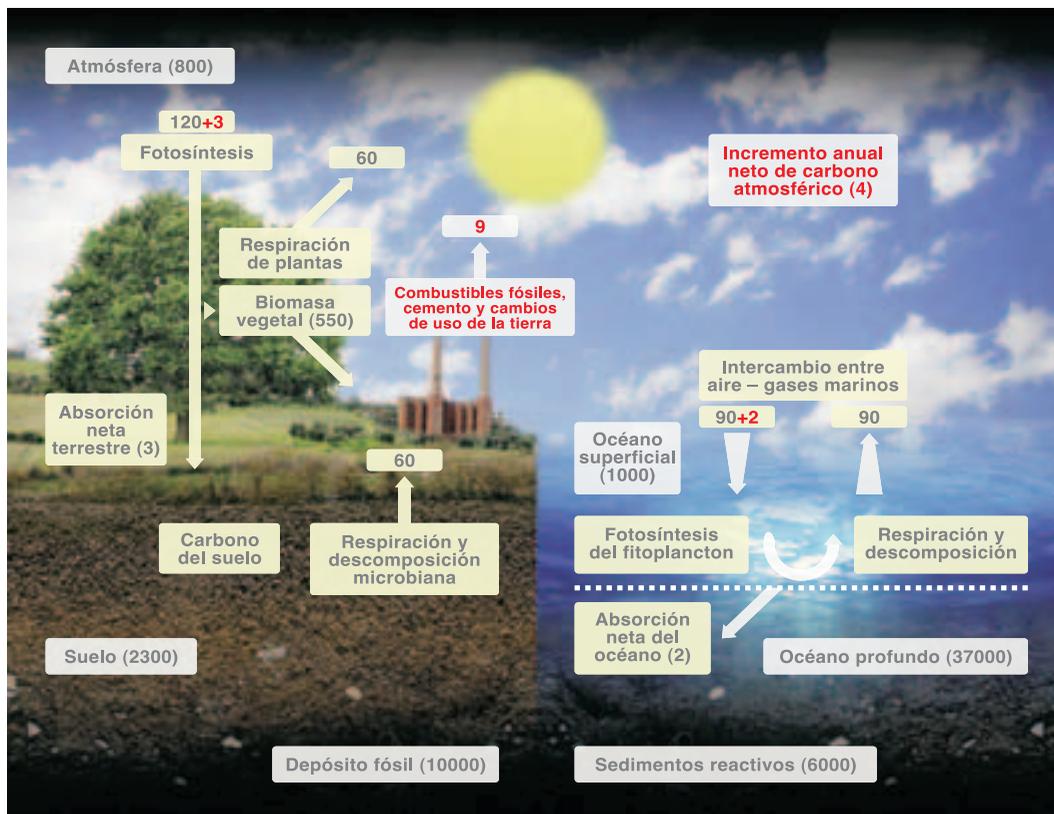


Figura 2. Esquema parcial del ciclo de carbono, con flujos entre la biosfera terrestre y la atmósfera y entre los océanos y la atmósfera (Fuente: USDOE, 2008). Los números indican flujos de carbono (Pg año<sup>-1</sup>): en amarillo, flujos naturales; en rojo, flujos debidos a la intervención humana. En blanco, el carbono almacenado (Pg). NOTA: 1 Pg = 10<sup>6</sup> Gg = 10<sup>9</sup> Mg = 10<sup>15</sup> g; Además: 1 t = 1 Mg.

### 1.2.2. El cambio climático

El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (y otros gases de efecto invernadero) es la razón principal para la preocupación actual sobre el cambio climático, ya que la concentración de 379 ppm de CO<sub>2</sub> resulta muy inusual para el Cuaternario (los dos últimos millones de años aproximadamente). De hecho, desde hace 650000 años, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha variado de un mínimo de 180 ppm durante los periodos glaciares fríos hasta un máximo de 300 ppm durante las épocas interglaciares cálidas; pero nunca había llegado a 379 ppm de CO<sub>2</sub> y, menos aún, en un período tan corto de tiempo (IPCC, 2007b).

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales o antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro

de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero (IPCC, 2007a).

Los dos gases más abundantes en la atmósfera, el nitrógeno y el oxígeno, apenas ejercen efecto invernadero. El vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el metano ( $CH_4$ ) y el ozono ( $O_3$ ) son los GEI primarios de la atmósfera terrestre, aunque también existen otros gases presentes en la atmósfera en pequeñas cantidades que contribuyen al efecto invernadero. El vapor de agua ( $H_2O$ ) es el GEI más importante y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) es el segundo en importancia.

La atmósfera contiene cierto número de GEI enteramente antropogénicos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, que son contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del  $CO_2$ , del  $N_2O$  y del  $CH_4$ , el Protocolo de Kioto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Hay que tener presente que, cuando queremos restringirnos al efecto invernadero causado por la actividad humana directa y nos limitamos a los GEI directamente emitidos por la actividad antrópica, es el  $CO_2$  el GEI más importante. De hecho, a pesar de que el vapor de agua es el GEI más abundante e importante en la atmósfera, en el Protocolo de Kioto (PK) no se contempla, puesto que la emisión directa de vapor de agua por efecto de la actividad humana afecta poco a la cantidad de vapor presente en la atmósfera. El  $O_3$  troposférico tampoco se contempla debido, sobre todo, a que no se emite directamente, sino que es producido, en presencia de luz, por las reacciones químicas de especies precursoras en la atmósfera (como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles).

El incremento de la concentración de GEI en la atmósfera derivada de actividades humanas se ha debido básicamente a la quema de combustibles fósiles y a la eliminación de bosques, que han intensificado grandemente el efecto invernadero natural, dando lugar al calentamiento mundial (IPCC, 2007a).

## 1.3. EVIDENCIAS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### 1.3.1. Evidencias del cambio climático según el IPCC

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es una agencia especializada de Naciones Unidas, con sede en Ginebra, que fue establecida conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente con la finalidad de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas.

Desde su establecimiento, el IPCC ha producido una serie de informes de evaluación (1990, 1995, 2001 y 2007), Informes Especiales, Documentos Técnicos y Guías Metodológicas que son ya obras de referencia de uso común, ampliamente utilizadas por responsables políticos, científicos, y otros expertos y estudiosos. Estos informes son, en gran medida, fruto de la respuesta a las necesidades de asesoramiento fidedigno de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), constituida en 1992, y de su Protocolo de Kioto de 1997.

Las conclusiones que se venían presentando en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC, se confirmaron en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2007a):

- El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar.
- Con un grado de confianza medio (confianza del 50%), están empezando a manifestarse otros efectos del cambio climático regional sobre el medio ambiente natural y humano, aunque muchos de ellos son difíciles de identificar. Por ejemplo, alteraciones de los regímenes de perturbación de los bosques por efecto de incendios y plagas.

Aunque las previsiones varían de un escenario a otro, el Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones proyecta:

- Un aumento de las emisiones mundiales de GEI de entre 25% y 90% de CO<sub>2</sub>-equivalentes entre los años 2000 y 2030, suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta 2030 como mínimo. A fin de estabilizar la concentración de GEI en la atmósfera, las emisiones tendrían que alcanzar su nivel máximo y disminuir posteriormente. Cuanto más bajo sea el nivel de estabilización, más rápidamente se alcanzaría ese máximo y la subsiguiente disminución.

- El calentamiento antropógeno y el aumento de nivel del mar proseguirían durante siglos aunque las emisiones de GEI se redujesen lo suficiente para estabilizar las concentraciones de GEI.
- Es probable (probabilidad > 66%) que algunos sistemas, sectores y regiones resulten especialmente afectados por el cambio climático. Estos sistemas y sectores son: ciertos ecosistemas (tundras, bosques boreales, montañas, ecosistemas de tipo mediterráneo, manglares, marismas, arrecifes de coral, y el bioma de los hielos marinos); las costas bajas; los recursos hídricos en algunas regiones secas de latitudes medias, en los trópicos y subtropicos secos y en las áreas que dependen de la nieve y el hielo fundidos; la agricultura en regiones de latitud baja; y la salud humana en áreas de escasa capacidad adaptativa. Las regiones especialmente afectadas son: el Ártico, África, las islas pequeñas, y los grandes deltas de Asia y África.

En cuanto a la mitigación y adaptación, el Cuarto informe del IPCC indica que:

- Hay un alto grado de confianza (confianza del 80%) en que ni la adaptación ni la mitigación por sí solas pueden evitar todos los impactos del cambio climático.
- Los gobiernos disponen de una gran diversidad de políticas e instrumentos para crear incentivos que primen las medidas de mitigación. Su aplicabilidad dependerá de las circunstancias nacionales y del contexto sectorial. En particular, habría que integrar las políticas climáticas en políticas de desarrollo, reglamentaciones y normas, impuestos y gravámenes, permisos comerciales, incentivos financieros, acuerdos voluntarios, instrumentos de información, y actividades de investigación, desarrollo y demostración de carácter más general (I+D+D).
- Se dispone de una gran diversidad de opciones de adaptación, pero será necesaria una adaptación aún mayor que la actual para reducir la vulnerabilidad al cambio climático. La capacidad de adaptación es dinámica, y depende en parte de la base productiva social, en particular de: los bienes de capital naturales y artificiales, las redes y prestaciones sociales, el capital humano y las instituciones, la gobernanza, los ingresos a nivel nacional, la salud y la tecnología. Estudios recientes reafirman que la adaptación será esencial y beneficiosa. Sin embargo, limitaciones de orden financiero, tecnológico, cognitivo, comportamental, político, social, institucional y cultural limitan tanto la aplicabilidad como la efectividad de las medidas de adaptación.

En todo caso, se sabe que es más rentable realizar acciones tempranas de mitigación y adaptación que afrontar en el futuro los impactos económicos derivados del cambio climático. Según el Informe Stern (“Stern Review: the economics of climate change”), el coste de permanecer inactivos ante el cambio climático equivaldría a la pérdida anual de entre el 5-20% del PIB global, mientras que podría ser del 1% anual del PIB global si se adoptaran medidas firmes e inmediatas contra el cambio climático para estabilizar la concentración de la atmósfera en 500-550 ppm de CO<sub>2</sub>-equivalente.

### 1.3.2. Efectos del cambio climático previstos en la CAPV

Una vez conocidas las causas del cambio climático y sus efectos globales, el siguiente paso para enfrentarse al cambio climático en la CAPV, consiste en estimar de forma más precisa sus impactos, de cara a plantear alternativas de actuación para controlarlos o compensarlos.

Los efectos o impactos del cambio climático sobre sistemas naturales, sociales y económicos de la CAPV se describen en varias fuentes de información, entre las cuales destacamos las siguientes: el PVLCC-Plan Vasco de Lucha Contra el Cambio Climático (Gobierno Vasco, 2008), el proyecto K-Egokitzen<sup>1</sup> y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET):

#### a) Impactos generales en el clima.

- Incremento de las temperaturas máximas, incremento de la duración de las olas de calor e incremento en el número de días cálidos.
- Incremento de las temperaturas mínimas, disminución del número de días de heladas e incremento del número de noches cálidas.
- Reducción global de las precipitaciones, aunque con una distribución irregular en invierno y verano en comparación con las actuales precipitaciones (más precipitaciones en invierno y menos en verano).
- En general, mayor frecuencia de situaciones anticiclónicas, con predominio de altas temperaturas, escasa cobertura nubosa y poco viento.

#### b) Salud humana

- Incremento de la tasa de enfermos y muertos (morbi-mortalidad), debido a las olas de calor más largas e intensas y al aumento de las temperaturas máximas (4-5 °C) y mínimas (3-4 °C) en las capitales de provincias a lo largo del s. XXI (islas de calor o acumulación de calor en las ciudades durante las olas de calor por la dificultad de disipar ese calor).
- Aumento, sobre todo en la zona sur, de episodios agudos respiratorios, especialmente de las alergias, debido a la ampliación del período polínico y de días secos y calurosos.
- Problemas derivados del empeoramiento general de la calidad del aire.

---

<sup>1</sup> <http://www.neiker.net/k-egokitzen/inicio.html>

**c) Comunidades animales y vegetales, medio natural**

- Cambios poblacionales en el número de individuos dentro de cada especie.
- Adelantamiento o retraso de las épocas de migración o reproducción.
- Ampliación de los límites biogeográficos de las especies.
- Migración de las especies continentales (hacia mayor latitud y altitud) y marinas (hacia mayor latitud -hacia el norte- y profundidad).
- Modificación de la productividad, por ejemplo, incremento de biomasa de determinadas algas por mayor temperatura u oleaje.
- Modificaciones en las especies invasoras y parasitarias.
- Aumento de la vulnerabilidad ante episodios adversos, especialmente en especies endémicas y en especies con dificultad para migrar (reptiles) y asociadas a ambientes húmedos (anfibios, insectos acuáticos).
- Reducción de la fertilidad de bosques y matorrales por pérdida de carbono del suelo.
- Afección de humedales, especialmente en ambientes costeros (Urdaibai, Txingudi).

**d) Sector silvícola**

- Alteración del período productivo de especies arbóreas: determinadas especies pueden dejar de ser rentables económicamente, sobre todo las de crecimiento rápido. Las especies de hoja caduca se verán beneficiadas frente a las de hoja perenne.
- Incremento significativo del volumen anual de madera dañada por perturbaciones naturales, debido al aumento de episodios extremos (tormentas, vendavales, ciclogénesis explosivas, etc.). Mayor vulnerabilidad a eventos meteorológicos extremos e incendios.
- Alteración del equilibrio entre las plagas de insectos, sus enemigos naturales y sus hospedadores, así como cambios en determinados parámetros de la sanidad forestal.
- Cambios en la distribución de las formaciones forestales arbóreas y supraarbóreas, modificaciones estructurales y funcionales, modificación en el flujo de bienes y servicios ambientales que proporcionan los bosques.
- Pérdida a largo plazo de las reservas de carbono del suelo, debido a una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo. Pero la disminución de precipitaciones podría causar el efecto contrario.

**e) Sector agrícola**

- Mayor demanda hídrica y mayor dificultad para superar episodios de sequía estival: según el PVLCC, se estima que habrá un incremento de la demanda de agua de entre el 6.0 y 18.7%. Además, con precipitaciones menores y más variables y caudales inferiores,

también es de esperar un empeoramiento de la calidad del agua. Si la demanda de agua por parte de la actividad agraria incrementa, deberá competir con el resto de sectores.

- Variación de la productividad de los cultivos: se considera que el cultivo de remolacha se verá beneficiado y que, en cambio los cereales se verán perjudicados.
- Aumento de la salinización del suelo, por mayores tasas de evapotranspiración.
- Colonización de los cultivos por plagas de distribución mediterránea e incremento del número de generaciones de los insectos.
- Menor calidad de los vinos, por el aumento de la temperatura: mayor grado alcohólico con elevado pH y menos acidez total (mayor degradación del ácido tartárico).
- Introducción de nuevos cultivos.
- Modificación de las épocas de siembra y cosecha y de la duración de las cosechas.
- Anegación de zonas de cultivo, especialmente las que están cerca de la costa.
- Pérdida general de fertilidad de los suelos: por cada °C de incremento de temperatura, se perderá en torno al 6-7% del carbono orgánico de los suelos y, consecuentemente, de fertilidad de los mismos y de disponibilidad de nutrientes.

En el PVLCC se consideran factores clave las prácticas agrícolas y las variedades de cultivo utilizadas.

#### **f) Sector ganadero y pesquero**

- Alteración de la productividad del ganado.
- Mayor susceptibilidad a enfermedades parasitarias del ganado.
- Descenso de la capacidad de carga de los pastos de montaña, ofreciendo menor cantidad de hierba pero de mejor aprovechamiento por parte del ganado ovino. El ganado vacuno será el más perjudicado en estas condiciones.
- Calentamiento del mar: 1.5-2.05 °C en los primeros 100 m de profundidad (bajo escenario A1B).
- Aumento del nivel medio del mar: 29-49 cm (bajo escenario A1B).
- Incremento de la radiación solar de 35-40 W/m<sup>2</sup> día. Mayor penetrabilidad de la radiación solar ante la disminución de las precipitaciones, contaminación y aguas oligotrofas.
- Incremento de la temperatura de agua estival (2.1-3 °C) en estuarios. Aumento de la extensión y frecuencia de los periodos de hipoxia/anoxia en estuarios. Mayor producción fitoplanctónica causando episodios más frecuentes de eutrofización de las aguas.
- Modificación del reclutamiento en especies marinas, pudiendo afectar negativamente a la anchoa, el pulpo y el verdel.

En el PVLCC se consideran factores clave las prácticas ganaderas y pesqueras y la idoneidad de las instalaciones.

**g) Infraestructuras y energía**

- Riesgo en la integridad de las infraestructuras debido a daños causados por fenómenos meteorológicos.
- Incremento de la demanda de energía.

**h) Turismo**

- Cambio de la demanda turística.
- Intensificación del turismo interestacional.
- Cambios en el espacio geográfico-turístico, condicionado por las afecciones que podrían sufrir los asentamientos e infraestructuras costeras, sobre todo en 35 playas de la CAPV.

En el PVLCC, finalmente se establecían sistemas o zonas prioritarias de actuación según los impactos del cambio climático previstos para el año 2050. De acuerdo a las valoraciones de expertos, se consideraron 3 aspectos prioritarios relacionados con el sector agrario:

- Mayor demanda de agua para mantener los rendimientos de los cultivos.
- Pérdida de la materia orgánica del suelo por incremento de la actividad microbiana.
- En los ecosistemas marinos, la aparición de especies tropicales y subtropicales.

## 1.4. ACUERDOS INTERNACIONALES, ESTATALES Y DE LA CAPV RELATIVOS A LOS SUMIDEROS

El secuestro de carbono es la incorporación o adición de sustancias que contienen carbono, y en particular CO<sub>2</sub>, a un reservorio o un depósito. Para la UNFCCC un sumidero es todo proceso, actividad o mecanismo que detrae o absorbe de la atmósfera un GEI, un aerosol o alguno de sus precursores (IPCC, 2007a).

Teniendo en cuenta los ecosistemas vegetales, el ciclo biológico del carbono sería el siguiente:

- A través de la fotosíntesis de las plantas, se produce la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico, que se convierte en parte de la planta en forma de carbono orgánico. Cuando las hojas, ramas, etc. caen al suelo, el carbono orgánico de la planta se va incorporando al carbono orgánico del suelo.
- Simultáneamente, se producen también emisiones de GEI a la atmósfera: el carbono acumulado en el suelo se va emitiendo a la atmósfera por la actividad de microorganismos descomponedores (mineralización de la materia orgánica), la propia vegetación respira y emite CO<sub>2</sub> para mantener y formar nuevos tejidos y, por supuesto, se retira la vegetación (recogida de cosecha, extracción de madera, quema e incendios, etc.).

Si la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida por la actividad de la vegetación y los microorganismos del suelo es mayor que las emisiones que ocurren simultáneamente, entonces, ese ecosistema vegetal será un sumidero; de lo contrario, constituirá una fuente de emisión. Pero ese flujo de carbono del ciclo biológico no se detiene, de manera que una cuestión clave en cuanto a los sumideros es el tiempo de permanencia del carbono almacenado. Por ejemplo, las cantidades de CO<sub>2</sub> absorbidas por un sumidero como un bosque pueden volver a la atmósfera si ese bosque desaparece por cualquier circunstancia (plagas, enfermedades, extracción de madera, vendavales, incendios, etc.).

La UNFCCC y el PK (Protocolo de Kioto) se fundamentan en la hipótesis de que las naciones del mundo pueden gestionar el ciclo de carbono global mediante la reducción de sus emisiones de carbono derivadas de la utilización de combustibles fósiles y mediante el incremento del secuestro en los sumideros. Aproximadamente 100 Pg de carbono podrían ser secuestrados en sumideros de la biosfera terrestre en el año 2050 mediante la gestión de los bosques y de los suelos agrícolas.

No obstante, esta cantidad de carbono que potencialmente puede ser secuestrado es pequeña en comparación con las emisiones de CO<sub>2</sub> previstas por las prácticas energéticas, etc. y, por tanto, la alternativa del secuestro de carbono en la biosfera terrestre se considera una alternativa o solución temporal, como una forma de ganar tiempo para desarrollar e implementar medidas más permanentes para poder reducir las emisiones de los combustibles fósiles (Watson *et al.*, 2000). La ges-

tión del carbono se convertiría en una alternativa más eficaz si, además de gestionar las emisiones derivadas de los combustibles fósiles, la sociedad se dirigiera hacia nuevos recursos de carbono (o a una utilización reducida de los sumideros) del medio terrestre y oceánico (Houghton, 2007).

En este sentido, aunque se detallan aspectos concretos de los inventarios de GEI, el objetivo de este documento no es realizar un inventario de GEI ni una contabilidad acorde al PK, sino aprovechar la metodología desarrollada por el IPCC para la elaboración de inventarios de GEI como una herramienta que ayude a buscar esas formas de que la sociedad gestione más adecuadamente los recursos de carbono, en particular, los sumideros de carbono.

Finalmente, recordemos que, además del acuerdo vinculante que supone el PK, en la UE se ha propuesto un paquete integrado de medidas sobre cambio climático y energía que prevé nuevos y ambiciosos objetivos para 2020 (Comunicación de la Comisión, de 13 de noviembre de 2008, denominada “Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%”). Estos objetivos implican:

- Reducir las emisiones de GEI en un 20% (30% si se alcanza un acuerdo internacional), en comparación con los niveles de 1990.
- Incrementar el porcentaje de las fuentes de energía renovables en nuestro consumo final de energía hasta un 20%.
- Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética, además, en cada país el 10% de las necesidades del transporte deberán cubrirse mediante biocombustibles.

#### **1.4.1. Inventarios de GEI de cara a la Convención y de cara al Protocolo de Kioto**

El Primer Informe de Evaluación del IPCC, realizado en 1990, tuvo un papel decisivo para el arranque del proceso internacional de negociación que condujo a la creación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) en el año 1992, y que entró en vigor en 1994. La UNFCCC estableció el objetivo de “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible” y los Estados Parte del Anexo I de la Convención (países industrializados que en 1992 eran miembros de la OCDE-Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- y países en proceso de transición a una economía de mercado) adquirieron, entre otros, el compromiso de elaborar periódicamente inventarios de GEI y comunicárselos a la Conferencia de las Partes (COP), que constituye el órgano supremo de la Convención (UNFCCC).

Estos inventarios de GEI para la COP son elaborados siguiendo las directrices establecidas por el IPCC y abarcan los GEI de origen antrópico no contemplados en el Protocolo de Montreal ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFC, PFC y  $\text{SF}_6$ ). Las emisiones y remociones de estos GEI son calculadas anualmente para los 6 sectores siguientes: energía, procesos industriales, utilización de disolventes y otros productos, residuos, agricultura y UTCUTS (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura ó LULUCF).

Gracias al esfuerzo de la Convención, se adoptó el Protocolo de Kioto (PK) en el tercer período de sesiones celebrado en Kioto (COP 3) y entró en vigor en el año 2005. El PK es un acuerdo legalmente vinculante que compromete a los países desarrollados y a los países en transición hacia una economía de mercado (Partes-Anexo I) a alcanzar objetivos cuantificados de reducción de emisiones.

Las Partes del Anexo I del PK se comprometieron a reducir sus emisiones antropógenas agregadas, de manera que las emisiones de GEI de las economías desarrolladas se redujeran, en global, en un 5% con respecto a sus niveles del año base durante el primer período de compromiso (2008-2012). Dicho objetivo se distribuyó entre Partes y uniones de Partes de manera diferenciada, resultando una reducción del 8% para la unión de Partes que constituyeron, por acuerdo conjunto, los 15 países que en aquel momento formaban la Comunidad Europea.

Dentro de la Comunidad Europea se volvió a distribuir el objetivo de reducción y a España se le permite incrementar las emisiones de GEI en un 15% respecto al año base. Por su parte, en el PVLCC (IHOBE, 2008), en la CAPV se fijó el objetivo en un incremento del 14% sobre las emisiones del año base, para el período de compromiso (Tabla 1).

**Tabla 1. Resumen de los objetivos adquiridos en relación al Protocolo de Kioto.**

---

<b>Objetivos, para el período de compromiso 2008-2012, respecto al año base</b>
Reducción global de las Partes del Anexo I del PK -> 5% (-)
Reducción conjunta de la CE, dentro del PK -> 8% (-)
Incremento del Estado Español (acuerdo dentro de la CE) -> 15% (+)
Incremento de la CAPV (Gobierno Vasco, 2008) -> 14% (+)

---

Siguiendo el PK, para determinar la cantidad de GEI que se le permite emitir a una Parte o unión de Partes (es decir, la “cantidad inicial asignada”) como suma del período de compromiso 2008-2012, se procedió de la siguiente forma: se estableció el año base o de referencia de la Parte, se contabilizaron las emisiones del año base y, después de ser revisadas por un grupo de expertos, se redujeron o incrementaron según el objetivo establecido para dicha Parte en el PK, finalmente, fueron multiplicadas por 5 (el número de años del primer período de compromiso). En el caso de España, el año base es la suma de las emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  de 1990 y de los HFC, PFC

y SF<sub>6</sub> de 1995 (en la CAPV también se emplea este mismo año base); las emisiones de dicho año base se estimaron en 289.8 Tg de equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-eq) y, por tanto, la cantidad inicial asignada para el período de compromiso 2008-2012 es de 1666 Tg CO<sub>2</sub>-eq.

Al final del primer período de compromiso, la Parte o unión de Partes debe justificar que sus emisiones durante los 5 años del período 2008-2012 son menores a la cantidad asignada disponible. Esa cantidad asignada disponible es lo que le queda a la Parte de su cantidad inicial asignada, ya que el PK contempla el intercambio de derechos o permisos de emisión, cuya adquisición o transferencia irá modificando la cantidad inicial asignada.

Dicha adquisición y transferencia de derechos, establecida por las bases y mecanismos de transacción del PK, se realiza mediante unidades denominadas “unidades de Protocolo de Kioto”, que no son más que los GEI traducidos a toneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-eq), a través de los potenciales de calentamiento atribuidos a cada GEI. Estas unidades de PK toman distintos nombres en función de su origen: por ejemplo, cuando una de estas unidades de PK se refiere a la fijación o absorción de 1 t CO<sub>2</sub>-eq procedente de actividades del sector UTCUTS reguladas por el Art. 3, párrafos 3 ó 4, pasa a denominarse UDA ó Unidad de Absorción (*RMU – Removal unit*).

Por tanto, el PK reconoce el papel de la biomasa y de los suelos como sumideros de carbono porque permite que los países que lo ratificaron utilicen la absorción de carbono de la atmósfera debida a los sumideros para compensar parte de sus emisiones. Pero, a efectos de contabilización del PK, no se considera sumidero cualquier proceso o actividad que absorba un GEI de la atmósfera, sino que se especifica que sólo se pueden considerar aquellas absorciones producidas en superficies terrestres en las que se realizan determinadas actividades inducidas por el ser humano directamente relacionadas con el cambio del uso del suelo, que hayan tenido lugar a partir de 1990, y que sean medibles y verificables. Así que, la definición de lo que es un sumidero contabilizable en el PK es mucho más estrecha que la de la UNFCCC.

Los sumideros de carbono son uno de los aspectos más debatidos del PK por las incertidumbres de permanencia de absorción y la escala. De manera que, debido a las incertidumbres y a las dificultades técnicas de estimar, en particular, las fijaciones o remociones de GEI en los sumideros, en el PK se separan las actividades a contabilizar en dos grupos:

- Sectores o actividades indicadas en el Anexo A: energía, procesos industriales, utilización de disolventes y otros productos, residuos y agricultura.
- Actividades del sector UTCUTS.

La contabilización de ambos grupos de actividades es distinta. Para actividades del sector UTCUTS, sólo se pueden contabilizar actividades contempladas en el Art. 3, párrafos 3 ó 4 del PK.

- Actividades del Art. 3.3: son actividades de cambio de uso de la tierra relacionadas con las tierras forestales, ya sean forestaciones, reforestaciones o deforestaciones. Su

contabilización y notificación es obligatoria para los países firmantes del PK. Se contabilizan como variaciones netas verificables del carbono almacenado durante el período de compromiso y deben ser posteriores a 1990.

- Actividades del Art. 3.4: son actividades antrópicas que implican un cambio en la gestión o manejo de tierras forestales, tierras de cultivo, pastos o revegetación. Su contabilización es opcional y depende de lo que cada país escogió contabilizar. Deben ser actividades que no se realizaban con anterioridad al año 1990 e inducidas por el ser humano.

#### **1.4.2. Definiciones de interés en los inventarios del Protocolo de Kioto**

Con posterioridad al PK, se han ido aprobando nuevos acuerdos en relación a los sumideros en las distintas reuniones de la COP. Así, en la COP celebrada en Marrakech (COP-7, Acuerdos de Marrakech, 2001) se definieron las normas de desarrollo del PK, entre las que destacan:

- Las definiciones aprobadas de bosque, forestación, reforestación y gestión de bosques con miras a su aplicación en el primer período de compromiso.
- Se propuso, para la gestión de bosques, una tabla con techos individualizados a la carta para cada Parte con compromiso de reducción. Dejando aparte las excepciones, los datos se basaron en las remisiones nacionales o en los datos de la FAO aplicándoles un 85% de descuento, y con un techo del 3% de las emisiones del año base. En el caso de España, el límite es de 670 Gg C año<sup>-1</sup>.
- Se decidió que todo cambio en el tratamiento de los productos madereros estará sujeto a las decisiones que adopte la COP.

A continuación se detallan las definiciones aprobadas referentes a las actividades UTCUTS incluidas en los Acuerdos de Marrakech:

##### **a) Tierra Forestal**

En los Acuerdos de Marrakech se define la “Tierra Forestal” o bosque como “superficie mínima de tierras de entre 0.05 y 1.0 ha con una cubierta de copas (o densidad de población equivalente) que excede del 10 al 30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de entre 2 y 5 m a su madurez *in situ*. Un bosque puede consistir en formaciones forestales densas, donde los árboles de diversas alturas y el sotobosque cubran 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 base a la definición establecida por la COP-7, España definió, a efectos de su contabilidad para el PK, las tierras forestales como aquéllas con:

- una Fracción de Cobertura Cubierta 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%,
- una superficie mínima de 1 ha, y
- Una altura mínima de los árboles en su madurez de 3 m.

#### **b) Forestación**

“Conversión, por actividad humana directa, de tierras que carecieron de bosque durante un período mínimo de 50 años en tierras forestales mediante plantación, siembra o fomento antropogénico de semilleros naturales”.

#### **c) Reforestación**

“Conversión por actividad humana directa de tierras no boscosas en tierras forestales mediante plantación, siembra o fomento antropogénico de semilleros naturales en terrenos donde antiguamente hubo bosques, pero que están actualmente deforestados. En el primer período de compromiso (2008-2012), las actividades de reforestación se limitarán a la reforestación de terrenos carentes de bosque al 31 de diciembre de 1989”.

#### **d) Deforestación**

“Conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierras no forestales”.

#### **e) Revegetación**

“Actividad humana directa que tiene por objeto 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, etc.

#### **f) Gestión forestal**

“Sistema de prácticas para la administración y el uso de tierras forestales con el objeto de permitir que el bosque cumpla funciones ecológicas (incluida la diversidad biológica), económicas y sociales de manera sostenible”. Por ejemplo, podas y claras. Esta definición incluiría tanto el bosque natural como las plantaciones, siempre que se cumpla la definición.

**g) Gestión de tierras agrícolas o de cultivo**

“Sistema de prácticas en tierras dedicadas a cultivos agrícolas y en tierras mantenidas en reserva o no utilizadas temporalmente para la producción agrícola”. Por ejemplo, barbecho sin suelo desnudo, no laboreo o mínimo laboreo, etc.

**h) Gestión de pastos.**

“Sistema de prácticas en tierras dedicadas a la ganadería para manipular la cantidad y el tipo de vegetación y de ganado producidos”.



## **2. INVENTARIOS DE GEI DEL SECTOR UTCUTS DE LA CAPV EN EL AÑO 1990 Y 2008**

En el presente capítulo se exponen los resultados de los inventarios de GEI de la CAPV en el sector de UTCUTS (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) de los años 1990 y 2008. También se describe a grandes rasgos la metodología que se ha utilizado para elaborar estos inventarios de GEI, aunque han sido realizados siguiendo las directrices del “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (IPCC, 2006), como si se tratara de inventarios nacionales destinados a ser entregados a la COP (Conferencia de las Partes), que constituye el órgano supremo de la UNFCCC. La descripción detallada de la metodología se encuentra en el Anexo I.

Recordemos que, en lo que respecta al sector UTCUTS, los inventarios de GEI elaborados para la UNFCCC requieren contabilizar las emisiones/absorciones de toda la superficie con gestión antrópica, a diferencia de los inventarios elaborados para el PK que sólo consideran las actividades de los párrafos 3 y 4 del Artículo 3. No obstante, el objetivo de este capítulo y de estos inventarios de GEI de la CAPV, a pesar de realizarse según las directrices del IPCC, no era contabilizar emisiones y remociones para llegar a los inventarios sino identificar los principales reservorios o sumideros de carbono de la CAPV, es decir, utilizarlos como herramientas para seguir profundizando en los sumideros más importantes de la CAPV.

## 2.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LOS INVENTARIOS DE GEI EN LA CAPV DE CARA A LA CONVENCIÓN

La descripción detallada de la metodología empleada para elaborar los inventarios de GEI de la CAPV de los años 1990 y 2008 se encuentra en el Anexo I.

### 2.1.1. Directrices del IPCC del año 2006

A grandes rasgos, la metodología del IPCC (IPCC, 2006) plantea que el flujo de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, o desde ella, es igual a la variación de las existencias de carbono en la biomasa y el suelo. Estas existencias o stocks de carbono se encuentran en los siguientes depósitos, reservorios o “pools”:

- Biomasa: aérea y subterránea (“above ground biomass” y “below ground biomass”).
- Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca (“dead wood” y “litter”).
- Carbono orgánico del suelo (“soil organic carbon”): sólo de los 30 primeros centímetros de profundidad del suelo, pues se considera que la gestión antrópica afecta en mucho menor grado a las capas de suelo que se hallan a mayor profundidad.

(Las existencias de carbono incluso pueden encontrarse en los productos recolectados de la madera -“Wood Harvested Products”-, si se dispone de esta información).

Asimismo, asume que es posible estimar la variación de las existencias de carbono estableciendo las tasas de cambio de uso de la tierra y las prácticas utilizadas para llevar a efecto ese cambio. Por tanto, las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub>, basadas en los cambios en las existencias de carbono en el ecosistema, se estiman para cada una de las categorías de uso de la tierra (incluyendo tanto las tierras que permanecen en una categoría dada de uso de la tierra como las que pasan a otra categoría de uso de la tierra). Las categorías de uso de la tierra que el IPCC considera son las siguientes:

- Tierras forestales (F, “Forest Land”): para los inventarios de la CAPV, se tomó la misma definición de “bosque” adoptada por España de cara al PK (ver el apartado sobre “Definiciones de interés en los inventarios del Protocolo de Kioto”).
- Tierras de cultivo (C, “Croplands”): incluye cultivos herbáceos y leñosos.
- Pastos (G, “Grasslands”): pastos sin arbolado o con arbolado que no llegan a la definición de “tierras forestales”.
- Asentamientos (S, “Settlements”): superficies relacionadas con infraestructuras residenciales, de transporte, comerciales, de fabricación o similares.

- Humedales (W, “Wetlands”): incluye tierras cubiertas o saturadas de agua (dulce o salina) durante todo el año o la mayor parte del año.
- Otras tierras (O, “Other Lands”): son suelos desnudos, roca, hielo y aquellas superficies no incluidas en ninguna de las demás categorías.

Por tanto, de forma muy simplificada, elaborar un inventario para obtener la fijación/emisión anual de GEI, requiere:

- Clasificar la superficie por categorías de uso del suelo (tierras forestales, tierras de cultivo, pastos, asentamientos, humedales y otras tierras).
- Subdividir las zonas climáticas, tipos de suelo y tipo de prácticas de manejo.
- Estimar las permanencias y cambios de categoría producidos en los años inventariados.
- Determinar los factores de emisiones/remociones de GEI para calcular las variaciones de las existencias de los 5 depósitos de carbono (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo) en cada subdivisión.
- Sumar, finalmente, las variaciones de las existencias de carbono de todas las subdivisiones realizadas.

Según las directrices del IPCC, en términos generales y si no se dispone de datos más específicos, se considera que los cambios en las existencias de carbono de la materia orgánica muerta y del carbono orgánico del suelo se producen de forma constante durante todo el período de tiempo analizado. Por tanto, para el inventario de GEI de 1990, se asume que los cambios de stock de carbono fueron constantes entre 1971 y 1990 y, para el inventario de 2008, se asume que los cambios en el período 1990-2008 también fueron lineales.

Los GEI derivados del sector UTCUTS son concretamente el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, respectivamente). Con el fin de transformar las emisiones de estos GEI en equivalentes de  $\text{CO}_2$  se utilizaron los valores que el IPCC propuso en el año 2007 para los potenciales de calentamiento global (1, 25 y 298 para el  $\text{CO}_2$ , el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$ , respectivamente). Respecto al  $\text{CO}_2$ , en el sector UTCUTS las estimaciones de emisiones/remociones se realizan para el carbono (en forma de C) y, sólo al final, se transforman en  $\text{CO}_2$  multiplicándolas por 44/12, según las masas molecular y atómica.

### **2.1.2. Niveles de procedimiento de cálculo (“tier”)**

En la metodología del IPCC se proponen tres niveles de procedimiento (“tier”) para el cálculo del cambio en las existencias de carbono, con diferentes grados de precisión e incertidumbre. En general, al pasar a niveles más altos, se mejora la exactitud del inventario y se reduce la incertidumbre,

aunque la complejidad y los recursos necesarios para realizar los inventarios también son mayores para los niveles más altos.

- Nivel 1: utiliza datos por defecto, propuestos por el IPCC (ecuaciones, factores de emisión, etc.). Incluso para datos de actividad (número de hectáreas, por ejemplo) se pueden utilizar fuentes poco precisas, a nivel nacional o mundial.
- Nivel 2: aplica el mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, pero utilizando 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 o procedimientos 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 precisión. Estos procedimientos de cálculo de orden superior proporcionan estimaciones de mayor precisión y certidumbre que los niveles inferiores.

El IPCC recomienda intentar alcanzar el máximo Nivel posible en el procedimiento de cálculo (factores de emisión y aproximación espacial), pero dada la limitación de recursos, también recomienda invertir mayor esfuerzo en elevar los Niveles en las categorías que sean clave. Se entiende por categoría clave, aquella (sea fuente emisora o sumidero) que puede ejercer una influencia significativa en la estimación global del inventario, ya sea en valor absoluto o en la tendencia de la serie. Atendiendo a los últimos inventarios de la CAPV, se dedujo que algunas de las categorías clave del sector UTCUTS son las relacionadas con la tierra forestal. Por ello, se alcanzó un “tier 2” en la categoría de tierras forestales, mientras que en el resto de categorías se utilizaron factores de emisión propuestos por el IPCC (“tier 1”).

Dada la importancia de que los inventarios (1990 y 2008) sean coherentes, una de las mayores dificultades para hacerlos comparables consistió en obtener información sobre el año base (1990), tanto en relación a los factores de emisión como de resolución espacial. De modo que los Niveles empleados han sido fundamentalmente los que se han podido alcanzar para el año 1990.

### **2.1.3. Superficie correspondiente a cada categoría de uso de la tierra**

Uno de los aspectos más importantes para la estimación de emisiones/remociones de GEI en el sector UTCUTS es la determinación de superficies (dato de actividad), ya que a éstas se les aplicarán distintos factores de emisión/remoción.

En este sentido, en primer lugar, se identificaron las superficies gestionadas y no gestionadas, puesto que los inventarios sólo se refieren a los GEI de origen antrópico y, en consecuencia, sólo deben incluirse las tierras que son gestionadas por el ser humano. En la CAPV, se consideró que toda la superficie es, en mayor o menor medida, gestionada ya que los efectos de las prácticas antrópicas pueden verse prácticamente en toda ella.

En segundo lugar, se procedió a clasificar las superficies por categorías de uso de la tierra, atendiendo a las 6 categorías definidas por el IPCC (tierras forestales, tierras de cultivo, pastos, asentamientos, humedales y otras tierras). Esta clasificación se realizó mediante teledetección (escenas Landsat 5 TM), en combinación con ortofotos, inventarios forestales y datos estadísticos (ver Anexo I).

Finalmente, combinando las fuentes de información ya citadas con el juicio de experto, se determinaron las superficies que permanecieron con un mismo uso y las que cambiaron de uso en 1990 y 2008.

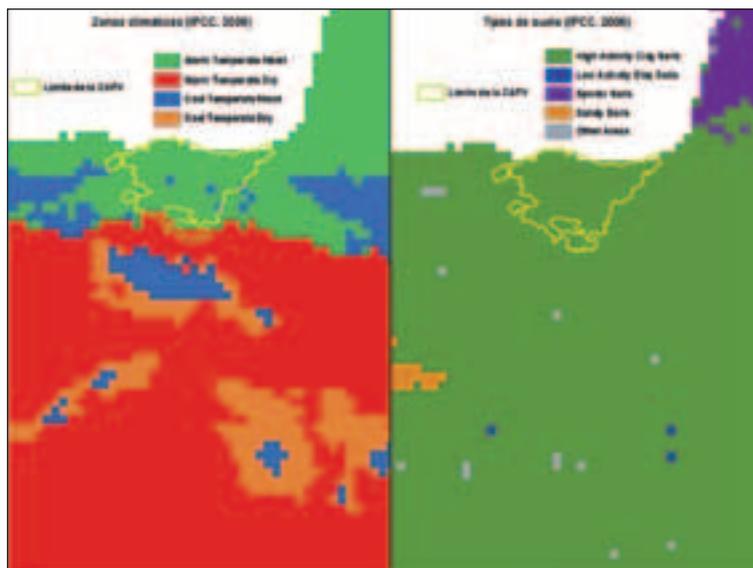
#### **2.1.4. Zonas climáticas y tipos de suelo en la CAPV**

La superficie de la CAPV se dividió en dos zonas climáticas en función de las características establecidas en las directrices del IPCC:

- **Clima templado seco:** la comarca de la Rioja Alavesa. Se entiende por clima templado seco aquél en el que la temperatura media anual es superior a 10 °C (e inferior a 18 °C) y el cociente entre precipitación media anual y evapotranspiración potencial es inferior a 1.
- **Clima templado húmedo:** el resto de la CAPV, salvo la Rioja Alavesa. Se entiende por clima templado húmedo aquél en el que la temperatura media anual es superior a 10 °C (e inferior a 18 °C) y el cociente entre precipitación media anual y evapotranspiración potencial es superior a 1.

En general, la influencia del uso y la gestión del suelo sobre el carbono orgánico del suelo es extremadamente diferente en un suelo de tipo mineral de aquella que se produce en un suelo de tipo orgánico. Los suelos orgánicos (p.e. turba) tienen, como mínimo, entre un 12 y un 20% de materia orgánica por masa y se desarrollan bajo condiciones de mal drenaje en humedales. Todos los demás suelos se clasifican como de tipo mineral y es típico que tengan cantidades relativamente bajas de materia orgánica, y predominan en la mayoría de los ecosistemas a excepción de los humedales. Los suelos de toda la CAPV se clasificaron como suelos minerales con arcillas de alta actividad. Es decir, como suelos entre ligera y moderadamente erosionados con predominio de silicatos de tipo 2:1.

La Comisión Europea dispuso un mapa de zonas climáticas y otro de suelos, obtenidos según las clasificaciones del IPCC, para ayudar en la selección del tipo de suelo y del tipo climático. Estos mapas (Figura 3) vienen a corroborar la clasificación que se realizó en la CAPV de zonas climáticas y edáficas.



**Figura 3. Mapas temáticos para determinar zonas climáticas y tipos de suelo de acuerdo a las clasificaciones del IPCC (2006) proporcionados por la Comisión Europea.**  
(<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/RenewableEnergy>).

### 2.1.5. Determinación de las existencias de carbono por categorías de uso de tierra

Los aspectos detallados de los cálculos que se realizaron para obtener las emisiones/remociones de carbono (IPCC, 2006) se detallan en el Anexo I.

Las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> se estiman básicamente partiendo de los cambios en las existencias de carbono del ecosistema. Estas existencias se encuentran en la biomasa aérea y subterránea, la materia orgánica muerta (a saber, la madera muerta y la hojarasca), y la materia orgánica del suelo. Las pérdidas netas de las existencias de carbono de estos 5 depósitos del ecosistema se utilizan para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, mientras que las ganancias netas de las existencias de carbono se emplean para estimar la absorción de CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

Los cálculos de emisiones/remociones de GEI se realizaron para cada uno de los depósitos, una vez que se definieron las superficies que permanecían en la misma categoría y las que se habían convertido a otras, y se subdividieron por tipo de suelo y clima. De modo que, las estimaciones de GEI se realizaron para las categorías y depósitos descritos en la Tabla 2.

En el caso de la biomasa, no se estimaron los cambios en las existencias de carbono en las cubiertas desprovistas, en general, de vegetación (asentamientos y otras tierras), ni en las cubiertas herbáceas (cultivos, pastos). En este último caso, la razón es que para un Nivel 1 de cálculo (el

más básico), el IPCC considera que la biomasa relacionada con las plantas herbáceas anuales y perennes (es decir, que no son madereras y leñosas) es relativamente efímera; es decir, decae y se regenera anualmente o cada pocos años. Por lo tanto, las emisiones por descomposición se compensan con las absorciones debidas a la regeneración, lo que hace que, en general, las existencias generales netas de carbono sean bastante estables a largo plazo y no se contabilicen cuando la tierra permanece en la misma categoría de uso.

En el caso de la materia orgánica muerta (DOM, “dead organic matter”), compuesta por la hojarasca y la madera muerta, se utilizó el Nivel 1 de procedimiento de cálculo, según el cual se asume que la velocidad promedio de transferencia hacia materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca) es equivalente a la velocidad promedio de transferencia desde materia orgánica muerta, por lo que el cambio neto de las existencias es nulo. Solamente se considera la DOM, para el Nivel 1 de cálculo, en los casos que supongan cambios de uso relacionados con tierras forestales (conversiones a tierras forestales o lo inverso).

En lo que respecta al carbono orgánico de los suelos (SOC, “Soil Organic Carbon”), sólo se estimó su variación cuando hubo una conversión entre categorías de uso de la tierra o cuando se pudo identificar que, dentro de un mismo uso, había estratos o subdivisiones con características distintas que afectaban al contenido de carbono en suelo (prácticas de manejo, aporte de inputs, etc.). Por ejemplo, tierras con cultivos intensivos, extensivos o frutales o, dentro de los pastos, praderas o prados y otras superficies utilizadas para pastos.

**Tabla 2. Categorías de uso de la tierra y depósitos de carbono consideradas en los inventarios de GEI de la CAPV.**

Categoría de uso de la tierra		Biomasa	Materia orgánica muerta	Suelos
A) Tierras Forestales	FF	SÍ	NA	NA
	LF	SÍ	SÍ	SÍ
B) Tierras de Cultivo	CC	SÍ	NA	SÍ
	LC	SÍ	SÍ	SÍ
C) Pastos	GG	NA	NA	SÍ
	LG	SÍ	SÍ	SÍ
D) Humedales	WW	NA	NA	NA
	LW	SÍ	SÍ	SÍ
E) Asentamientos (urbano)	SS	NA	NA	NA
	LS	SÍ	SÍ	SÍ
F) Otras tierras	OO	NA	NA	NA
	LO	SÍ	SÍ	SÍ

**NA: no aplicable; FF: tierras forestales que continúan siéndolo; LF: tierras convertidas en forestales; CC: cultivos que permanecen como tales; LC: tierras convertidas en cultivos; GG: pastos que continúan siéndolo; LG: tierras convertidas en pastos; WW: humedales que permanecen como tales; LW: tierras convertidas en humedales; SS: tierras urbanas o asentamientos que permanecen como tales; LS: tierras convertidas a asentamientos; OO: otras tierras que permanecen como tales; LO: tierras que pasan a la categoría de otras tierras.**

## **2.1.6. Emisiones de GEI distintos al CO<sub>2</sub> en el sector UTCUTS**

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O derivados del uso de la tierra se determinaron a partir de la superficie convertida en humedal, la superficie quemada o incendiada y la superficie convertida a tierras de cultivo.

### **2.1.6.1. Emisiones de CH<sub>4</sub> en humedales**

Además de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la conversión de tierras a humedales, en los humedales también se producen emisiones de CH<sub>4</sub>. El método de Nivel 1 para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de las tierras inundadas incluye sólo las emisiones difusoras durante el periodo libre de hielos (las emisiones producidas durante el periodo cubierto de hielos se suponen nulas).

### **2.1.6.2. Emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por incendios de tierras forestales y de pastos**

Las emisiones producidas por el fuego incluyen, además, del CO<sub>2</sub>, otros GEI o precursores de éstos que se originan de la combustión incompleta del combustible (CO, CH<sub>4</sub>, compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, etc.) (IPCC, 2006).

Aunque deben estimarse las emisiones de GEI de todo tipo de fuegos (fuegos controlados y naturales) ocurridos en las tierras gestionadas, debido a la falta de información, sólo se tuvieron en cuenta las emisiones procedentes de incendios de la CAPV.

El fuego afecta no sólo la biomasa (en particular la aérea) sino también a la materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta), en particular, en las tierras forestales. Si el fuego tiene suficiente intensidad para matar a una parte de la arboleda del bosque, bajo el Nivel 1 de cálculo (el más básico), se debe suponer que el carbono contenido en la biomasa muerta se libera de inmediato a la atmósfera; esta simplificación puede provocar una sobreestimación de las verdaderas emisiones del año del incendio.

Por otro lado, en el Nivel 1 de cálculo, se supone que las emisiones de CO<sub>2</sub> de la DOM (materia orgánica muerta) equivalen a cero en los bosques que se queman, pero que no mueren a causa del fuego. En los inventarios de la CAPV se han asumido ambos supuestos.

En el caso de las tierras forestales, se estimó la biomasa (aérea y subterránea) quemada presente a partir de la superficie incendiada, y se consideró que toda ella se quemaba. Mientras que en el caso de pastos quemados, se asumió que se quemaban mayoritariamente matorrales y arbustos.

La superficie quemada de tierras forestales se obtuvo de Diputaciones Forales, del IF-1996 y del MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). En el caso de pastos (mato-

rrales y pastizales), la superficie quemada se obtuvo de las Diputaciones Forales para el año 1990 y del MAGRAMA para los demás años.

### **2.1.6.3. Emisiones de N<sub>2</sub>O por conversión de tierras en tierras de cultivo**

La conversión de suelos en tierras de cultivo conlleva la mineralización de la materia orgánica y, consecuentemente, la pérdida de carbono orgánico del suelo (SOC) en forma de emisiones de CO<sub>2</sub>, así como la pérdida de nitrógeno orgánico del suelo en forma de emisiones de N<sub>2</sub>O. Las emisiones de N<sub>2</sub>O se estimaron suponiendo que por cada tonelada de SOC emitida se emiten también 0.067 t de nitrógeno en forma de N<sub>2</sub>O. Esta suposición se basa en que el IPCC asume que la relación C/N de la materia orgánica en tierras forestales o en pastos convertidos en cultivos es de 15. Para transformar las emisiones de N a emisiones en forma de N<sub>2</sub>O basta con multiplicarlas, atendiendo a sus masas molecular y atómicas, por 44/28.

### **2.1.7. Emisiones de GEI no contabilizadas en el sector UTCUTS**

De todas las emisiones que deben ser estimadas en los inventarios de GEI que se realizan para la UNFCCC, en los inventarios de los años 1990 y 2008 de la CAPV no se contabilizaron las que se indican a continuación:

- Emisiones directas de N<sub>2</sub>O derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en las categorías de uso correspondientes a tierras forestales y a otras tierras. Estas emisiones no se estimaron porque los aportes de nitrógeno se consideraron insignificantes, dada la baja proporción de superficies forestales fertilizadas y las reducidas dosis aplicadas.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la aplicación de productos encalantes. El encalado empleado para reducir la acidez del suelo puede conducir a la emisión de CO<sub>2</sub>, si dicho encalado es en forma de cal (p.e., CaCO<sub>3</sub> ó CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), ya que las cales se disuelven y liberan bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), que se convierte en CO<sub>2</sub> y agua. A pesar de la acidez de gran parte de los suelos de la CAPV, no se estimaron estas emisiones por dos motivos: la falta de información respecto a cantidades de enmiendas calizas carbonatadas utilizadas y la creencia de que su empleo no ha cambiado significativamente en el período 1990-2008.

## 2.2. INVENTARIOS DE GEI DEL SECTOR UTCUTS DE LA CAPV EN LOS AÑOS 1990 Y 2008

En general, en el sector UTCUTS se observó (Tabla 3), una fijación de CO<sub>2</sub> en los años 1990 y 2008 (2680 y 3036 Gg CO<sub>2</sub>-eq año<sup>-1</sup>, respectivamente), fijándose un 13.3% más de CO<sub>2</sub> en el año 2008. Un 13.3% de incremento en las absorciones de CO<sub>2</sub> en comparación con el año 1990 puede interpretarse como una tendencia hacia menores emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de los usos de la tierra, pero hay que tener siempre presente que las incertidumbres de estos cálculos –aunque no se han estimado– se consideran muy altas. Para ilustrarlo, basta con recordar unas de las consideraciones que se realizaron al estimar las fijaciones y emisiones de los pastos que permanecían como tales: en el año 1990, se asumió que, dentro de la superficie de pastos, la proporción de prados y otros pastos había permanecido constante en los últimos 20 años (ya que no se disponía de información del período 1970-1990), en cambio, en el año 2008, se determinó su variación de acuerdo a datos obtenidos de los Censos Agrarios de 1989, 1999 y 2008. El mismo tipo de hipótesis se realizó para las tierras de cultivo que habían permanecido como tales, considerando que dentro de las mismas la proporción de cultivos herbáceos y, por ejemplo, no había variado. A causa de estas asunciones debidas a la carencia de información previa a 1990, en el año 2008 se estimó que se fijaron en la CAPV 122 Gg CO<sub>2</sub>-eq y 52 Gg CO<sub>2</sub>-eq en pastos que permanecieron como tales (GG) y en tierras de cultivo que permanecieron como tales (CC), respectivamente (Tabla 11). Si en el año 2008 no se hubieran considerado las subdivisiones o estratos dentro de GG y CC, las fijaciones totales del año 2008 habrían pasado de ser 3036 a 2862 Gg CO<sub>2</sub>-eq y el incremento, en comparación al año 1990, habría sido del 6.8% (no del 13.3%).

En ambos años, en cada territorio histórico se produjo aproximadamente un tercio de las fijaciones, aunque un poco más en Araba y Bizkaia y un poco menos en Gipuzkoa (un rango de 34-36%, 35-39% y 27-29% en Araba, Bizkaia y Gipuzkoa, respectivamente, en ambos años) (Tabla 4; Tabla 5; Tabla 6; Tabla 7; Tabla 8; Tabla 9; Tabla 10; Tabla 11). En cualquier caso, el 80-95% de las absorciones de la CAPV ocurrieron en las tierras forestales y un 6-20% en los pastos. Mientras que la conversión en asentamientos constituyó la mayor fuente de emisiones de GEI, con unas emisiones del orden del 0.3-2.4% en relación a las fijaciones totales de la CAPV (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) de los inventarios de 1990 y 2008, en función de categorías de uso y por territorios históricos.

Categorías de uso de la tierra	Equivalentes de CO <sub>2</sub> (Gg CO <sub>2</sub> -eq año <sup>-1</sup> )		Emisiones (-) y fijaciones (+)			
	1990	2008	% respecto al total del año 1990	% respecto al total del año 2008	% respecto al total del TTHH 1990	% respecto al total del TTHH 2008
<b>ARABA</b>						
Tierras forestales	965	912	36.0	30.1	100.6	87.9
Tierras de cultivo	0	31	0.0	1.0	0.0	2.9
Pastos	-1	115	0.0	3.8	-0.1	11.1
Humedales	-3	0	-0.1	0.0	-0.4	0.0
Asentamientos	-1	-20	0.0	-0.7	-0.1	-1.9
Otras tierras	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>959</b>	<b>1038</b>	<b>35.8</b>	<b>34.2</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>BIZKAIA</b>						
Tierras forestales	631	1157	23.5	38.1	66.9	98.5
Tierras de cultivo	0	14	0.0	0.5	0.0	1.2
Pastos	318	45	11.9	1.5	33.7	3.8
Humedales	-1	0	0.0	0.0	-0.1	0.0
Asentamientos	-5	-41	-0.2	-1.3	-0.6	-3.5
Otras tierras	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>943</b>	<b>1175</b>	<b>35.2</b>	<b>38.7</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>GIPUZKOA</b>						
Tierras forestales	552	800	20.6	26.3	71.0	97.2
Tierras de cultivo	0	4	0.0	0.1	0.0	0.5
Pastos	228	33	8.5	1.1	29.3	4.1
Humedales	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Asentamientos	-2	-13	-0.1	-0.4	-0.3	-1.6
Otras tierras	0	-1	0.0	0.0	0.0	-0.1
<b>TOTAL</b>	<b>778</b>	<b>823</b>	<b>29.0</b>	<b>27.1</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>
<b>CAPV</b>						
Tierras forestales	2148	2869	80.1	94.5	80.1	94.5
Tierras de cultivo	0	49	0.0	1.6	0.0	1.6
Pastos	545	193	20.3	6.4	20.3	6.4
Humedales	-4	0	-0.2	0.0	-0.2	0.0
Asentamientos	-9	-74	-0.3	-2.4	-0.3	-2.4
Otras tierras	0	-1	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>2680</b>	<b>3036</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Tabla 4. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 1990, en Araba.

Categoría de uso de la tierra	Emisiones, 1990		Biomasa				Biomasa de carbono Mg Carbon, 1990				Carbono orgánico en Suelo		Balanace de carbono		Balanace de carbono		Otras emisiones (kg CO <sub>2</sub> eq)	
	Nº	kg CO <sub>2</sub> -eq	Extracción	Incidencias	Perdidas	Balace	Incremento	Perdida	Balace	Stock año final	Stock año inicial	Balace	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>
<b>Araba</b>																		
Tierras Forestales	123460	945	294243	54028	33171	27787	298448	17808	8	11908	81873	87343	81873	87343	8	-225	-211	-1840
FF	91127	508	211167	54028	17622	71648	941208	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	-225	-211	-1840
CF	20509	403	58328	8	4882	4882	53608	14483	8	14483	41873	77308	41873	77308	8	8	8	8
GF	5009	34	12708	8	1007	1007	11891	2107	8	3157	0	20088	20088	0	8	8	8	8
OF	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO
Tierras de Cultivo	20968	8	NA	NA	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	888	NA	888
CC	20265	0	NA	NA	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	888	NA	888
FC	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO
Prados	21128	8	NA	NA	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	888	NA	888
OS	21128	-1	NA	NA	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	888	NA	888
FS	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO
CS	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO
Humedales	3481	-3	8	214	NO	214	-214	8	8	8	8	8	8	8	-214	-134	-208	238
HW	2583	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0
CW	818	-3	8	214	NO	214	-214	8	8	8	8	8	8	8	-214	-134	-208	238
Asentamientos	8883	-1	8	137	NO	137	-137	NA	NA	NA	NA	1083	-1117	1083	0	-128	NO	NO
SS	8178	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0
FS	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0
CS	288	-1	8	137	NO	137	-137	NA	NA	NA	NA	1083	-1117	1083	0	-128	NO	NO
OS	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0
WS	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0
Otras tierras	3089	8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	888	NA	888
OO	3089	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8	888	NA	888
FO	8	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>364729</b>	<b>898</b>	<b>294243</b>	<b>54178</b>	<b>33171</b>	<b>27147</b>	<b>298208</b>	<b>17808</b>	<b>8</b>	<b>11908</b>	<b>81873</b>	<b>88328</b>	<b>81873</b>	<b>88328</b>	<b>8</b>	<b>-134</b>	<b>-138</b>	<b>-1181</b>

NA: no aplicable; NO: no ocurre.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión).

Tabla 5. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 1990, en Bizkaia.

Categoría de uso de la tierra	1990		Emisiones				Materia Orgánica Muerta				Carbono orgánico en Suelo		BALANCE de carbono		Otras emisiones (gigajulios, 1990)		Otras emisiones (kg CO <sub>2</sub> -eq)			
	ha	Op CO <sub>2</sub> -eq	Incremento	Extracción	Incendios	Perdidas	Balance	Incremento	Perdida	Balance	Stock año final	Stock año inicial	Balance	BALANCE de carbono (kg CO <sub>2</sub> -eq)	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Tierras Forestales</b>	52547	631	43034	24774	17245	26479	17438	NA	NA	NA	NA	NA	154135	636.48	E	-1.31	-0.11	7.47		
FF	52547	631	43034	24774	17245	26479	17438	NA	NA	NA	NA	NA	154135	636.48	E	-1.31	-0.11	7.47		
CF	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
GF	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
OF	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>Tierras de Cultivo</b>	8208	6	NA	NA	E	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9	8.88	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CC	8208	6	NA	NA	E	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9	8.88	NA	NA	NA	NA	NA	NA
FC	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Prados</b>	75247	318	14448	15628	E	13028	1419	8	888	-858	216233	129418	86827	87114	198.42	NA	-8.23	8.26	-1.87	
PO	29713	4	NA	NA	E	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0.00	NA	-4.23	0.00	-1.87		
PO	1384	42	438	2658	NO	2658	-2215	0	333	-653	-653	8259	0	-2165	NA	E	E	E		
CO	41190	301	14027	13179	NO	10370	3821	NA	NA	0	209944	123113	86527	87028	138.18	NA	E	E	E	
<b>Humedales</b>	811	-1	0	41	NA	41	-41	0	0	0	0	0	0	-41	-4.18	-3.28	-8.21	NA	NA	NA
WV	811	-1	0	41	NA	41	-41	0	0	0	0	0	0	-41	-4.18	-3.28	-8.21	NA	NA	NA
WV	811	-1	0	41	NA	41	-41	0	0	0	0	0	0	-41	-4.18	-3.28	-8.21	NA	NA	NA
<b>Asentamientos</b>	12287	4	0	348	NA	348	-348	NA	NA	NA	3473	4341	-868	-1118	-3.18	NO	NO	NO	NO	NO
AS	12287	4	0	348	NA	348	-348	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO
FS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CS	1384	4	0	348	NO	348	-348	NA	NA	0	3473	4341	-868	-1118	-3.18	NO	NO	NO	NO	NO
CS	1384	4	0	348	NO	348	-348	NA	NA	0	3473	4341	-868	-1118	-3.18	NO	NO	NO	NO	NO
WS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>Otras tierras</b>	2408	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9	8.88	NO	NO	NO	NO	NO	NO
OO	2408	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9	8.88	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0.00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<b>TOTAL</b>	87198	361	43108	28178	17245	27438	11994	8	888	-858	216238	133748	87131	951	-3.28	-8.22	-8.21	-1.87		

NA: no aplicable; NO: no ocurre.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión)

Tabla 6. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 1990, en Gipuzkoa.

Categoría de uso de la tierra	Emisiones		Extracción		Inventarios		Emisiones de carbono orgánico		Emisiones de carbono inorgánico		Emisiones de carbono orgánico y inorgánico		Emisiones de carbono orgánico y inorgánico		Emisiones de carbono orgánico y inorgánico		Otras emisiones (Gg CO <sub>2</sub> -eq)	
	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	kg CO <sub>2</sub> -eq								
Tierras Forestales	184200	552	346677	556448	47320	207383	154112	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	-2098
CF	112220	552	252001	155448	46528	202275	151320	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	-2098
CF	968	17	2078	0	395	395	2552	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
CF	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
CF	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
Tierras de Cultivo	3481	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
OC	3481	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
FC	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
Pantanos	64898	228	9178	7237	0	7237	2533	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-153
OG	38102	-2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-153
FG	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
CG	30796	230	8170	7237	0	7237	2533	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	
Humedales	689	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
WV	689	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
CH	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
Asentamientos	9052	0	0	247	NA	247	-247	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
SG	8052	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
FG	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
CS	700	-2	0	247	NO	247	-247	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
OS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
WV	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
Otras tierras	1848	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
OO	1848	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
FO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
<b>TOTAL</b>	<b>186641</b>	<b>718</b>	<b>346641</b>	<b>152628</b>	<b>47320</b>	<b>218448</b>	<b>156398</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>-33</b>

NA: no aplicable; NO: no ocurre.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión)

Tabla 7. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 1990, en la CAPV.

Categoría de uso de la tierra	1990		Evolución de los stocks (kg CO <sub>2</sub> eq/año)										Otras emisiones (kg CO <sub>2</sub> eq/año)		Otras emisiones (kg CO <sub>2</sub> eq/año)			
	ha	kg CO <sub>2</sub> eq	Incremento	Extracción	Ingestión	Perdida	Balance	Incremento	Perdida	Balance	Stock año final	Balance	Stock año inicial	Balance	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
<b>Tierras Forestales</b>	386228	2148	1000074	437043	83226	543382	3346923	18214	0	18214	143390	100550	43400	386228	187	-1	0	
FF	325832	1617	1000062	437043	81923	530326	460324	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1712	EE	-1	0	
CF	27028	420	61354	0	2277	5277	56079	15258	0	15258	118622	75481	43430	420	EE	EE	EE	
CF	5498	54	12758	0	1587	3287	11691	3157	0	3157	25259	25259	0	54	EE	EE	EE	
CF	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO	
<b>Tierras de Cultivo</b>	99657	0	NA	NA	EE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	
OC	29527	0	NA	NA	EE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	
FC	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO	
<b>Pastos</b>	213871	345	24215	20088	EE	20295	3948	0	308	-439	32178	215420	146737	143778	NA	EE	0	
GO	137543	-4	NA	NA	EE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	-4	
FG	1384	-12	439	2654	NO	2654	-2715	0	303	-630	6089	6089	0	-3146	-52	NA	EE	
CG	71945	561	22778	17672	NO	17672	8164	NA	NA	0	36687	203330	146737	152071	561	NA	EE	
<b>Humedales</b>	4991	-4	0	285	NA	255	-285	0	0	0	EE	EE	EE	-258	-2	EE	-3	
W9	3607	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	
W8	1384	-4	0	285	NO	255	-285	0	0	0	EE	EE	EE	-258	-2	EE	-3	
<b>Asentamientos</b>	38642	0	0	931	NA	931	-931	NA	NA	0	993	7179	-9179	-9179	0	NO	NO	
S5	28000	0	NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NO	NO	NO	
FS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO	
CS	2842	-6	0	501	NO	501	-501	NA	NA	0	5903	7199	-9179	-9179	0	NO	NO	
OS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO	
WS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO	
<b>Otras tierras</b>	7364	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	
OO	7364	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	
FO	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	NO	NO	NO	
<b>TOTAL</b>	723673	2686	1104296	419498	83226	566834	531456	18214	938	17253	512998	323349	188711	742453	2728	-1,66	-1,61	-0,66

NA: no aplicable; NO: no ocurre.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión)

Tabla 8. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 2008, en Araba.

Categorías de uso de la tierra	2008		Balance de carbono (Mg Carbono, 2008)										Balance de carbono (Gg CO <sub>2</sub> -eq)			Otros emisiones (Gg CO <sub>2</sub> -eq)		
	Nº	Gg CO <sub>2</sub> -eq	Incremento	Extracción	Incineración	Perdidas	Balance	Incremento	Paradas	Balance	Stock año inicial	Stock año final	Balance	CO <sub>2</sub> -eq	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> -eq	
<b>Tierras Forestales</b>	132626	812	277336	36712	62	28777	240556	3658	NA	NA	2058	42144	38119	4521	248840	812	0.00	0.00
FF	123314	819	271546	36712	62	28773	239173	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	239173	819	0.00	0.00
OF	2678	17	217	NO	0.0	0.0	217	43	0	43	11774	7474	4300	4900	17	0.00	0.00	0.00
GF	6642	16	564	NO	0.1	0.1	564	3888	0	3888	30543	30543	0	4452	16	0.00	0.00	0.00
GF	28	0	2	NO	0.0	0.0	2	18	0	18	126	102	26	46	0	0.00	0.00	0.00
<b>Tierras de Cultivo</b>	79872	31	31819	24526	NO	24329	7287	8	75	-75	26596	204463	1133	8345	31	NA	NA	NA
CC	79771	32	31526	24526	NO	24329	7495	NA	NA	0	25314	204019	1255	8790	32	NA	NA	NA
FC	101	-2	25	234	NO	234	-208	8	75	-75	282	444	-162	445	-2	NA	NA	NA
<b>Pastos</b>	79976	115	2159	2091	E	2091	168	8	54	-164	34489	313465	31341	31264	115	NA	0.00	0.00
OG	6452	76	NA	NA	E	E	NA	NA	NA	NA	0	21631	29609	2623	76	NA	0.00	0.00
FG	220	-2	78	910	NO	910	-432	8	154	-164	958	658	0	588	-2	NA	E	E
CO	5903	41	2561	1541	NO	1541	540	NA	NA	0	27207	15439	10715	41	NA	E	E	
<b>Humedales</b>	3465	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6	0	NA	0.00	0.00
WH	3375	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6	0	NA	NA	NA
CW	NO	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	NO	0.00	0.00
<b>Asentamientos</b>	14724	-26	8	1712	NA	1712	-1712	8	7	-7	15115	16344	-3779	-5468	-26	NO	NO	NO
SS	602	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NO	NO	NO
FS	12	0	0	21	NO	21	-21	0	7	-7	42	53	-11	-38	0	NO	NO	NO
CS	5360	-16	0	1364	NO	1364	-1364	0	0	0	11706	14749	-2560	-4313	-16	NO	NO	NO
GS	594	-4	0	318	NO	318	-318	0	0	0	3182	3579	-795	-1114	-4	NO	NO	NO
WS	25	0	0	3	NO	3	-3	0	0	0	92	114	-21	-32	0	NO	NO	NO
OT	2072	6	8	3	NA	3	-3	8	1	-1	5	6	-1	-4	0	NO	NO	NO
OO	3071	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NO	NO	NO
FO	1	0	0	3	NO	3	-3	0	1	-1	5	6	-1	-4	0	NO	NO	NO
<b>TOTAL</b>	244726	1236	311154	64897	62	64893	245236	2658	247	-1	65795	57494	3201	25294	1236	0.00	-0.31	0.00

NA: no aplicable; NO: no ocurre.  
 La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión).

Tabla 9. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 2008, en Bizkaia.

Categoría de uso de la tierra	Siglo "X" emisiones (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Siglo "X" absorciones (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Bosques						Matorrales y praderas						Otros ecosistemas (kg CO <sub>2</sub> -eq)			Otros ecosistemas (kg CO <sub>2</sub> -eq)			
			Incremento	Extracción	Incendios	Plantación	Balance	Incremento	Perdida	Balance	Stock año final	Stock año inicial	Balance	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O					
<b>Tierras Forestales</b>	529967	1157	462478	150556	443	131059	311377	4165	0	4165	0	28392	28333	47	315389	1157	0	0	0	-81	
FF	123511	1137	461252	150556	442	131056	310154	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	310154	1137	0	0	0	-81	
CF	26	0	0	0	0	0	0	18	0	18	0	114	73	-41	0	0	0	0	0	0	
GF	3054	20	1218	NO	1,2	1217	0	4163	0	4163	0	20242	20242	0	5300	20	0	0	0	0	0
OF	8	0	0	NO	0,0	0,0	1	4	0	4	0	26	23	3	11	0	0	0	0	0	0
<b>Tierras de Cultivo</b>	3543	14	2748	1392	NO	1092	1456	0	34	-34	0	13578	13317	2261	3863	14	0	0	0	0	0
CC	3098	15	2726	994	NO	994	1741	NA	NA	0	13442	11102	2340	4091	15	0	0	0	0	0	0
FC	49	-1	13	98	NO	98	-80	0	30	-30	0	137	276	-70	-106	-1	0	0	0	0	0
<b>Prairies</b>	83393	45	558	3162	IE	3162	-2455	0	1148	-1148	0	318792	307186	16306	12263	45	0	0	0	0	0
OO	67558	24	NA	NA	IE	NA	NA	NA	NA	0	207319	205855	8425	8425	24	0	0	0	0	0	0
PO	1120	-14	558	3162	NO	3162	-2055	0	1148	-1148	0	1079	1079	0	-3753	-14	0	0	0	0	0
OO	4415	36	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	0	21803	13332	8571	8571	36	0	0	0	0	0	0
<b>Humedales</b>	811	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	0	0
WW	793	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	0	0
OW	18	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Asentamientos</b>	21458	-41	0	3479	NA	3479	-3479	0	218	-218	0	29668	36882	-7394	-11868	-41	0	0	0	0	0
SS	12293	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	0	0
FS	201	-4	0	932	NO	932	-932	0	218	-218	0	1060	1324	-260	-1095	-4	0	0	0	0	0
CS	1942	6	0	446	NO	446	-446	0	0	0	0	4358	3423	935	-1831	6	0	0	0	0	0
GS	8072	-31	0	2422	NO	2422	-2422	0	0	0	0	21188	20225	-963	-4869	-31	0	0	0	0	0
WS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Otros terrenos</b>	2432	0	0	64	NA	64	-64	0	21	-21	0	113	141	-28	-115	0	0	0	0	0	0
OO	2400	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	0	0
FC	32	0	0	64	NO	64	-64	0	23	-23	0	113	141	-28	-115	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	27896	1135	463162	50448	443	13669	336334	4165	1429	-2148	0	364452	359662	16886	329264	1135	0	0	0	0	-81

NA: no aplicable; NO: no ocurre.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera corresponde a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión).

Tabla 10. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 2008, en Gipuzkoa.

Categoría de uso de la tierra	Emisiones		Absorciones		Balances de carbono (kg CO <sub>2</sub> -eq) Cálculo 2008										Balances de carbono (kg CO <sub>2</sub> -eq)		Otras emisiones (kg CO <sub>2</sub> -eq)	
	ha	kg CO <sub>2</sub> -eq	ha	kg CO <sub>2</sub> -eq	Incremento	Extracción	Reservas	Perdidas	Balance	Stock año base	Stock año final	Stock año inicial	Balance	BALANCE de carbono (kg CO <sub>2</sub> -eq)	BALANCE de carbono (kg CO <sub>2</sub> -eq)	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Otras emisiones (kg CO <sub>2</sub> -eq)
<b>Tierras Forestales</b>	119489	809	348191	132282	849	134202	214499	3341	0	3341	22211	21918	233	109	218074	0	0	-0,01
FF	114441	783	341818	133262	837	134109	213879	NA	NA	NA	NA	NA	NA	783	213678	0	0	-0,01
CF	132	1	22	NO	0	0	21	0	24	0	680	368	212	1	257	0	0	0
GF	4502	15	798	NO	2	2	796	0	3302	0	21325	0	4097	15	4097	0	0	0
OF	24	0	4	NO	0	0	4	0	16	0	106	85	21	0	41	0	0	0
<b>Tierras de Cultivo</b>	2066	4	2268	1648	NO	1648	449	0	41	-41	11968	10368	871	4	1078	0	0	0
CC	2073	0	2291	1719	NO	1719	571	NA	NA	0	10716	10158	790	1321	1321	0	0	0
FC	85	-1	14	128	NO	136	-122	0	43	-43	154	242	-68	-1	-1	0	0	0
<b>Pastos</b>	81834	33	664	2258	0	3299	-2796	0	1618	-1618	304636	291741	12865	6933	33	NA	0	-0,01
GO	67240	23	NA	NA	0	0	NA	0	NA	0	252559	277264	6226	6226	23	NA	0	-0,01
FG	1315	-14	664	3209	NO	3209	-2796	0	1018	-1018	5196	5196	0	-14	-14	0	0	0
CO	3079	25	NA	NA	0	0	NA	0	NA	0	15301	8601	6700	25	6700	0	0	0
<b>Humedales</b>	689	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	NA	NA	0
H19	689	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	0	NA	NA	0
CW	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	NO	NO	0
<b>Asentamientos</b>	52899	-13	0	1348	NA	1348	-1348	0	185	-185	8375	53469	-2844	-13	-13	NO	NO	0
SE	3447	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NO	NO	0
FE	238	-4	0	382	NO	382	-582	0	185	-185	841	1052	-210	-4	-4	NO	NO	0
CS	718	-7	0	165	NO	160	-90	0	0	0	1604	2005	-401	-7	-7	NO	NO	0
GS	688	-8	0	584	NO	584	-694	0	0	0	6036	7472	-1482	-8	-8	NO	NO	0
WS	0	0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	NO	NO	0
<b>Otras tierras</b>	1878	-1	0	131	NA	131	-131	0	41	-41	187	233	-47	-1	-1	NO	NO	0
CO	1525	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NO	NO	0
FO	53	-1	0	131	NO	131	-131	0	41	-41	187	233	-47	-1	-1	NO	NO	0
<b>TOTAL</b>	199647	823	357469	129445	949	148795	219876	3341	1285	-2027	349437	334819	11669	823	224451	0,00	-0,02	0,00

NA: no aplicable; NO: no ocurre.  
 La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión)

Tabla 11. Resultados detallados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) del inventario del año 2008, en la CAPV.

Categoría de uso de la tierra	Signo (+) emisiones, Signo (-) absorciones		Balances de carbono (Mg Carbono), 2008										Otros emisores (Mg CO <sub>2</sub> -eq)				
	2008	2008	Extracción	Sumideros	Incremento	Pérdidas	Balanza	Incremento	Pérdidas	Balanza	Stocks año inicial	Stocks año final	Balanza de carbono	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
<b>Tierras Forestales</b>	382018	2869	188507	1444	326074	716433	0	11483	0	11483	91937	88432	4659	1869	-0.02	0.00	-0.02
FF	381326	2800	188507	1441	326070	716303	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4659	1869	-0.02	0.00	-0.02
CF	2834	18	344	0	344	0	0	0	0	0	12480	7915	4564	18	0	0	0
GF	17798	81	2580	0	2578	11342	0	11342	0	11342	78300	78300	0	81	0	0	0
GF	58	0	7	0	0	0	0	0	0	0	260	260	0	0	0	0	0
<b>Tierras de Cultivo</b>	84265	49	34440	0	27344	3083	0	183	-183	0	228244	228179	4655	49	NA	NA	NA
CC	80080	52	30537	0	28739	3807	NA	NA	0	229571	229570	4395	14002	52	NA	NA	NA
FC	205	-3	54	468	0	-468	-415	0	153	-153	873	852	-229	-3	NA	NA	NA
<b>Pantanos</b>	194301	183	3180	8473	0	8473	-3283	0	2328	-2328	863243	869992	66251	183	NA	-0.01	0.06
GG	179550	122	NA	0	0	0	0	0	0	0	87300	874340	33262	122	NA	-0.01	0.00
FG	3056	-30	0	0	0	0	0	0	0	0	14324	14324	0	-30	NA	0	0
CG	13357	181	2381	1541	0	540	NA	NA	0	54411	33422	26589	-27526	181	NA	0	0
<b>Humedales</b>	4661	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	NA	-0.01	0.08
WW	4657	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	NA	NA
CW	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NA	-0.01	0.00
<b>Asentamientos</b>	48221	-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-74	NO	NO	NO
SS	30242	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	53873	68344	-12469	-20267	NO	NO	NO
FS	550	-8	0	1215	0	1215	0	410	-410	0	1843	2429	-486	-8	NO	NO	NO
CS	1940	-23	0	1879	0	1879	0	0	0	0	17741	22176	-4435	-23	NO	NO	NO
GS	1451	-43	0	3335	0	3335	0	0	0	0	33000	41025	-8325	-43	NO	NO	NO
WS	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	114	-32	0	NO	NO	NO
<b>Otras tierras</b>	7383	-1	0	199	0	199	0	0	0	0	304	389	-78	-1	NO	NO	NO
OO	7288	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NO	NO	NO
FO	86	-1	0	199	0	199	0	0	0	0	304	389	-78	-1	NO	NO	NO
<b>TOTAL</b>	725072	3534	1125347	34397	1444	344541	713855	11485	2957	8508	1348564	1345337	55577	3438	0.00	-0.03	0.08

NA: no aplicable; NO: no ocurre.  
 La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas a forestales (pero sin especificar si se convierten a forestales o a pastos) y LF indica que son tierras convertidas a forestales (pero sin especificar si se convierten a forestales o a pastos).

Los resultados resumidos en la Tabla 3 se detallan en la Tabla 7 y Tabla 11, donde se observa que, en los inventarios del sector UTCUTS, las emisiones y fijaciones de GEI se obtuvieron fundamentalmente mediante la contabilización de entradas y salidas de carbono en cada categoría de uso de la tierra; en otras palabras, mediante un balance de carbono. Se contabilizaron otras emisiones más allá del balance de carbono (difusión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en tierras inundadas, emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de incendios y N<sub>2</sub>O derivado de mineralización del suelo), aunque estas otras emisiones resultaron ser poco significativas en comparación con las derivadas del balance de carbono.

Si, dentro del balance de carbono, se observa el orden de magnitud de los depósitos de carbono (biomasa, materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo) de la CAPV (Tabla 12), se deducen cuestiones importantes en relación a los resultados y a la metodología seguida en los inventarios, así como a los sumideros principales de la CAPV:

- El 72 y el 92% de las fijaciones, de los años 1990 y 2008, respectivamente, se contabilizaron en el depósito de la biomasa (aérea y subterránea) y el 25 y 7%, respectivamente, en el carbono orgánico del suelo.
- En las tierras forestales que permanecieron como tales, el 100% de las fijaciones se debieron a la biomasa. Es decir, se asumió que el carbono orgánico de suelos forestales y la materia orgánica muerta estaban en equilibrio y no variaban.
- En las conversiones relacionadas con las tierras forestales, generalmente, la biomasa fue el depósito de carbono más importante de cara a los inventarios. En las tierras que se convirtieron en tierras forestales (LF), entre el 5 y el 79% de las fijaciones ocurrieron en la biomasa. Mientras que en las tierras forestales que se convirtieron a otras categorías (FL), entre el 46 y el 71% de las emisiones tuvieron lugar en la biomasa. Esta amplia oscilación (entre 5-79% y 46-71%) dependió de qué proporción de la conversión tuvo lugar el año del inventario; recordemos que, siguiendo las directrices del IPCC, se consideró que todo el carbono de la biomasa se emitía el año de la conversión, pero que esa conversión debe mantenerse como conversión durante 20 años hasta alcanzar el equilibrio del carbono en suelos y materia orgánica muerta.
- En todos los cambios de uso que no implicaron tierras forestales (CG, CS, GS, etc.), la mayoría de los cambios de carbono del balance (entre el 61 y el 98%) procedieron del carbono orgánico del suelo. La única excepción fue la conversión de cultivos en humedales (CW), ya que los cambios asociados al carbono orgánico del suelo no fueron contabilizados en el “Balance de carbono”, sino en “Otras emisiones”.

Por tanto, aunque la biomasa viva de tierras forestales (o conversiones relacionadas con tierras forestales) puede tener relevancia en las emisiones y fijaciones de GEI, en las demás categorías de uso de la tierra, es el suelo el depósito que juega un papel más importante como fuente o sumidero de GEI. Además, para las tierras forestales que permanecen como tales, se desconoce la importancia de los suelos porque, para el Nivel 1 de cálculo de los inventarios de GEI, se asume que el carbono en suelo está en equilibrio y no varía.

Finalmente, hay que subrayar que tanto la biomasa forestal como los suelos merecen ser estudiados no sólo para mejorar su capacidad de absorción de carbono en calidad de sumideros, sino también para evitar que se conviertan en fuentes de emisión de GEI.

Tabla 12. Porcentaje de carbono en cada depósito (biomasa, materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo) implicado en el balance de carbono, en los años 1990 y 2008 en la CAPV.

		1990				2008				
		Biomasa	DOM	SOC	Balance de carbono	Biomasa	DOM	SOC	Balance de carbono	
CAPV	Tierras Forestales	90	3	7	100	98	1	1	100	
	FF	100	0	0	100	100	0	0	100	
	CF	49	13	38	100	5	2	93	100	
	GF	79	21	0	100	19	81	0	100	
	OF	-	-	-	-	8	39	53	100	
	Tierras de Cultivo	-	-	-	-	71	-1	31	100	
	CC	-	-	-	-	69	0	31	100	
	FC	-	-	-	-	46	17	37	100	
	Pastos	3	-1	98	100	-10	-4	114	100	
	GG	-	-	-	-	0	0	100	100	
	FG	70	30	0	100	71	29	0	100	
	CG	4	0	96	100	2	0	98	100	
	Humedales	100	0	0	100	-	-	-	-	
	WW	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CW	100	0	0	100	-	-	-	-	
	Asentamientos	39	0	61	100	32	2	66	100	
	SS	-	-	-	-	-	-	-	-	
	FS	-	-	-	-	58	19	23	100	
	CS	39	0	61	100	31	0	69	100	
	GS	-	-	-	-	29	0	71	100	
	WS	-	-	-	-	29	0	71	100	
	Otras tierras	-	-	-	-	58	19	22	100	
	OO	-	-	-	-	-	-	-	-	
	FO	-	-	-	-	58	19	22	100	
	<b>TOTAL</b>		<b>72</b>	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>100</b>	<b>92</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>100</b>

NA: no aplicable; NO: no ocurre.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que: F es tierra forestal; C, tierra de cultivo; G, pasto; S, asentamiento; W, humedal; O, otras tierras; L, cualquier categoría de tierra ("Land"). Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas en pastos y LF indica que son tierras convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión).

## **CAPÍTULO 3**

### **CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA DE TIERRAS FORESTALES DE LA CAPV**

### 3. CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA DE TIERRAS FORESTALES DE LA CAPV

Aunque no se calcularon las incertidumbres asociadas a los inventarios de GEI realizados para el sector UTCUTS de la CAPV, éstas se consideraron muy altas (ver el Anexo II). No obstante, los inventarios de los años 1990 y 2008 presentados en el capítulo 2, muestran la importancia de la biomasa forestal y de los suelos en general, en los balances de carbono sobre los que se fundamentaron dichos inventarios.

A nivel mundial, existen estimaciones de carbono de la biosfera terrestre que también muestran la importancia de estos dos depósitos (Tabla 13). De hecho, según Bolin *et al.* (2000), la cantidad de carbono presente en la biomasa forestal de climas templados es del orden de 57 Mg C ha<sup>-1</sup> (muy superior a los 7 y 2 Mg C ha<sup>-1</sup>, de los pastos y cultivos), mientras que es de unos 96 Mg C ha<sup>-1</sup> en los primeros 100 cm de suelo de esos mismos bosques y mucho mayor en los suelos de pastos (236 Mg C ha<sup>-1</sup>). No obstante, hay que tener en cuenta que las estimaciones a nivel mundial, como las de Bolin *et al.* (2000) o las del IPCC, deben tomarse como orientativas y adecuarlas a las características y condiciones locales con el fin de acercarlas a la realidad.

Tabla 13. Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y en los suelos hasta una profundidad de un metro (Bolin *et al.*, 2000).

Bioma	Área (10 <sup>9</sup> ha)	Cantidad de carbono presente			Calculados por unidad de superficie	
		(Pg C)			Mg C ha <sup>-1</sup>	
		Vegetación	Suelo	Total	Vegetación	Suelo
Bosques tropicales	1.76	212	216	428	120	123
Bosques templados	1.04	59	100	159	57	96
Bosques boreales	1.37	88	471	559	64	344
Sabanas tropicales	2.25	66	264	330	29	117
Herbazales templados	1.25	9	295	304	7	236
Desiertos y semidesiertos	4.55	8	191	199	2	42
Tundra	0.95	6	121	127	6	127
Humedales	0.35	15	225	240	43	643
Tierras de cultivo	1.60	3	128	131	2	80
<b>Total mundial</b>	<b>15.12</b>	<b>466</b>	<b>2011</b>	<b>2477</b>	<b>31</b>	<b>133</b>

Con el fin de estudiar en mayor profundidad, en particular, estos dos aspectos en la CAPV (biomasa forestal y carbono orgánico en suelos) que resultaron relevantes en la evolución de las emisiones y fijaciones de CO<sub>2</sub> atendiendo a los inventarios de GEI, se desarrollan este capítulo y el siguiente. En el presente capítulo, se reflexiona sobre la capacidad que podría tener la biomasa forestal de la CAPV como sumidero de CO<sub>2</sub>.

### 3.1. METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO DE LA BIOMASA FORESTAL

En las superficies de tierra forestal, que haya o no un incremento en el carbono absorbido por la biomasa depende de factores bióticos y abióticos. Entre los factores bióticos destaca el manejo o gestión que hacemos de los bosques (operaciones de desbroce, claras, talas, etc., maquinaria empleada, especies forestales elegidas, prevención y control de incendios, plagas y enfermedades, fertilización, gestión de otros servicios ofrecidos por los bosques – ganadería extensiva, caza, hongos y setas, actividades recreativas, turismo, etc.). No obstante, además de la gestión humana que atañe a las tierras forestales, las características propias de la vegetación (especies forestales, origen, selección, etc.) y los factores abióticos del entorno (clima, suelo, orografía, etc.) también limitan la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de la biomasa forestal; de modo que, para las condiciones particulares de la CAPV, la capacidad de crecimiento de la biomasa forestal no tiene un potencial ilimitado.

A pesar de ser conscientes de la complejidad que entraña determinar la capacidad de fijación de carbono en la biomasa de tierras forestales de la CAPV (productividad, distribución futura de especies, incidencia del cambio climático sobre las especies forestales y su rendimiento, precio de mercado de la madera, incendios forestales, etc.), en el presente apartado se ha tratado de llegar a una aproximación. Esta capacidad probablemente no sea la capacidad máxima o el potencial de fijación de carbono, pero sí que es una capacidad que cabría esperar de la biomasa forestal de la CAPV. Para ello, se ha partido de las tres asunciones o conceptos que se exponen a continuación.

#### 3.1.1. Primera asunción: tasas de crecimiento esperadas y turnos de corta

Las condiciones particulares del lugar inciden de forma significativa sobre la productividad forestal. En este sentido, se pueden mencionar algunos estudios sobre el *Pinus sylvestris* L., que es la conífera más ampliamente distribuida por el mundo, localizándose desde la costa de Noruega (70°N de latitud) hasta el sur de España (a 37°N) y llegando, desde 0° de longitud (España) hasta longitudes de 138°E (Siberia) (Magnani *et al.*, 2009). Gower *et al.* (1994), hallaron tasas de crecimiento aéreo que oscilaban entre 2.3 y 5.2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en plantaciones de *Pinus sylvestris* localizadas, en Rusia, a latitudes de 68°N y 54°N, respectivamente. En otro estudio que hacía una revisión de tasas de crecimiento anuales nacionales de *Pinus sylvestris* en Europa, encontraron valores que iban desde 2 hasta más de 18 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Christie and Lines, 1979). En cuanto a frondosas, ocurre lo mismo: por ejemplo, en la CAPV se esperan incrementos de 3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (www.basoa.org) para *Quercus robur*, mientras que estiman tasas de crecimiento de 5.5-7.1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en estudios de Croacia (Bezák *et al.*, 2007).

Para elaborar el presente apartado se recopilieron las tasas de crecimiento esperadas en la CAPV, así como los turnos de corta habituales, de acuerdo a las operaciones y prácticas de silvicultura habitualmente recomendadas, por ejemplo, por la Confederación de Forestalistas del País Vasco

([www.basoa.org](http://www.basoa.org)) que agrupa a las asociaciones forestales de los tres Territorios Históricos. Este tipo de información se complementó mediante la disponible en fuentes bibliográficas próximas geográficamente -en su mayor parte se han expuesto en el Anexo I, en los epígrafes dedicados a las tierras forestales- para llegar a las tasas de crecimiento esperado de la Tabla 14.

A la hora de convertir las tasas de crecimiento fustal en absorción de carbono, se utilizaron los valores del Anexo III (factores de expansión, densidad de la madera, contenido de carbono, relación entre biomasa subterránea y biomasa aérea).

Tabla 14. Resumen de prácticas selvícolas habitualmente recomendadas en la CAPV y la productividad esperada (Fuente: Confederación de Forestalistas del País Vasco. Elaboración propia).

Especies	Densidad (plantas/ha)	Limpieza	Poda de Formación	Desbroce y poda baja	Año de operación						Tala final	Rendimiento (m³/ha y año)
					1ª Clara y Poda alta	2ª Clara	3ª Clara	4ª Clara	5ª Clara	6ª Clara		
<i>Pinus nigra</i>	1600	Primeros 5 años	-	12	23	30	37	45	53	60	60	8
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1100-1600	Primeros 4 años	-	12	17	22	27	32	40	50	60	Hasta 15
<i>Larix Kaempferi</i>	1100-1600	Primeros 4 años	-	12	17	22	27	37	45	50-55	-	-
<i>Pinus radiata</i>	1600	Primeros 4 años	-	9	13	18	23	32	40	50	30-35	Media 12 (hasta 20)
<i>Pinus pinaster</i>	1600	Primeros 4 años	-	10	17	22	26	32	40	50	7	-
<i>Fagus sylvatica</i>	1600	Primeros 6 años	A partir del 4	9 y 12	25	40	55	70	85	100	120	4
<i>Quercus robur</i>	1110	Primeros 7 años	A partir del 3	12 y 15	30	45	60	75	100	150	3	-
<i>Quercus rubra</i>	1100	Primeros 4 años	A partir del 3	9 y 12	20	30	40	50	60	80	8	-
<i>Liriodendron tulipifera</i>	900	Primeros 4 años	A partir del 3	9 y 12	20	35	50	60	80	100	120	8

### 3.1.2. Segunda asunción: distribución de especies forestales

Las tasas de crecimiento varían en función de la especie, origen, etc. Además, después de los sucesivos episodios de deforestación de la CAPV, a lo largo del siglo XX se ha ido produciendo la recuperación paulatina de la cubierta arbórea; en algunos casos, la especie arbolada dominante no es la que pudiera considerarse como potencial según la serie de vegetación de que se trate, sino que pueden ser otras procedentes de plantación, especies de crecimiento rápido o medio (Basalde, 2009). No obstante, por simplificar los cálculos, las tasas de crecimiento esperado se estimaron para los mismos grupos de especies que se emplearon a la hora de elaborar los inventarios de GEI de los años 1990 y 2008, es decir, en muchos casos, las tasas de crecimiento no corresponden a una única especie sino a un grupo de ellas y tampoco corresponden necesariamente a la especie que crecería de forma natural.

Por otra parte, se partió de la distribución superficial de especies forestales del IF-2005, suponiendo que no había cambiado sustancialmente en los últimos años. Además, se empleó la misma superficie forestal total obtenida para el año 2008, con objeto de permitir comparar mejor los resultados de los distintos apartados del presente documento; por tanto, la aproximación a la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> por parte de la biomasa forestal correspondería más a la que podría haberse esperado en el año 2008 que a una prospección a futuro.

### 3.1.3. Tercera asunción: curva de crecimiento y sostenibilidad en el tiempo

Por razones de simplicidad de cálculo, se asumieron tasas de crecimiento de la biomasa forestal lineales, aun sabiendo que éstas suelen ser curvas de incrementos decrecientes (a medida que los árboles avanzan en edad, su crecimiento se ralentiza).

En la Figura 4 se observan curvas de crecimiento correspondientes a distintas especies extraídas de estudios realizados en la CAPV y Austria. Si nos centramos en el ejemplo de Austria (Pérez *et al.*, 2007), se observa que, a los 100 años de edad, las masas de *Pinus sylvestris* crecen 480 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, las de *Quercus robur* 390 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y las de *Picea abies* 640 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Por tanto, si sus turnos de corta fueran realmente de 100 años, asumiríamos una tasa de crecimiento lineal esperada de 4.8, 3.9 y 6.4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para el pino albar, el roble y la picea, respectivamente.

La biomasa forestal es un sumidero de carbono, no obstante, atendiendo a las curvas de crecimiento, se deduce que no es ilimitado ni en capacidad, ni en tiempo. Una masa boscosa de edad avanzada, posteriormente a su turno de corta, tiene una tasa de crecimiento mínima, prácticamente nula, de manera que llega a su máxima biomasa forestal. Además, para conservar estas máximas existencias de biomasa forestal debe haber una renovación de la misma.

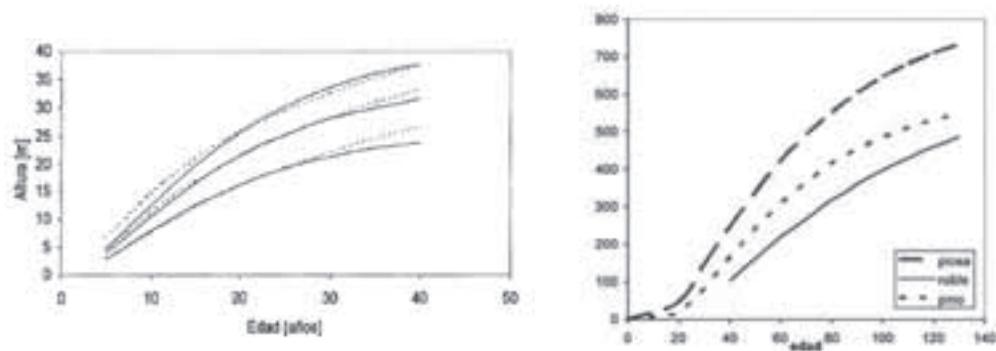


Figura 4. Curvas de crecimiento de distintas especies forestales. Izquierda: curvas de crecimiento de *Pinus radiata* de calidad I, II y III en el País Vasco, en función de la altura (líneas discontinuas de Espinel *et al.*, 1997; líneas continuas de Chauchard, 2000 –tomado de Chauchard, 2000). Derecha: modelos de curvas de crecimiento, expresadas en  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , de *Picea abies*, *Quercus robur* y *Pinus sylvestris* en Austria (Pérez *et al.*, 2007).

En el caso de masas forestales gestionadas con aprovechamiento maderero, también se llegaría a unas existencias máximas de biomasa y su gestión sostenible permitiría mantenerlas indefinidamente en el tiempo. Esta gestión sostenible debería tener en cuenta la distribución por edades de la masa forestal acorde con el turno de corta, de manera que:

- Se alcanzaría un momento de equilibrio, en el cual la pérdida de biomasa debida a una corta anual sería compensada por el crecimiento anual del resto de la masa forestal (en global, no habría incremento anual de la biomasa forestal).
- A partir del equilibrio, la biomasa forestal presente sería aproximadamente -suponiendo tasas de crecimiento lineales- la mitad de la biomasa presente en el momento que se alcanza el turno de corta.

Así mismo, se asume que las pérdidas de biomasa se reducen a las extracciones por cortas; sin considerar, incidencias de plagas, enfermedades, incendios, heladas, granizadas, etc. que se asumiría que quedan incluidas en las tasas de crecimiento esperado.

### **3.2. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO ESPERADA PARA LA BIOMASA FORESTAL**

Finalmente, se obtuvo que (Tabla 15), en condiciones de la CAPV, cabría esperar que el equilibrio de la biomasa forestal se alcanzara con una masa forestal de 83.3 millones de m<sup>3</sup> maderables (36147 Gg de carbono fijado = 94.6 Mg C ha<sup>-1</sup>). Sería una biomasa forestal en equilibrio porque presentaría un incremento anual de biomasa compensado por las pérdidas debidas a cortas (sin tener en cuenta los productos cosechados de la madera). Estas pérdidas o extracciones de madera serían del orden de 3.06 millones de m<sup>3</sup> maderables al año (1145 Gg C año<sup>-1</sup>), que constituirían un 3.67% del volumen forestal presente en equilibrio; estas pérdidas podrían deberse no sólo a talas, sino también a otras pérdidas de biomasa forestal causadas por incendios, plagas, enfermedades, granizadas, estrés hídrico, etc.

Éste sería el cuadro que podría esperarse en la CAPV, su capacidad esperada de producción maderera sostenible, sin llegar a su potencial máximo de fijación de carbono, presuponiendo la misma superficie forestal del año 2008 y también una distribución similar de especies forestales.

Tabla 15. Fijación esperada de carbono en condiciones de equilibrio de la biomasa forestal de la CAPV: fijación esperada para turnos de corta definidos (T), biomasa presente al cabo del turno de corta y de media (en el momento T/2), superficie estimada para el año 2008, extracciones de biomasa por cortas y existencias medias de biomasa forestal en equilibrio.

TT/H	Agrupación de especies	Fijación esperada en biomasa		Turno corta (T, años)	Biomasa presente (m³ VCC/ha)			Superficie			Cortas en equilibrio			Existencias en equilibrio		
		m³ VCC/ha y año	t C/ha y año		T	T/2	(ha)	ha/año	Miles m³ VCC/año	Gg C/año	Miles m³ VCC	Gg C				
	<i>Pinus nigra</i> y similares	8.8	3.37	55	484	242	5646	103	49.7	19.0	1366	523				
	<i>Pinus radiata</i> y similares	13	3.78	30	360	195	11575	386	150.5	43.7	2257	666				
	<i>Pinus sylvestris</i> y similares	7.1	2.70	60	426	213	16074	268	114.1	43.5	3424	1304				
	<i>Pinus halepensis</i> y similares	7.2	2.67	60	432	216	316	5	2.3	0.8	68	25				
<b>Araba</b>	<i>Quercus ilex</i> y similares	3.3	2.02	120	366	196	31284	261	103.2	63.2	6194	3791				
	<i>Fagus sylvatica</i> y similares	4	1.84	120	480	240	31740	265	127.0	58.4	7618	3603				
	<i>Quercus robur</i> y similares	4.5	2.41	120	540	270	10197	85	45.9	24.5	2753	1472				
	<i>Eucalyptus</i> spp.	17	8.47	20	340	170	172	9	2.9	1.5	29	15				
	<i>Quercus faginea</i> y similares	3	1.60	120	360	180	26016	217	78.0	41.7	4683	2503				
	<b>TOTAL</b>				<b>133920</b>	<b>1597</b>			<b>673.6</b>	<b>296.3</b>	<b>26393</b>	<b>13792</b>				
	<i>Pinus nigra</i> y similares	8.8	3.37	55	484	242	7064	128	62.2	23.8	1709	654				
	<i>Pinus radiata</i> y similares	13	3.78	30	360	195	73466	2449	955.1	277.6	14326	4165				
	<i>Pinus sylvestris</i> y similares	7.1	2.70	60	426	213	527	9	3.7	1.4	112	43				
	<i>Pinus halepensis</i> y similares	7.2	2.67	60	432	216	7	0	0.0	0.0	1	1				
<b>Biobiala</b>	<i>Quercus ilex</i> y similares	3.3	2.02	120	366	196	5735	48	18.9	11.6	1136	695				
	<i>Fagus sylvatica</i> y similares	4	1.84	120	480	240	5225	44	20.9	9.6	1254	577				
	<i>Quercus robur</i> y similares	4.5	2.41	120	540	270	24355	203	109.6	58.6	6576	3515				
	<i>Eucalyptus</i> spp.	17	8.47	20	340	170	12586	629	214.0	106.6	2140	1066				
	<i>Quercus faginea</i> y similares	3	1.60	120	360	180	542	5	1.6	0.9	98	52				
	<b>TOTAL</b>				<b>129507</b>	<b>3514</b>			<b>1388.0</b>	<b>490.1</b>	<b>27352</b>	<b>10787</b>				

VCC: volumen con corteza

Tabla 15. (CONTINUACIÓN) Fijación esperada de carbono en condiciones de equilibrio de la biomasa forestal de la CAPV: fijación potencial esperada para turnos de corta definidos (T), biomasa presente al cabo del turno de corta y de media (en el momento T/2), superficie estimada para el año 2008, extracciones de biomasa por cortas y existencias medias de biomasa forestal en equilibrio.

TTMH	Agrupación de especies	Fijación esperada en biomasa		Turno corta (T, años)	Biomasa presente (m³ VCC/ha)			Cortas en equilibrio			Existencias en equilibrio		
		m³ VCC/ha y año	t C/ha y año		T	T/2	Superficie (ha)	ha/año	Miles m³ VCC/año	Gg C/año	Miles m³ VCC	Gg C	
	<i>Pinus nigra</i> y similares	8.8	3.37	55	484	242	5946	103	49.7	19.0	1366	523	
	<i>Pinus radiata</i> y similares	13	3.78	30	360	195	11575	386	150.5	43.7	2257	666	
	<i>Pinus sylvestris</i> y similares	7.1	2.70	60	426	213	16074	268	114.1	43.5	3424	1304	
	<i>Pinus halepensis</i> y similares	7.2	2.67	60	432	216	316	5	2.3	0.8	68	25	
<b>Araba</b>	<i>Quercus ilex</i> y similares	3.3	2.02	120	396	198	31284	261	103.2	63.2	6194	3791	
	<i>Fagus sylvatica</i> y similares	4	1.84	120	480	240	31740	265	127.0	58.4	7618	3603	
	<i>Quercus robur</i> y similares	4.5	2.41	120	540	270	10197	85	45.9	24.5	2753	1472	
	<i>Eucalyptus</i> spp.	17	8.47	20	340	170	172	9	2.9	1.5	29	15	
	<i>Quercus faginea</i> y similares	3	1.60	120	360	180	26016	217	78.0	41.7	4683	2503	
	<b>TOTAL</b>				<b>133920</b>	<b>1597</b>			<b>673.6</b>	<b>296.3</b>	<b>26393</b>	<b>13792</b>	
	<i>Pinus nigra</i> y similares	8.8	3.37	55	484	242	7064	128	62.2	23.8	1709	654	
	<i>Pinus radiata</i> y similares	13	3.78	30	360	195	73466	2449	955.1	277.6	14326	4165	
	<i>Pinus sylvestris</i> y similares	7.1	2.70	60	426	213	527	9	3.7	1.4	112	43	
	<i>Pinus halepensis</i> y similares	7.2	2.67	60	432	216	7	0	0.0	0.0	1	1	
<b>Bizkaia</b>	<i>Quercus ilex</i> y similares	3.3	2.02	120	396	198	5735	48	18.9	11.6	1136	695	
	<i>Fagus sylvatica</i> y similares	4	1.84	120	480	240	5225	44	20.9	9.6	1254	577	
	<i>Quercus robur</i> y similares	4.5	2.41	120	540	270	24355	203	109.6	58.6	6576	3515	
	<i>Eucalyptus</i> spp.	17	8.47	20	340	170	12586	629	214.0	106.6	2140	1066	
	<i>Quercus faginea</i> y similares	3	1.60	120	360	180	542	5	1.6	0.9	98	52	
	<b>TOTAL</b>				<b>129507</b>	<b>3514</b>			<b>1388.0</b>	<b>490.1</b>	<b>27352</b>	<b>10787</b>	

VCC: volumen con corteza

### 3.3. DIFERENCIA ENTRE EL CARBONO FIJADO Y LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN ESPERADA DE LA BIOMASA FORESTAL DE LA CAPV

Según el IF-2005, en el año 2005 en la CAPV había una biomasa forestal presente de 54816506 m<sup>3</sup> maderables (MAGRAMA) (que equivaldrían a cerca de 23198 Gg C, incluyendo raíces, distribuidos en Araba, Bizkaia y Gipuzkoa en un 32.2, 31.4 y 36.4%, respectivamente), que constituyen el 65.8% de la biomasa forestal estimada como alcanzable (83292000 m<sup>3</sup> maderables). Por tanto, la biomasa forestal de la CAPV podría incrementarse en un 52.0%, respecto a la biomasa actual, de acuerdo a la capacidad productiva que se le presupone en el apartado anterior, siguiendo una gestión adecuada y ordenada. Esta capacidad de incrementar la fijación de CO<sub>2</sub> en la CAPV a través del crecimiento de la biomasa forestal se puede constatar al observar la evolución temporal creciente de los inventarios forestales (81, 112 y 138 m<sup>3</sup> VCC ha<sup>-1</sup> de existencias en el IF-1972, IF-1996 e IF-2005, respectivamente, en la CAPV). Sin embargo, dado el grado de parcelación, lo dilatado de los turnos de corta y el elevado porcentaje de propietarios privados de las tierras forestales de la CAPV, probablemente sería complicado llegar a alcanzar el 100% de su capacidad productiva.

Por otro lado, según la información estadística (EUSTAT), las cortas autorizadas han ido aumentando hasta llegar a un máximo en el año 1998, pero a partir de entonces han descendido de forma acusada, debido a la caída del precio de la madera (ver Figura 5 y Tabla 16). Así, en el año 1998, las cortas autorizadas constituyeron el 4.50% de las existencias aproximadamente (en el IF-1996 se constataban unas existencias de 43727142 m<sup>3</sup> VCC), mientras que en el año 2008 fueron de 0.98 millones de m<sup>3</sup>, es decir, del 1.78% respecto a las existencias de biomasa forestal. Esta baja proporción de cortas indica que la biomasa forestal de la CAPV está envejeciendo en los últimos años y, en consecuencia, es de esperar que su ritmo de crecimiento (recordemos las curvas de crecimientos decrecientes) haya bajado. Por otra parte, este rango del porcentaje de cortas (1.8-4.5%) coincide con el 3.7% estimado como adecuado en una situación hipotética de equilibrio (ganancias de biomasa = pérdidas de biomasa).

Tabla 16. Evolución de las cortas autorizadas en la CAPV, por grupos de especies.

Grupo de especies	Media de cortas autorizadas (miles de m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> ) por intervalos de tiempo				
	1988-2008	1988-1993	1994-1999	2000-2008	
Coníferas	<i>Pinus sylvestris</i> (albar)	10	21	9	4
	<i>Pinus nigra</i> (laricio)	18	14	20	20
	<i>Pinus radiata</i> (Monterrey)	1105	1089	1459	881
	Otras coníferas	53	48	56	54
	<b>TOTAL de Coníferas</b>	<b>1187</b>	<b>1171</b>	<b>1544</b>	<b>959</b>
Frondosas	Chopo	4	3	4	4
	Quercineas	14	11	10	18
	Eucalipto	50	21	36	79
	Otras frondosas	15	18	20	10
	<b>TOTAL de Frondosas</b>	<b>83</b>	<b>54</b>	<b>69</b>	<b>111</b>
<b>Total CAPV</b>	<b>1270</b>	<b>1225</b>	<b>1613</b>	<b>1071</b>	

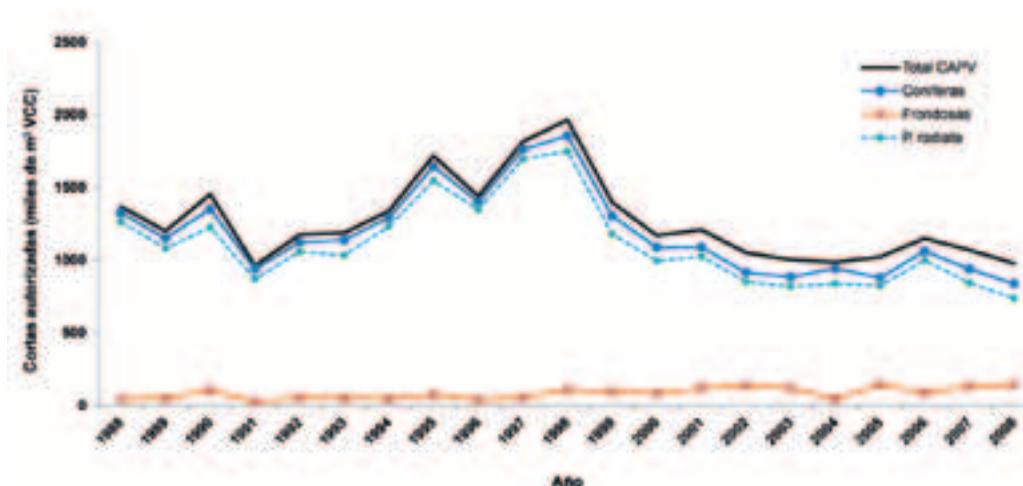


Figura 5. Evolución de las cortas autorizadas en la CAPV, por grupos de especies.

Finalmente, cabe mencionar que esa misma tendencia al aumento de la biomasa forestal de la CAPV se puede deducir de la comparación de las cortas con las repoblaciones. Sin embargo, en los datos estadísticos resulta difícil diferenciar si las repoblaciones se realizaron en tierras que ya eran forestales o en tierras dedicadas a otros usos (forestación o reforestación). Asumiendo que en el momento de la corta había  $350 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y  $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de biomasa en bosques de coníferas y frondosas, respectivamente, resulta que se cortaron 3611 ha anualmente en el período 1992-2008; frente a unas 3941 ha anuales que fueron repoblándose (Tabla 17) en el mismo período de tiempo.

Tabla 17. Evolución de las repoblaciones forestales en la CAPV (Fuente: Anuarios de Estadística Agroalimentaria de los años 2007, 2008 y 2009 y Servicio de Estadística y Análisis Sectorial de la Dirección de Agricultura del Gobierno Vasco).

Año	Repoblaciones en la CAPV (ha)
1992	5742
1993	5044
1994	3559
1995	2276
1996	5785
1997	4673
1998	4918
1999	5215
2000	7182
2001	8425
2002	4186
2003	2136
2004	1676
2005	2498
2006	1824
2007	1202
2008	651
<b>Media</b>	<b>3941</b>
<b>Mediana</b>	<b>4186</b>

## **CAPÍTULO 4**

### **CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DE LOS SUELOS DE LA CAPV**

## 4. CAPACIDAD DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DE LOS SUELOS DE LA CAPV

Dentro del ciclo de carbono, los suelos contienen una proporción significativa de carbono, en general, aproximadamente 1500 Pg C (recordemos que  $1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g} = 1 \text{ Gt} = 10^9 \text{ t}$ ). Se estima que en los primeros 30 cm del suelo de los sistemas terrestres no tropicales se encuentran unas reservas globales de entre 483-511 Pg de carbono orgánico llegando a valores de entre 1760 y 1816 Pg en los 2 metros más superficiales de estos suelos (Batjes, 1996).

Además, los suelos pueden actuar como fuente o como sumidero de  $\text{CO}_2$  atmosférico. La acumulación de materia orgánica del suelo –que contiene un 58% de C- ocurre como resultado de las interacciones entre la biota (p.e. autótrofos y heterótrofos) y factores ambientales (p.e. temperatura y humedad). Los ensayos a largo plazo demuestran que las pérdidas de carbono de los suelos por oxidación y erosión pueden reducirse o incluso invertirse mediante prácticas de manejo el suelo que minimicen la alteración del suelo y optimicen la productividad del cultivo mediante la fertilización (Post *et al.*, 2001).

A efectos de inventarios de GEI para la UNFCCC de la CAPV (capítulo 2), el stock de carbono presente en los suelos se determinó, multiplicando una cantidad de carbono orgánico en suelo (SOC) de referencia para cada tipo de suelo y clima por factores de mayoración o minoración que el IPCC establece por defecto (ver Anexo IV).

Por una parte, en cuanto al SOC, los suelos de toda la CAPV se clasificaron como suelos minerales con arcillas de alta actividad. Es decir, como suelos entre ligera y moderadamente erosionados con predominio de silicatos de tipo 2:1, por lo que les correspondería un contenido en SOC de 88 y 38 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para zonas localizadas en clima templado húmedo y templado seco. Este tipo de arcilla es típico de suelos jóvenes y/o de suelos de zonas en clima seco. Dadas las características climáticas de gran parte de la CAPV, la evolución de los suelos de la CAPV, a largo plazo, tenderá al predominio de arcillas de poca actividad (1:1). Asimismo, cabe mencionar que, aun con predominio de arcillas 2:1, en suelos ácidos, éstas se encuentran frecuentemente hidroxiladas, con aluminio en la intercapa, lo que les confiere una menor actividad que la inicialmente esperada.

Por otra parte, en cuanto a factores de mayoración/minoración, todos ellos, se basaron en valores por defecto del IPCC aplicados a juicio de experto, que daban como resultado las cantidades de carbono orgánico en suelo que se indican en la Tabla 18 (ver Anexo I).

Es por todo ello, que creemos importante buscar a lo largo de este capítulo, la capacidad real y potencial de fijar carbono de los suelos localizados en la CAPV, a partir de datos locales.

Tabla 18. Cantidad de carbono orgánico estimada para los 30 cm superiores de suelo en la CAPV utilizando el método por defecto propuesto por el IPCC (2006), en función del uso del suelo, el clima y las prácticas de manejo habituales de la CAPV.

	Carbono orgánico en suelo (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Templado húmedo	Templado seco (Rioja Alavesa)
Tierras Forestales	88	38
Prados y Praderas	100	43
Matorrales u otras superficies para pasto	88	38
Cultivos herbáceos	56	29
Frutales y viñedos	112	36
Olivares	-	37

#### **4.1. POTENCIAL DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS FORESTALES DE LA VERTIENTE ATLÁNTICA DE LA CAPV: MODELOS DE DINÁMICA**

Lo habitual es que el contenido de carbono orgánico de los suelos (SOC) forestales minerales (hasta 1 m de profundidad) varíe entre 20 y más de 300 t de C ha<sup>-1</sup> según el tipo de bosques y las condiciones climáticas (Jobbágy and Jackson, 2000). A nivel mundial, los suelos forestales minerales contienen aproximadamente 700 Pg C (Dixon *et al.*, 1994), aunque los depósitos de carbono orgánico no son estáticos debido a las diferencias entre las entradas y las salidas de carbono ocurridas a través del tiempo. En gran parte, las entradas están determinadas por la productividad forestal, la descomposición de la hojarasca y su incorporación al suelo mineral, mientras que las salidas dependen de la pérdida producida por la mineralización/respiración (Pregitzer, 2003). Hay otras pérdidas de SOC que se producen por la erosión o por la disolución de carbono orgánico que se lixivia a las aguas subterráneas o se pierde por el flujo por escorrentía. Una gran proporción de las entradas procede de la hojarasca aérea de los suelos forestales por lo que la materia orgánica del suelo tiende a concentrarse en los horizontes superiores del suelo, con aproximadamente la mitad del SOC en la capa superior de 30 cm. A menudo, el carbono contenido en el perfil superior es el más descomponible químicamente y el de más exposición directa a perturbaciones naturales y antropogénicas (IPCC, 2006).

Los bosques de los climas templados actúan actualmente como sumideros de carbono, ya que absorben más carbono de la atmósfera mediante fotosíntesis que el que emiten mediante la respiración. Sin embargo, en un escenario de cambio climático, la dinámica del carbono se puede ver alterada y los bosques pueden empezar a respirar más de lo que absorben y en ese momento pasarían a ser emisores de CO<sub>2</sub>, retroalimentando el calentamiento global.

Además, la gestión antrópica puede ejercer una influencia importante en la actuación como fuente/sumidero de los bosques. Aunque en los inventarios de GEI de la CAPV del capítulo 2 se consideró -de acuerdo a las directrices del IPCC- que en tierras forestales que permanecían como tales el SOC estaba en equilibrio, la tala, cosecha y preparación del terreno en sistemas forestales tienen un fuerte impacto sobre el contenido de carbono que presentan. Al eliminar la cobertura forestal, aumenta la temperatura del suelo y se reduce la interceptación de la precipitación; con lo que los factores que influyen de manera directa en la mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo aumentan, acelerando su descomposición (Vitousek and Matson, 1985). Además, la utilización inapropiada de maquinaria pesada durante estas labores puede eliminar la totalidad del mantillo del suelo (Gartzia-Bengoetxea *et al.*, 2009b). El tráfico de maquinaria por la parcela, desestructura el suelo exponiendo la fracción de la MO protegida físicamente al ataque de los microorganismos que lo descomponen (Ashagrie *et al.*, 2007). Cuando el rodal va creciendo, aumentan los aportes de MO al suelo y también la cantidad de carbono (Gartzia-Bengoetxea *et al.*, 2011). Por tanto, el tiempo transcurrido desde la cosecha hasta la consecución de un rodal adulto debe ser un parámetro a tener en cuenta para comprender las existencias de carbono en los suelos de las masas forestales gestionadas de manera intensiva.

Por eso, es en este momento cuando se manifiesta en la comunidad científica la necesidad de generar conocimiento sobre la dinámica del carbono en ecosistemas terrestres y más en concreto, sobre la estructura y dinámica del carbono del suelo, ya que los suelos, son el principal depósito de carbono orgánico de la biosfera, pueden actuar como fuente o sumidero de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y la corteza terrestre y la gestión antrópica puede afectar dicha actuación.

En este apartado se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- Estimar la capacidad predeterminada de los suelos, es decir, la cantidad de carbono que los suelos pueden almacenar en la fracción de minerales de arcilla y limos.
- Determinar el contenido actual de carbono en los primeros 25 cm de los suelos forestales de la zona atlántica de la CAPV.
- Aproximarnos al potencial de secuestro de carbono de dichos suelos.

#### 4.1.1. Fundamentos de los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo

Para comprender los objetivos mencionados, antes debemos entender el fundamento de los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo (MOS). La mayoría de los modelos de dinámica representan la MOS como un conjunto heterogéneo de sustancias orgánicas con tres reservorios que difieren en su velocidad intrínseca de descomposición (Figura 6). Algunos de ellos asumen la linealidad entre los aportes de carbono y el stock de carbono en el suelo en equilibrio, sugiriendo que este stock puede incrementar sin límite mientras haya aporte de carbono. Sin embargo, algunos suelos que se encuentran en equilibrio presentan un incremento nulo o casi nulo aunque haya aporte de carbono, concluyendo, que los suelos tienen un límite de saturación, es decir, tienen una capacidad limitada de estabilizar carbono (Stewart *et al.*, 2007; Six *et al.*, 2002).

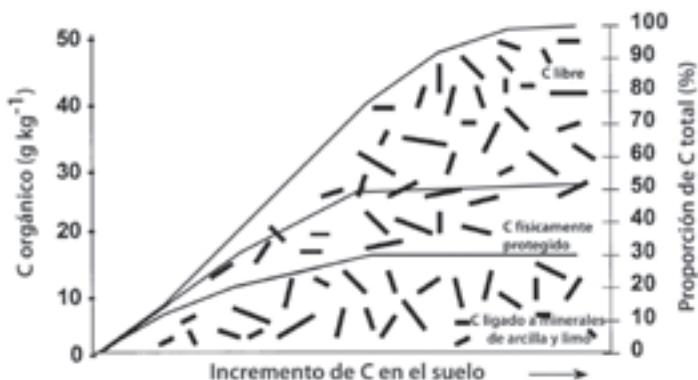


Figura 6. Modelo conceptual del contenido de la materia orgánica del suelo y su proporción en los diferentes reservorios para suelos forestales templados. Adaptado de Carter (2002) y John *et al.* (2005).

El límite de saturación de carbono de un suelo se define como la máxima capacidad de un suelo de estabilizar carbono. Dicha capacidad de estabilizar carbono del suelo, viene dada por 3 reservorios capaces de saturación. Estos 3 reservorios son los siguientes (Figura 6):

**a) MOS no-prottegida o libre (pool activo).**

Esta fracción de la MOS representa el reservorio más fácilmente mineralizable, pudiendo ser metabolizado en un tiempo relativamente breve: de unos pocos meses a pocos años. Este reservorio es la mayor fuente de nutrientes, fácilmente accesible para los microorganismos.

**b) MOS físicamente protegida.**

A medida que la materia orgánica libre se descompone e interacciona con los componentes minerales del suelo, ésta queda protegida por oclusión en el interior de los agregados (o unidades estructurales) recién formados (Tisdall and Oades, 1982). La MOS físicamente protegida o agregada regula la infiltración de aire y agua y la estabilidad del suelo por lo que puede ser un indicador de permeabilidad y erosionabilidad (Feller and Beare, 1997).

**c) MOS ligada a minerales de arcilla y limos (o capacidad predeterminada).**

Los minerales de arcilla y limo tienen la capacidad de formar complejos organo-minerales muy estables (> 100 años de duración en el suelo) gracias a uniones de los grupos aniónicos y/o catiónicos de la MO con los compuestos minerales procedentes de la roca original. Esta capacidad estabilizadora del suelo viene, por tanto, predeterminada por la cantidad de arcilla y limo de ese suelo, que depende a su vez, en gran medida y en suelos jóvenes como los de la CAPV, de la litología original. Esta fracción supone alrededor del 30% de la MOS de la mayoría de los suelos (Figura 6).

#### **4.1.2. Metodología: capacidad predeterminada de almacenar carbono, potencial de secuestro de carbono y existencias de carbono presentes**

##### **4.1.2.1. Capacidad predeterminada y potencial de secuestro**

Teniendo en cuenta que la capacidad predeterminada de almacenar carbono es del orden del 30% de la MOS en la mayoría de los suelos, que la capacidad predeterminada depende del contenido de arcillas y limos y que, a su vez, la cantidad de arcillas y limos depende en gran medida –especialmente, en suelos jóvenes, como los de la CAPV- de la litología subyacente, se procedió a estudiar el mapa litológico de la CAPV.

El mapa litológico de la CAPV es un resumen del mapa geológico a escala 1:25000 realizado por el EVE (Ente Vasco de la Energía) en 1999 en el que se agrupaban las clases geológicas según sus características fisicoquímicas (Gobierno Vasco, 2011). A pesar de esta agrupación, el mapa litológico presenta 200 grupos diferentes. Esta gran cantidad de información hace de este mapa una herramienta poco útil como base de las propuestas de gestión.

Por ello, se resumió la información del mapa litológico uniendo los grupos presentes mediante algoritmos matemáticos en base a las analíticas de muestras de suelo para obtener un mapa útil como base de propuestas de gestión. De esta manera, se realizaron 10 grupos homogéneos (*clusters*) utilizando las analíticas de 1180 muestras forestales de suelo (0-25 cm) analizadas entre los años 2005 y 2010 (más detalles en el Anexo IV).

Estas muestras de suelo localizadas en Bizkaia y en la vertiente cantábrica de Araba, por su localización y por las especies forestales que sustentaban, se considera que representan adecuadamente a las masas forestales de la zona atlántica de la CAPV.

Una vez abreviado el mapa litológico a 10 “*clusters*” o categorías litológicas, se asignó a cada *cluster* el nombre de la litología más abundante en él y que mejor representaba las características de textura (Figura 7). En función de esta textura (contenido medio de arcillas y limos), se pudo calcular para cada *cluster* la capacidad estabilizadora de carbono en la fracción mineral (capacidad predeterminada) mediante un modelo desarrollado por Six *et al.* (2002).

Posteriormente, el porcentaje sobre el potencial de secuestro de carbono se estimó, en base a que, según los modelos de dinámica de MOS, la capacidad predeterminada de un suelo en función de su contenido en arcillas y limos supone el 30% del potencial de secuestro aproximadamente.

#### **4.1.2.2. Existencias de carbono presentes**

Las 1180 muestras utilizadas para estimar la capacidad predeterminada de almacenar carbono en suelos forestales, también se emplearon para determinar el carbono orgánico de suelos que sustentaban 3 especies forestales productivas de la vertiente atlántica de la CAPV: *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata* y *Pseudotsuga menziesii*. Debido a que en Bizkaia se está intensificando el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus nitens* en antiguos rodales de *Pinus radiata*, las parcelas en las que se estableció esta especie se consideraron pertenecientes a las de pino.

Por otro lado, se utilizaron otras 48 muestras de suelo de la red BASONET para caracterizar los suelos de las parcelas sobre las que se asentaba *Fagus sylvatica*.

Las masas de pinos, eucaliptos y abeto Douglas, se diferenciaron en repoblado, monte bravo, latizal y fustal según Cantero *et al.* (1995). Todas las masas de haya se consideraron juntas sin diferenciación de estado de masa.

Las existencias de carbono del suelo por hectárea se calcularon multiplicando la concentración de carbono orgánico total de las 1228 muestras analizadas, por su densidad aparente y la profundidad muestreada (25 cm).

Una vez determinado el stock de carbono de las muestras analizadas y clasificadas según su estado de masa, se utilizó el Inventario Forestal Nacional de 2005 (IF-2005) para poder distribuir geográficamente los valores de materia orgánica a toda la zona de estudio.

### 4.1.3. Resultados: capacidad predeterminada de almacenar carbono, potencial de secuestro de carbono y existencias de carbono presentes

#### 4.1.3.1. Capacidad predeterminada de almacenar carbono en suelos forestales de la vertiente atlántica y potencial de secuestro

Las litologías que por su textura presentan menor capacidad predeterminada son las de texturas menos pesadas o arenosas (areniscas de grano grueso, medio y fino) (Figura 7), ya que la capacidad de estos suelos para que se produzca una complejación de la MO es muy inferior a los suelos ricos en minerales de arcilla y limos (Jenkinson, 1988; Amato and Ladd, 1992; Hassink, 1994). Como resultado, en los sistemas de suelo que tienen arcillas de baja actividad o suelos arenosos, la productividad del sitio depende en gran medida de la eficacia de los ciclos de nutrientes resultantes de la descomposición de MO (Vitousek, 1984; Macedo *et al.*, 2008). El agotamiento de MOS conduce a la degradación del suelo, ya que una menor capacidad de retención de nutrientes amenaza la productividad del sistema (Lemenih *et al.*, 2005). Aunque estos suelos arenosos ocupaban menos del 4% de la superficie de la zona de estudio, deberían adoptarse técnicas de conservación del suelo y políticas más restrictivas para la sostenibilidad de estos suelos con baja capacidad predeterminada.

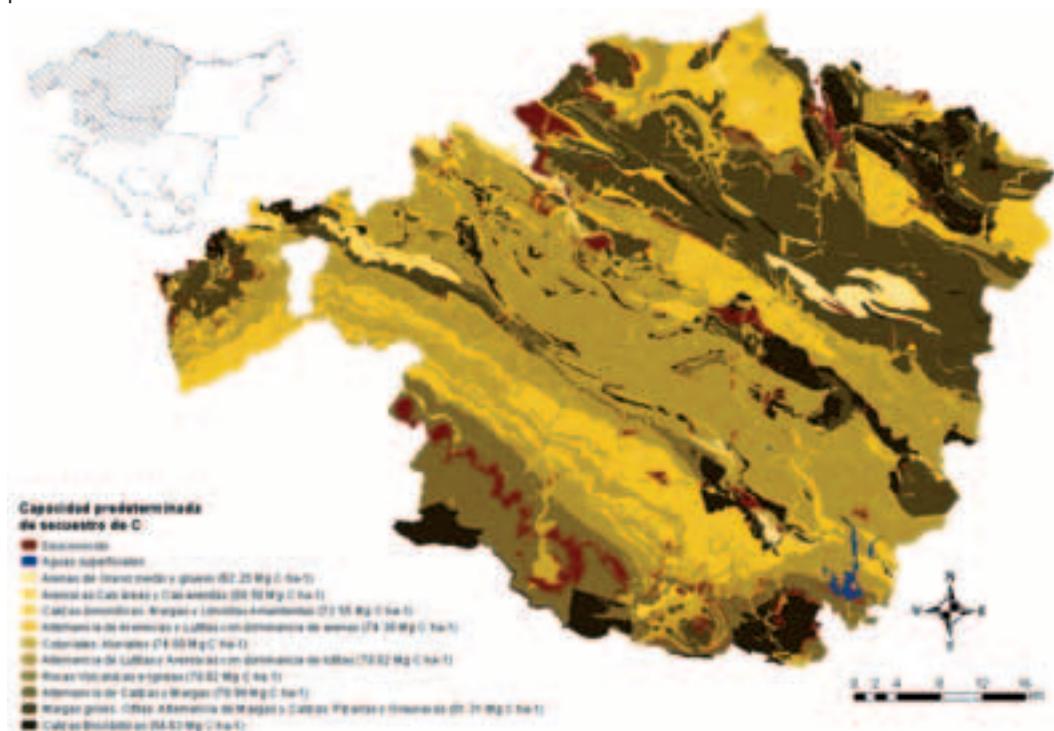


Figura 7. Clasificación litológica resumida en 10 *clusters* y su capacidad predeterminada en la zona estudiada de la vertiente atlántica de la CAPV.

Al contrario, las clases litológicas con la capacidad predeterminada más alta se identifican con margo-calizas y lutitas, ya que, por la intemperización de la roca original, tienen una textura más

fina, que incrementa su capacidad de complejación de carbono. Las litologías con texturas más finas ocupaban más del 60% de la superficie forestal estudiada.

El eucalipto y el pino radiata comparten su distribución sobre las siguientes clases litológicas: Alternancias de areniscas y lutitas con dominancia de arenas, Alternancias de areniscas y lutitas con dominancia de lutitas y el grupo de margas grises, ofitas, alternancia de margas y calizas y pizarras (Tabla 19). La capacidad predeterminada de estas litologías es de 74.4, 78.8 y 81.3 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El abeto Douglas se distribuye principalmente sobre las alternancias de areniscas y lutitas y el haya se distribuye sobre 3 litologías sin una dominancia clara.

Independientemente de la litología sobre la que se asientan, los suelos bajo rodales de abeto Douglas y haya presentan, en general, contenidos de carbono orgánico en suelo superiores a la capacidad predeterminada. El hecho de que los suelos bajo estas dos especies presenten valores superiores a la capacidad predeterminada puede deberse a:

- (i) que estas masas están en cotas elevadas de altitud caracterizadas por una menor temperatura media anual y en los que, por lo tanto, la descomposición de la MOS es más lenta (Kirschbaum, 2000); o a que
- (ii) la gestión de dichas masas con turnos de corta más largos tenga como consecuencia un mayor stock de carbono en el suelo.

Sin embargo, los suelos bajo estas dos formaciones que presentan los mayores contenidos medios de carbono, siguen estando por debajo de su potencial de secuestro, tal y como se comentará más adelante.

**Tabla 19. Capacidad predeterminada de almacenar carbono orgánico y potencial de secuestro de los suelos de la zona de estudio, la superficie que ocupa cada una y la superficie relativa que ocupan en cada tipo de suelo el eucalipto, el pino radiata, el abeto Douglas y el haya.**

Clase litológica	Superficie (%)	Capacidad predeterminada (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Potencial de secuestro (Mg C ha <sup>-1</sup> )	<i>E. globulus</i>	<i>P. radiata</i>	<i>P. menziesii</i>	<i>F. sylvatica</i>
Arenas de Grano medio y grueso	2.4	62.25	208	1%	2%	4%	2%
Areniscas Calcáreas y Calcarenitias	3.0	68.58	229	3%	2%	2%	1%
Calizas dolomíticas.	9.6	72.55	242	0%	0%	0%	1%
Margas y Limolitas Amarillentas							
Alternancia de Areniscas y Lutitas con dominancia de arenas	11.8	74.38	248	41%	21%	35%	29%
Coluviales. Aluviales	6.3	74.80	249	5%	3%	2%	1%
Alternancia de Lutitas y Areniscas con dominancia de lutitas	18.4	78.82	263	25%	39%	43%	30%
Rocas Volcánicas e Ígneas	1.2	78.92	263	1%	1%	0%	0%
Alternancia de Calizas y Margas	9.2	79.98	267	0%	2%	1%	12%
Margas grises. Ofitas.							
Alternancia de Margas y Calizas. Pizarras y Grauvacas	18.5	81.31	271	22%	24%	9%	2%
Calizas Bioclásticas. Calizas Urganianas. Dolomías	12.5	84.63	282	3%	5%	2%	22%
Desconocido	7.0						

#### 4.1.3.2. Existencias de carbono presentes en relación a la capacidad predeterminada de almacenar carbono y al potencial de secuestro de carbono

En la Tabla 20 se muestran los contenidos reales de carbono de los suelos analizados, así como su proporción en comparación con la capacidad predeterminada (dependiente de su contenido en arcillas y limos) y con el potencial de secuestro de carbono (asumiendo que la capacidad predeterminada constituye el 30% del potencial de secuestro).

El contenido de carbono orgánico (SOC) de las parcelas estudiadas varió entre 57.6 y 100.3 Mg C ha<sup>-1</sup> en los primeros 25 cm del suelo. En un informe publicado por la Comisión Europea (Hiederer *et al.*, 2011) se presenta el SOC de los primeros 20 cm del suelo de las parcelas europeas de primer nivel; estos valores se encuentran entre 50-100 Mg C ha<sup>-1</sup>, que concuerdan con los contenidos de carbono de las parcelas monitorizadas en la CAPV.

**Tabla 20. Contenido total de carbono en suelo (0-25 cm) de las especies forestales estudiadas (error estándar entre paréntesis), junto con el número de muestras (n), según su estado de masa (Cantero *et al.*, 1995); el porcentaje de rodales con contenido de carbono analizado inferior a la capacidad predeterminada del suelo y el porcentaje que supone el contenido de carbono analizado sobre el potencial de secuestro de carbono.**

Especie	Estado de la masa	n	Carbono en suelo (Mg C ha <sup>-1</sup> )	% rodales por debajo de la capacidad predeterminada	% sobre el potencial de secuestro
Eucalyptus globulus	Latizal	16	68.36 (18.84)	88	45
	Repoblado	8	72.93 (18.42)	63	50
Pinus radiata	Fustal	377	72.17 (21.82)	76	50
	Latizal	139	69.61 (24.92)	79	47
	Monte bravo	216	69.44 (19.31)	82	46
	Repoblado	373	64.06 (21.19)	86	42
Pseudotsuga menziesii	Fustal	4	59.55 (31.98)	75	
	Latizal	2	84.63 (38.03)		
	Monte bravo	23	84.17 (22.86)	52	63
	Repoblado	22	94.93 (41.00)	50	64
Fagus sylvatica		48	75.17 (30.03)	46	66

Los contenidos de carbono analizados en el presente estudio están lejos del potencial de secuestro de carbono (Tabla 20). Es más, muchas de las parcelas estudiadas ni siquiera llegan a la capacidad predeterminada de estabilización de carbono. Esto puede ser consecuencia de una gestión histórica intensa de las masas forestales y sus suelos en la CAPV que ha tenido como resultado unas bajas existencias de carbono en ellos; p.e. una gestión previa a la Revolución Industrial que no garantizó la persistencia forestal, unido al brote de enfermedades forestales, y el uso abusivo

de otros productos del bosque (leñas, carbón, mantillo y arbustos como cama para el ganado, etc.), entre otros factores, tuvieron como consecuencia que los montes vascos a mediados del siglo XIX se presentaran deforestados. Sin embargo y a tenor de los resultados aquí expuestos, no parece que la gestión silvícola moderna haya conseguido revertir la situación todavía.

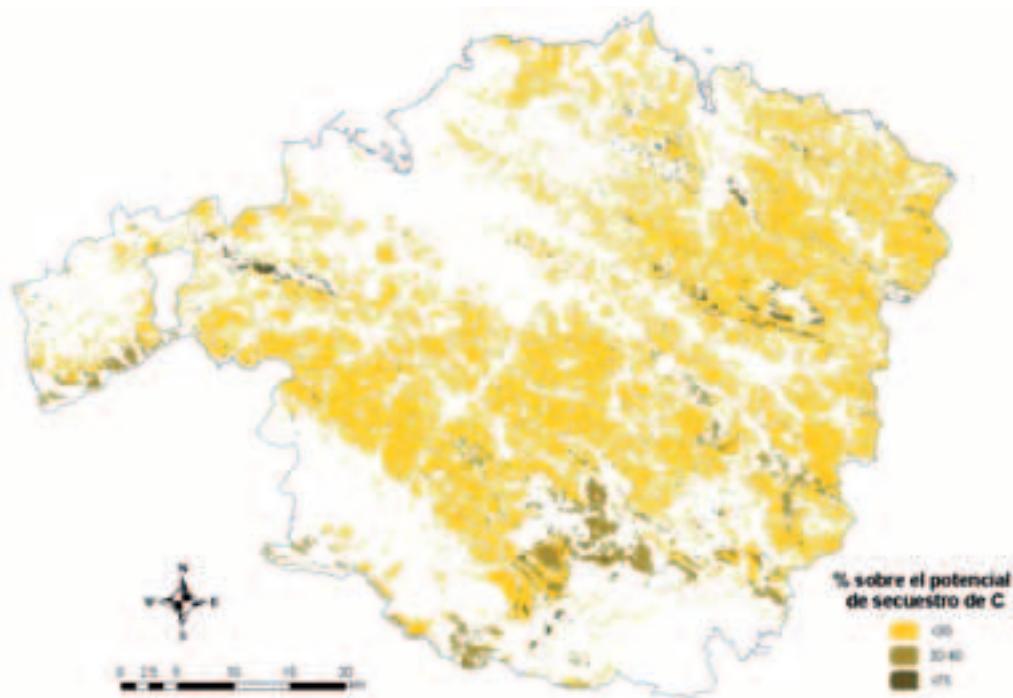
El objetivo básico y tradicional de la gestión forestal en la CAPV ha sido maximizar la rentabilidad económica sin poner en peligro la persistencia de la masa. Es cierto que solo recientemente se ha considerado que la fijación de carbono por las masas forestales podría ser otro objetivo de gestión a desarrollar en conjunto con el primero. Parece, por tanto, que el mantenimiento de las existencias de carbono en el suelo también debería plantearse como objetivo de gestión de las masas forestales. Un uso racional y adecuado de maquinaria adaptada a la orografía vasca durante las labores de cosecha, desembosque y preparación del terreno es un paso fundamental para conseguir este objetivo. Por otro lado, hay que incluir el aspecto de la mejora de las existencias de SOC cuando se proponen medidas de gestión encaminadas al aprovechamiento energético de los restos de corta.

Todos los rodales de eucalipto presentaron contenidos de carbono de cerca de 70 Mg C ha<sup>-1</sup>, sin que el estado de masa influyera en el contenido SOC, presentando valores inferiores al 50% de la capacidad potencial de secuestro de carbono (Tabla 20; Figura 8). De esta manera, son las parcelas que mayor potencial de mejora presentan en cuanto a secuestro de carbono. La adopción de técnicas silvícolas de conservación de suelo y de mejora de las existencias de carbono en el mismo, deberían reflejar un incremento significativo de carbono a corto y medio plazo.

Los rodales en estado de repoblado de pino radiata presentaron un contenido de 64 Mg C ha<sup>-1</sup> que es significativamente inferior al que presentaron los rodales de monte bravo, latizal y fustal (69.4, 69.6 y 72.2 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente) (Tabla 20). Esto refleja el impacto que tienen las labores de cosecha, desembosque y preparación del terreno en las existencias de SOC. También se observó que los suelos bajo pinares de monte bravo estaban al 74% de la capacidad predeterminada de estabilización de carbono y que los pinares en estado repoblado, latizal y fustal estaban alrededor del 90%. Sin embargo, esto supone un 50% del potencial de secuestro de carbono para los pinares adultos (Figura 8), oscilando entre el 42 y 50% (un 8% de oscilación) durante el periodo de rotación, lo que subraya aun más la importancia de adoptar técnicas de conservación del suelo.

Para validar los resultados de este estudio, se evaluó la relación entre el contenido de carbono en la parte aérea de la biomasa y los suelos de los pinares. La literatura científica asume que la proporción suelo:planta de las reservas de carbono de los bosques en Europa es 2.81 para una profundidad de suelo de 1 metro. Así mismo, se considera que el porcentaje de SOC en suelo de los primeros 20 cm (en relación con el primer metro) supone alrededor del 50% en los bosques templados (p.e. Dixon *et al.*, 1994; Goodale *et al.*, 2002; Johnson and Curtis, 2001). Para evaluar la relación de contenido de carbono en la parte aérea y subterránea (25 cm de suelo) en los rodales de pino radiata adultos se estudiaron los datos presentados por Latorre (2003). En este trabajo se aplicaron las ecuaciones alométricas desarrolladas por Merino *et al.* (2003) a las parcelas de pino radiata de la red BASONET y se concluía que los pinares adultos de la red BASONET presentaban de media 91.2 Mg C ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea (Latorre, 2003). Por tanto, los mismos suelos deberían tener de media 128 Mg C ha<sup>-1</sup> en los primeros 20 cm del perfil del suelo. Sin embargo, las 50

parcelas adultas de pino radiata de la red BASONET presentaban una contenido medio de 65 Mg C ha<sup>-1</sup> suponiendo el 51% del potencial de secuestro. Este resultado es idéntico al obtenido en el presente trabajo siguiendo el modelo conceptual basado en la capacidad predeterminada de los suelos.



**Figura 8.** Estado actual de las 4 especies forestales estudiadas (*Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*, *Pseudotsuga menziesii* y *Fagus sylvatica*) sobre el potencial de secuestro de carbono de los primeros 25 cm del suelo.

A escala de paisaje, casi toda la superficie forestal estudiada se encuentra por debajo del 60% del potencial de secuestro de carbono de sus suelos (Figura 8). Las zonas forestales que más SOC tienen son los hayedos de Karrantza y Araba. No obstante, estas masas todavía se encuentran muy por debajo de su potencial de secuestro de carbono. Más de la mitad de la superficie de la CAPV (53-55%) está ocupada por bosques, por tanto podrían contener grandes cantidades de carbono en los suelos. Sin embargo, sólo el 5% de los sistemas forestales estudiados en la vertiente atlántica están cerca del límite de saturación. Por lo tanto, la gestión forestal tiene una potencialidad muy significativa en la CAPV. Una gestión forestal adecuada puede promover el secuestro de carbono en los suelos forestales. Al igual que sucede en otros países, se deberían incentivar los cambios adoptados en la gestión forestal para incrementar las existencias de carbono en los suelos para, de este modo, reforzar este aspecto de la gestión.

No obstante, las tasas de secuestro de carbono de los suelos forestales han de ser monitorizables y cuantificables de manera objetiva, no sólo de acuerdo con el artículo 3.4 del Protocolo de Kioto y con las directrices del IPCC, sino también para evaluar de manera objetiva el efecto de los cambios antrópicos en la gestión forestal y poder establecer cualquier tipo de incentivo asociado a estas prácticas de gestión forestal.

## 4.2. APROXIMACIÓN A LA FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DE LA CAPV: ANÁLISIS DE SUELOS

### 4.2.1. Introducción y objetivos

La aplicación de los modelos conceptuales de contenido de materia orgánica del suelo (MOS) se estudió para las tierras forestales de la vertiente atlántica; lamentablemente, su aplicación a otros usos de la tierra todavía no se ha podido estudiar debido a la insuficiencia de tiempo e información.

Sin embargo, teniendo en cuenta los numerosos datos disponibles en NEIKER-Tecnalia sobre los contenidos de materia orgánica (MO) en suelo, en el presente apartado, se ha tratado de:

- Estimar las existencias de carbono presentes en suelos (forestales y no-forestales) de toda la superficie de la CAPV en los años 1995 y 2006.
- Hacer una aproximación, partiendo de las existencias de carbono en suelo, a la cantidad de carbono en suelo que podría fijarse para los distintos usos de la tierra de la CAPV, si se aplicaran prácticas de gestión adecuadas para la conservación del carbono en suelo.

A estas prácticas de gestión para la conservación del carbono en suelo, las hemos denominado “Best Management Practices” (BMP) y, en consecuencia, a la cantidad que podríamos esperar encontrar en los suelos adecuadamente gestionados se le ha llamado “fijación derivada de BMP” para diferenciarla de los términos basados en los modelos conceptuales que se han empleado en el apartado previo (“capacidad predeterminada” y “potencial de secuestro”).

### 4.2.2. Existencias de carbono de los suelos forestales y no-forestales de la CAPV

Las existencias de carbono de los suelos de la CAPV, ya fueran forestales o no, se obtuvieron a partir de las determinaciones de materia orgánica de un total de 8800 muestras aproximadamente de suelo analizadas hacia el año 1995 y hacia el año 2006 (ver Anexo IV para detalles metodológicos), de las cuales cerca de 6200 muestras de hacia 2006 se pudieron localizar geográficamente. Las cantidades de carbono orgánico de los primeros 30 cm de suelo de estos puntos de muestreo fueron interpoladas mediante Sistemas de Información Geográfica para obtener un mapa de carbono (Figura 9).

Los valores de carbono orgánico presente en los 30 cm superiores del suelo (SOC) variaron desde 10.5 Mg C ha<sup>-1</sup> de un suelo con cultivo de remolacha de la vertiente mediterránea hasta 204.2 Mg C ha<sup>-1</sup> de un bosque de frondosas también de la vertiente mediterránea.

En el conjunto de la superficie con vegetación de la CAPV, se estimó que el contenido de carbono orgánico es del orden de 71 Mg C ha<sup>-1</sup> (76 Mg ha<sup>-1</sup> en la vertiente atlántica -Bizkaia, Gipuzkoa y las comarcas alavesas denominadas Cantábrica Alavesa y Estribaciones del Gorbea- y 62 Mg ha<sup>-1</sup> en

la vertiente mediterránea). Si expresamos este contenido por territorios históricos, las medias son aproximadamente de 79, 72 y 66 Mg C ha<sup>-1</sup> para Gipuzkoa, Bizkaia y Araba, respectivamente.

El mapa de carbono obtenido indica que el uso del suelo y la climatología determinan aparentemente los niveles de SOC, aunque existe una elevada variabilidad, posiblemente asociada a otros parámetros que no se han considerado, como la litología, topografía o el historial de uso del suelo de la parcela.

Se trató de representar la información empleada para la elaboración del mapa de carbono de la CAPV junto con la información que sólo se pudo localizar a nivel municipal (cerca de 8500 datos), mediante *boxplots*, en función de los años de muestreo, los usos de la tierra y de la vertiente (Figura 10). Los años de muestreo indicarían la posible evolución de las existencias de carbono de los suelos de la CAPV. Las vertientes reflejarían el efecto de la climatología, mientras que los usos de la tierra mostrarían la incidencia de la actividad antrópica sobre la fijación de carbono en los suelos de la CAPV.

En general, al comparar la evolución de los stocks de carbono en el año 1995 y 2006 (Figura 10), parece que existe una tendencia hacia la pérdida de carbono en los suelos de la CAPV. Esta tendencia debe ser considerada con cautela, ya que los puntos de muestreo no fueron los mismos en ambos años y, además, el número de datos en algunos casos resulta bajo (p.e., en los frutales de la vertiente atlántica, en los pastos de la vertiente mediterránea o los viñedos atlánticos del año 2006), por lo que puede no ser suficiente para realizar la comparación. Sin embargo, si se observan los valores de los usos de suelo con mayor número de datos en ambos años (FC, FF, G, C), la tendencia hacia menores cantidades de carbono en suelo parece confirmarse, salvo en los prados y praderas (G). Así, las medianas calculadas en la CAPV para coníferas, frondosas y cultivos fueron de 69.5, 74.2 y 44.6 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en el año 1995, frente a 66.6, 69.2 y 30.0 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en el año 2006, observándose el descenso más claro en las tierras de cultivo. No obstante, en los prados y praderas (G), las medianas fueron de 56.7 y 65.1 Mg C ha<sup>-1</sup> en el año 1995 y 2006, respectivamente, observándose, por tanto, un incremento del carbono en los suelos.

El hecho de haber una tendencia hacia fijaciones de carbono menores en los cultivos y mayores en los pastos puede deberse a la escisión existente entre la agricultura y la ganadería. Esta escisión ha conducido, en los últimos años, a la utilización de fertilizantes sintéticos en las tierras de cultivo en sustitución de estiércoles y purines porque no los tenían a mano (menor aporte de materia orgánica en cultivos) y a un exceso de estiércoles y purines aplicados en prados y praderas de explotaciones ganaderas ligadas a la tierra ya que no contaban con suficiente superficie para su aplicación (mayor aporte de materia orgánica en pastos).

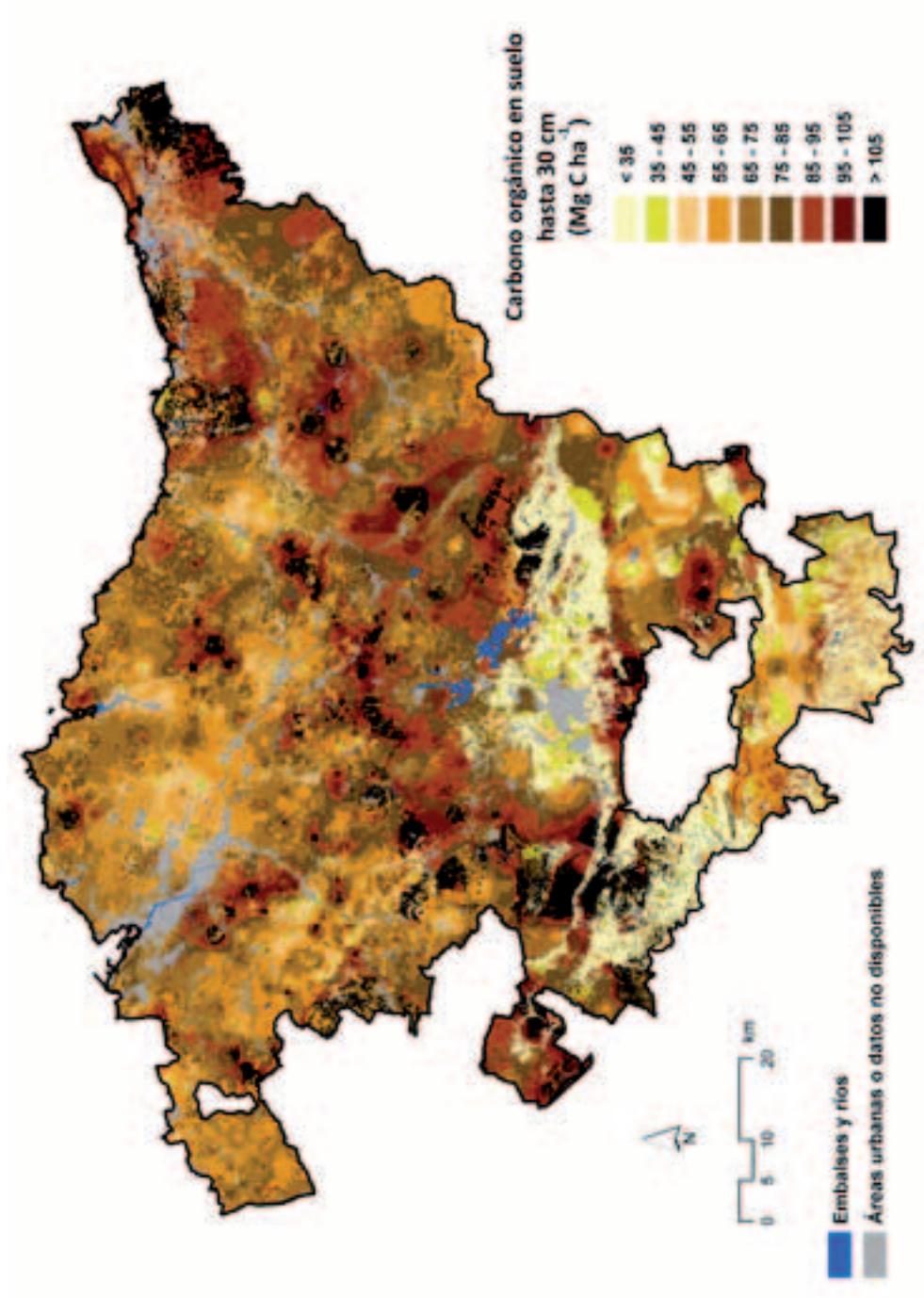


Figura 9. Mapa de existencias de carbono por unidad de superficie (Mg C ha<sup>-1</sup>) de la CAPV en torno al año 2006, en los primeros 30 cm de profundidad del suelo.

Así mismo, al comparar las cantidades de SOC de las vertientes atlántica y mediterránea de la CAPV (Figura 10), parece que la cantidad de carbono fijada en los suelos de coníferas de la vertiente mediterránea es mayor que en los de la vertiente atlántica (con medianas de 92.5 y 88.9 Mg C ha<sup>-1</sup> en la vertiente mediterránea, frente a 68.3 y 66.0 Mg C ha<sup>-1</sup> en la atlántica, en los años 1995 y 2006, respectivamente); una de las causas podría ser la climatología, pero, probablemente, se deba en gran medida a la gestión forestal más intensiva que se viene realizando en la vertiente norte. En cambio, esta observación no se apreciaba tan claramente en las frondosas (FF) y, al observar la cantidad de carbono existente en las tierras de cultivo y viñedo se veía lo contrario, es decir, mayores cantidades en la vertiente atlántica que en la mediterránea (con medianas, para los cultivos, de 47.7 y 32.6 Mg C ha<sup>-1</sup> en la vertiente norte, frente a 30.1 y 29.9 Mg C ha<sup>-1</sup> en la vertiente sur en los años 1995 y 2006, respectivamente; y, para los viñedos, con 39.1 y 38.6 Mg C ha<sup>-1</sup> del norte, en comparación con 24.7 y 30.9 del sur, en los años 1995 y 2006, respectivamente); lo cual también es probable que se deba, además de a causas climáticas, a unas prácticas de manejo más intensivas de los cultivos y los viñedos de la vertiente mediterránea que incluyen aportes altos de fertilizantes minerales y bajos de fertilizantes orgánicos.

Finalmente, los datos indican un claro efecto de los usos de la tierra -asociados a la actividad antrópica- sobre la cantidad de carbono presente en los suelos (Figura 10). Así, las cantidades más altas de carbono se muestrearon en los suelos de tierras forestales -en particular, de tierras ocupadas por especies frondosas (FF)- y de matorrales, pastizales y herbazales (M-P) (69.5 y 66.6 Mg C ha<sup>-1</sup> en FC, 74.2 y 69.2 Mg C ha<sup>-1</sup> en FF y 93.7 y 68.3 Mg C ha<sup>-1</sup> en M-P, en los años 1995 y 2006, respectivamente), cantidades intermedias en los prados y praderas (56.7 y 65.1 Mg C ha<sup>-1</sup> en los años 1995 y 2006, respectivamente) y las cantidades más bajas en tierras ocupadas por cultivos y viñedos (44.6 y 30.0 Mg C ha<sup>-1</sup> en cultivos y 35.7 y 31.1 Mg C ha<sup>-1</sup> en viñedos, en los años 1995 y 2006, respectivamente).

Si recordamos los inventarios de GEI de la CAPV para los años 1990 y 2008 realizados en el capítulo 2 y nos centramos en la estimación de la cantidad de carbono orgánico en el suelo, veremos que se obtenían, en la vertiente atlántica, cantidades del orden de 88, 100, 88, 56 y 112 Mg C ha<sup>-1</sup> para los primeros 30 cm de los suelos de tierras forestales, prados o praderas, matorrales u otras superficies para pasto, cultivos herbáceos, frutales o viñedos, respectivamente. En comparación, con las medianas obtenidas de los análisis reales de suelos de la CAPV, se deduce que al menos en la vertiente atlántica, las cantidades reales de SOC son inferiores a las estimadas siguiendo los valores propuestos por el IPCC.

Resumiendo y generalizando, los datos obtenidos muestran que existe una importante influencia del uso del suelo sobre las existencias de carbono orgánico presentes en los suelos de la CAPV, lo que pone de manifiesto que es la actividad humana la que induce una elevada variabilidad en la distribución del carbono orgánico del suelo. Esta influencia antrópica se aprecia más fácilmente que el efecto que puedan causar otros factores como la evolución temporal de la cantidad de carbono orgánico del suelo o la diferencia climatológica (vertiente atlántica-mediterránea) dentro del ámbito geográfico de la CAPV.

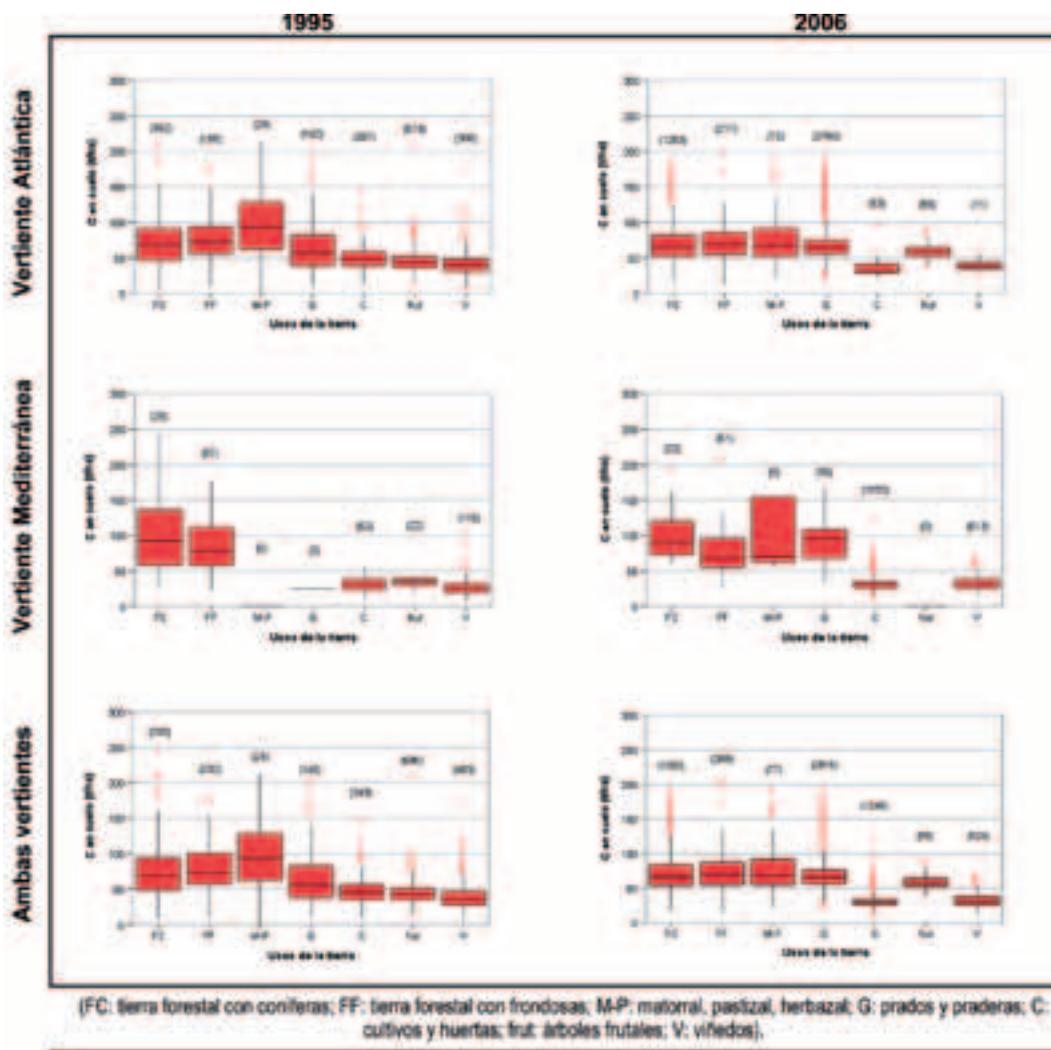


Figura 10. *Boxplots* de la cantidad de carbono en los primeros 30 cm de suelo ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), en función del año, la vertiente de la CAPV y los usos de la tierra. En el *boxplot* se representan: número de muestras (entre paréntesis), percentil 50 (línea central del rectángulo), percentiles 25 y 75 (límites del rectángulo), máximo y mínimo excluyendo *outliers* (barras del rectángulo), *outliers* o valores entre 1.5 y 3 veces superiores a la longitud del rectángulo (círculos) y valores extremos o más de 3 veces superiores a la longitud del rectángulo (asteriscos).

### 4.2.3. Fijación de carbono esperada de los suelos forestales y no-forestales de la CAPV derivada de prácticas de gestión adecuadas

Por otro lado, al inicio del presente capítulo se exponía que los suelos tienen un límite de saturación de carbono, es decir, tienen una capacidad máxima limitada de estabilizar carbono y que dicha capacidad o potencial estaba determinada por 3 reservorios de materia orgánica del suelo (MOS): la MOS libre (la más fácilmente mineralizable), la MOS físicamente protegida (por oclusión dentro de los agregados del suelo) y la MOS ligada a minerales de arcilla y limos (capacidad preterdeterminada).

Puesto que la MOS ligada a arcillas y limos constituye el 30% de la capacidad máxima de estabilización de la mayoría de los suelos, la composición en arcillas y limos de los suelos podría emplearse, según los modelos de dinámica de MOS, como punto de partida para conocer el potencial de fijación de carbono de los suelos. Así se hizo para los suelos forestales de la vertiente atlántica de la CAPV, y se estimaba que el potencial de fijación de carbono en los primeros 25 cm de suelo de la vertiente atlántica estaba próxima a 137 Mg C ha<sup>-1</sup> y a 108 Mg C ha<sup>-1</sup> en pinares o eucaliptales y en los demás bosques, respectivamente.

Sin embargo, a falta de estudiar la aplicación de los modelos de dinámica a cada uno de los usos de la tierra de la CAPV y relacionarla con la composición de arcillas y limos de los suelos o con variables asociadas (p.e., la litología como en el apartado sobre suelos forestales de la vertiente atlántica o el tipo de suelo, como en la Tabla 21), en el presente apartado se ha tratado de estimar la cantidad de carbono que puede llegar a fijarse en los primeros 30 cm de los suelos de la CAPV partiendo de los análisis de contenido de materia orgánica recopilados en el apartado anterior.

**Tabla 21. Contenido medio de carbono orgánico para algunas unidades de suelos FAO-UNESCO y unidades de suelos WRB (Fuente: Batjes, 1996).**

Unidad del suelo		Contenido medio de carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> )		
FAO-UNESCO	WRB	0 - 30 cm	0 - 100 cm	0 - 200 cm
Podzoles	Podzoles	136	242	591
Rendzinas	Leptosoles	133	-	-
Litosoles	Leptosoles	36	-	-
Chernozems	Chernozems	60	125	196
Nitsoles	Nitsoles	41	84	113
Xerosoles	Calcisoles/Cambisoles	20	48	87
Yermosoles	Calcisoles/Gypsisoles	13	30	66
Ferralsoles	Ferralsoles	57	107	169
Vertisoles	Vertisoles	45	111	191
Andosoles	Andosoles	114	254	310

Para ello, se tomaron los 8800 datos de cantidad de carbono orgánico presente en suelo y, para cada uso de la tierra, se buscó un valor que fuera alto, pero no inalcanzable dentro del ámbito de la CAPV. De modo que, se tratara de una cantidad de carbono en suelo asociada a prácticas de gestión próximas a las mejores prácticas disponibles para la conservación del carbono del suelo (las mejores prácticas de gestión – “Best Management Practices”), pero sin que estas prácticas de conservación impidieran la actividad humana (asociada a usos antrópicos de la tierra).

Este valor alto se estableció mediante el percentil 90 (valor por encima del cual sólo se encuentra el 10% de los suelos muestreados), que se muestra en la Tabla 22. En esta tabla también se muestran otros estadísticos, ya que el percentil 90 es, obviamente, un valor escogido arbitrariamente, que puede servir, al igual que otros de esta misma tabla, a modo orientativo.

Tabla 22. Resumen de la cantidad de carbono orgánico del suelo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) presente en la CAPV, según 8800 datos recopilados del período 1977-2010.

Estadístico	Usos de la tierra						
	FC	FF	M-P	G	C	frut	V
Número datos	1635	500	101	2960	1594	751	1007
Media	71.0	76.4	81.7	68.4	34.5	45.8	35.0
Error STD	0.7	1.3	3.9	0.4	0.3	0.5	0.4
Mediana	67.0	70.9	69.7	65.0	31.2	43.7	33.3
Mínimo	7.0	9.0	0.0	10.7	8.9	10.7	6.0
Máximo	245.3	204.2	212.9	196.3	144.1	208.3	167.6
Percentil 5	35.2	34.2	33.7	42.8	21.6	27.1	18.3
Percentil 10	41.4	42.1	38.5	48.2	23.6	30.6	21.4
Percentil 25	52.8	55.7	55.6	56.3	27.0	36.4	26.6
Percentil 75	85.3	92.4	105.5	75.5	38.2	53.8	40.0
Percentil 90	<b>107.0</b>	<b>117.7</b>	<b>148.5</b>	<b>90.6</b>	<b>50.3</b>	<b>63.2</b>	<b>51.2</b>
Percentil 95	122.5	129.6	162.9	108.7	58.8	72.7	59.6

(FC: tierra forestal con coníferas; FF: tierra forestal con frondosas; M-P: matorral, pastizal, herbazal; G: prados y praderas; C: cultivos y huertas; frut: árboles frutales; V: viñedos)

Por tanto, tomando el percentil 90 como valor orientativo, se podría establecer la fijación de carbono en suelo derivada de prácticas de gestión adecuadas de la CAPV en:

- 110-120  $\text{Mg C ha}^{-1}$  en tierras forestales.
- 90  $\text{Mg C ha}^{-1}$  en prados y praderas (sería mayor en suelos con menor intervención antrópica, como matorrales, pastizales o herbazales).
- 50-60  $\text{Mg C ha}^{-1}$  en tierras de cultivo (incluyendo, huertas, cultivos extensivos, árboles frutales y viñedos).

En el caso de las tierras forestales, el rango considerado como fijación de carbono derivada de BMP ( $100-120 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) es próximo al orden de magnitud estimado, al inicio del presente capítulo, como el potencial de fijación de carbono de acuerdo a los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo ( $108-137 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), aunque éste último se refiere a los primeros 25 cm de suelo solamente.

### **4.3. DIFERENCIA ENTRE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN SUELOS DE LA CAPV Y LA CAPACIDAD DE FIJACIÓN ESPERADA**

Al inicio del presente capítulo también se calculaba que en las tierras forestales ocupadas por pino y eucalipto de la vertiente atlántica, la cantidad existente de carbono era del orden del 50% de su potencial de fijación o límite de saturación de carbono, mientras que era del orden en 75% de su potencial en los demás bosques atlánticos de la CAPV (deduciéndose un incremento potencial del 100 y 33.3%, respectivamente, en comparación con el carbono orgánico actual del suelo). Si se calcula el porcentaje que supone la mediana (el valor por debajo del cual se encuentra la mitad de los suelos estudiados) respecto al valor considerado como fijación derivada de las BMP (percentil 90), resulta que es del 60-63%, 72% y 62-69% para las tierras forestales, los prados y praderas y las tierras de cultivo, respectivamente. Por tanto, al menos en lo relativo a los suelos forestales, ambas aproximaciones (mediante modelos de dinámica y mediante análisis de suelos), coinciden en el orden de magnitud.

Por tanto, se concluye que a través de prácticas de gestión encaminadas a la conservación del carbono orgánico del suelo cabría esperar, a largo plazo, un incremento notable del carbono fijado en los suelos de la CAPV, pudiendo pasar de medianas del orden de 67-71, 65, 31-44 Mg C ha<sup>-1</sup> en tierras forestales, prados o praderas y cultivos, respectivamente, a valores del orden de 100-120, 90 y 50-60 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente (que equivaldrían a un incremento del orden del 70, 40 y 50% respecto al carbono orgánico presente actualmente en suelos forestales, de prados/praderas y de cultivos herbáceos y leñosos, respectivamente).



## **CAPÍTULO 5**

### **MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ECOSISTEMAS TERRESTRES DE LA CAPV**

## 5. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ECOSISTEMAS TERRESTRES DE LA CAPV

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Mediante los inventarios de GEI elaborados para los años 1990 y 2008 siguiendo las directrices del IPCC, se observó que, en la CAPV, había dos depósitos o reservorios importantes dada su capacidad de emitir/fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico: la biomasa forestal y los suelos (Capítulo 2). La materia orgánica del suelo representa unas existencias de carbono más estables, con un tiempo de residencia mayor que el carbono fijado en forma de biomasa forestal, pero ésta última presenta la ventaja de acumularse con mayor rapidez y su tiempo de residencia se puede alargar a través de productos recolectados de la madera de ciclo de vida largo. En cualquier caso, las posibilidades de acumular carbono en biomasa forestal y suelo son finitas -a excepción de que la biomasa se utilice para la producción de energía sustituyendo a combustibles fósiles (IHOBE y NEIKER-Tecnalia, 2005).

A pesar de que la incertidumbre de los inventarios de GEI de la CAPV asociada al carbono fijado en biomasa forestal era elevada, se estimó que se podía llegar a fijar un 52% más de carbono respecto al actualmente fijado en la CAPV mediante una ordenación y gestión de las tierras forestales que favorezca la acumulación de carbono en la biomasa forestal, sin incluir la forestación de nuevas superficies y sin tener en cuenta la obtención de productos recolectados de la madera de ciclo de vida largo (Capítulo 3). Así mismo, por medio de prácticas adecuadas de gestión forestal, pascícola y agrícola, no sólo se evitaría la pérdida de carbono orgánico del suelo sino que, además, se podría favorecer e incrementar la acumulación de carbono orgánico en los suelos, estimándose para la CAPV este incremento en un 70 (más para pino radiata y eucalipto), 40 y 50% en las tierras forestales, de prados/praderas y de cultivos herbáceos y leñosos, respectivamente (Capítulo 4). Obviamente, estos incrementos de carbono en la biomasa forestal y en los suelos ocurrirían a largo plazo, en particular, en los suelos.

Aunque el potencial de fijación de CO<sub>2</sub> en biomasa forestal y suelo es finito y, por sí mismo, no solucionará el problema del cambio climático, las medidas para llegar a este potencial o acercarse más a él son necesarias para ganar tiempo en la carrera de reducción de emisiones de GEI a la atmósfera, mientras se desarrollan, por ejemplo, las energías renovables que deberán sustituir a los combustibles fósiles. Además, el establecimiento de estas medidas de mitigación para incrementar las existencias de carbono en biomasa forestal y suelo conllevan otros efectos beneficiosos desde el punto de vista ambiental, como son una gestión agrícola, pascícola y forestal sostenibles, con la consiguiente mejora de la calidad de las aguas y los suelos y, en general, del medio natural, con lo cual también constituyen indirectamente medidas de adaptación.

No olvidemos que, ante el cambio climático, se requieren dos tipos de respuestas: en primer lugar, reducir las emisiones de GEI, para lo cual deben adoptarse medidas de “mitigación”; en segundo lugar, actuar para hacer frente a sus impactos inevitables, es decir, tomar medidas de “adaptación” (Comisión Europea, 2009). Por tanto, la “mitigación” es la aplicación de políticas destinadas a re-

ducir las emisiones de GEI y a potenciar los sumideros, mientras que la “adaptación” son iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático (IPCC, 2007a).

Los servicios ecosistémicos, como el secuestro del carbono o la protección contra las inundaciones y la erosión del suelo, están directamente vinculados al cambio climático, y unos ecosistemas sanos son una defensa esencial contra algunos de sus impactos más extremos. Se necesita un planteamiento global e integrado para mantener y mejorar los ecosistemas y los bienes y servicios que éstos proporcionan (Comisión Europea, 2009).

## 5.2. MEDIDAS EN TIERRAS FORESTALES, DE PASTO Y DE CULTIVO

Se estimaba (Lal *et al.*, 1998) que en un máximo de 50 años se alcanzarían los límites máximos de secuestro de carbono mediante técnicas de uso y gestión de tierras de cultivo, forestales y de pasto, si bien se espera que este lapso de tiempo permita realizar los reajustes necesarios en los sistemas de producción de energía para poder estabilizar los niveles de CO<sub>2</sub> liberados a la atmósfera.

Las actuaciones humanas pueden originar grandes cambios en el funcionamiento de los sistemas agrícolas, pascícolas y forestales como fuente o sumidero de carbono orgánico. A continuación se describen diversas actividades favorables a una acumulación de carbono orgánico en los ecosistemas terrestres<sup>1</sup>.

1- La repoblación de terrenos desarbolados y la forestación/reforestación de áreas de cultivos o de áreas degradadas son las actuaciones que suponen mayores incrementos de la capacidad de fijación de carbono en el ecosistema en el que se actúa. La acumulación de carbono orgánico se produce tanto en la biomasa como en el suelo, realizándose la primera de forma más rápida y la segunda de forma más duradera. Sin embargo, en la CAPV las posibilidades de llevar a cabo reforestaciones en grandes extensiones son limitadas, sobre todo en la vertiente cantábrica, debido a que la superficie forestal actual es ya considerable teniendo en cuenta los requerimientos socioeconómicos de los distintos sectores de producción primaria.

2- Las replantaciones/regeneraciones forestales tienen, en principio, un menor potencial para secuestrar carbono orgánico en suelos que las forestaciones/reforestaciones. Sin embargo, al igual que en estas últimas, existe el potencial de acumular carbono orgánico en la biomasa forestal. La ordenación forestal y la gestión forestal sostenible deben ser partes esenciales de cualquier proyecto a desarrollar con el fin de incrementar el secuestro de carbono. Mediante una correcta ordenación de montes se pueden tener capturas constantes de carbono a lo largo del tiempo y, con el uso de una serie de prácticas de gestión de bosques adecuadas se pueden evitar las pérdidas de carbono orgánico del suelo que frecuentemente tienen lugar en plantaciones forestales comerciales y, además, favorecer la acumulación de carbono orgánico en los suelos.

3- Se propone fomentar los productos forestales de calidad (desenrollo, aserrío). Con estos productos se consigue (i) alargar el turno del stock de carbono en madera y (ii) sustituir productos que para su fabricación han emitido mucho carbono fósil. Además, el aprovechamiento de los productos forestales no sólo contribuye a aumentar el carbono almacenado, sino también a que la masa forestal renovada continúe fijando CO<sub>2</sub> con mayor intensidad.

---

<sup>1</sup> Medidas basadas en el informe interno titulado "NEIKER-IHOBE, 2004. Estudio sobre la potencialidad de los suelos y la biomasa de zonas agrícolas, pascícolas y forestales de la CAPV como sumideros de carbono".

4- Los niveles de carbono orgánico de los suelos de la CAPV son generalmente inferiores a los valores esperables, por lo que posiblemente no se estén dando las condiciones más favorables para que se produzca acumulación de materia orgánica en los suelos, debido a factores asociados a técnicas de gestión (labores de preparación del terreno, gestión de residuos de cosecha, fertilización inorgánica frente a orgánica, explotación intensiva de praderas, sobrepastoreo y quemas en prados que favorecen la erosión, etc.), así como a factores topográficos (pendientes pronunciadas que favorecen la erosión).

Existen múltiples opciones para aumentar el secuestro de carbono en suelos y biomasa. Las opciones a elegir van a depender de las condiciones edafoclimáticas y socioeconómicas, por lo que no hay una alternativa que se aplique de forma universal. Deben realizarse adaptaciones a nivel local de manera que se seleccione la combinación de opciones más apropiada. Deben considerarse en conjunto los costes de todos los inputs y los beneficios de cada práctica, así como tener en cuenta sus posibles riesgos. Así, el no laboreo puede representar la mejor opción desde el punto de vista del secuestro de carbono, pero puede requerir un elevado uso de herbicidas. Posiblemente sea más adecuado, en lugar de aplicar herbicida, realizar una operación de mínimo laboreo antes de la siembra.

5- La gestión agrícola debe reorientarse de modo que se invierta la situación actual en la que los procesos agrícolas funcionan como fuente de carbono atmosférico. Se propone llevar a cabo técnicas tales como laboreo de conservación, gestión de residuos de cosechas, cultivos de cobertera, adición de materia orgánica exógena, y la utilización de cultivos energéticos, siempre que estas medidas sean compatibles con las condiciones edafoclimáticas y necesidades de los cultivos, así como con los condicionantes socio-económicos. También se propone una cierta desintensificación de los sistemas de cultivo intensivos, con una reducción de los aportes de fertilización nitrogenada (con la consiguiente disminución de las emisiones de  $N_2O$  y de nitratos presentes en lixiviados) y del consumo energético.

6- En una misma región climática pueden originarse suelos con capacidades de secuestro de carbono muy diferentes, dependiendo de la naturaleza de los procesos edáficos, la presencia o ausencia de determinados componentes estabilizantes, la influencia humana, la erosión, y otros factores. Es necesario incrementar el estudio del funcionamiento de la materia orgánica de los suelos y la influencia que todos los sistemas de utilización antrópica producen en las variaciones de cantidad y calidad de la materia orgánica, añadiendo además las variables asociadas al cambio climático.

7- Dada la importante función que los pastos desempeñan tanto a nivel de producción como desde el punto de vista de la conservación y recreo, se recomienda realizar una mejora en su gestión cuando los factores climáticos, topográficos, edáficos, e hidrológicos sean favorables a este uso. Se propone una cierta extensificación de los sistemas de pastoreo como medida para aumentar los stocks de carbono en tierras de pasto (con la consiguiente disminución de las emisiones de  $N_2O$  y  $CH_4$  por unidad de superficie). Esta situación cambia allí donde hay riesgo de degradación de los suelos por erosión, abandono por parte de la población, etc., en cuyo caso sería aconsejable llevar a cabo una forestación. Por lo tanto, es aconsejable favorecer un mosaico de aprovechamientos

forestales y pascícolas con una distribución racional que tenga en cuenta clima, pendiente, riesgo de erosión, tipo de suelo, necesidad de protección de reservorios de agua, etc.

8- Asimismo, deben establecerse normas de protección de suelos con alta capacidad de retención de carbono orgánico y llevar a cabo políticas de gestión que no sólo conserven los suelos, sino que favorezcan el aumento de su espesor y contenido de carbono almacenado. Un centímetro de suelo puede fijar mucho carbono; de ahí la importancia de la protección contra la erosión y de las medidas que aceleren la formación de suelos en áreas contaminadas, degradadas o con predominio de suelos lépticos (suelos de poco espesor).

9- En los suelos existe una gran variedad de formas de carbono orgánico con grandes diferencias de labilidad y tendencia al equilibrio con el medio. La presencia de formas de elevada estabilidad favorece el incremento del contenido de carbono orgánico en los suelos y, sobre todo, su persistencia, haciendo más eficaz al reservorio edáfico. Así, la identificación del grado de estabilidad de las formas de carbono orgánico presentes en un suelo va a permitir orientar las actuaciones futuras de uso del suelo, teniendo en cuenta las técnicas de gestión que favorezcan no sólo el incremento de carbono en los suelos, sino sobre todo su estabilidad.

10- Para que las medidas que se adopten sean eficaces, la adopción de una práctica de conservación o incremento de carbono en suelo deberá ir acompañada de un compromiso para mantenerla a largo plazo, ya que el abandono o la interrupción temporal de este tipo de prácticas se traduce, a menudo, en una rápida pérdida de carbono.

11- Recordemos que los incrementos de las existencias de carbono que se alcancen en los distintos sumideros terrestres no implican – de acuerdo con la metodología de cálculo establecida en el Protocolo de Kioto y en los Acuerdos de Marrakech – un descuento directo en el balance de emisiones de GEI. De hecho, para el primer período de compromiso (2008-2012), se van a tener en cuenta las variaciones netas y verificables de los stocks de carbono que se produzcan durante esos cinco años derivadas de actividades de forestación, reforestación, deforestación (con carácter obligatorio) y de actividades de gestión agrícola y gestión forestal (en el caso del estado español), que hayan tenido lugar a partir del año 1990 e inducidas por la actividad humana. Además, existe un valor límite establecido para la gestión forestal durante el primer período de compromiso que, para el estado español, es de 670 Gg C año<sup>-1</sup>.

En la siguiente tabla (Tabla 23) se resumen las medidas de mitigación y adaptación propuestas frente al cambio climático, diferenciándose por uso de suelo (en tierras forestales, de pastos y de cultivos). La descripción de las medidas propuestas se encuentra con mayor detalle en el Anexo V.

Tabla 23. Resumen de las medidas de mitigación y adaptación propuestas frente al cambio climático por usos de la tierra (en tierras forestales, de pastos y de cultivo).

<b>Tierras forestales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Forestación/reforestación:</b> forestación/reforestación de tierras abandonadas, marginales, degradadas o con riesgo de degradación para aumentar la superficie forestal sin comprometer otros usos como la agricultura y la ganadería.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Las <b>replantaciones/regeneraciones</b> forestales tienen, en principio, un menor potencial para secuestrar carbono orgánico en suelos que las forestaciones/reforestaciones. Sin embargo, al igual que en estas últimas, existe el potencial de acumular carbono orgánico en la biomasa forestal.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Selección de especies:</b> selección de especies y procedencias forestales que presenten un correcto desarrollo en las condiciones edafoclimáticas actuales y futuras (derivadas del cambio climático), o incluso selección de especies forestales en función de la cantidad de humus que generan.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ <b>Aclareos y claras:</b> aplicar tratamientos silvícolas adecuados y a tiempo para que las masas crezcan saludables y con vigor incorporando parte de los restos de las claras al suelo para el mantenimiento del ciclo de carbono.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Cosecha y preparación del terreno:</b> utilización adecuada de maquinaria adaptada a las condiciones del terreno para minimizar las pérdidas de suelo (erosión), su desestructuración y compactación y favorecer el incremento del espesor de los horizontes humíferos. Por otro lado, habría que evitar la cosecha de árbol completo e incorporar parte de los restos de cosecha al suelo para el mantenimiento adecuado del ciclo de carbono.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Fertilización:</b> aplicación de fertilizantes tradicionales para aumentar el vigor de las masas y su capacidad de secuestro de carbono y aplicación de fuentes de carbono exógenas de calidad para aumentar las existencias de carbono tanto en la parte aérea como en la parte subterránea.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Modificación de la silvicultura:</b> aumento de los turnos y alternativamente aplicación de una silvicultura más cercana a la naturaleza, intentando copiar las funciones y procesos naturales de un bosque.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Daños forestales:</b> integración, en la gestión forestal, de medidas para minimizar los riesgos de degradación y daños en el ecosistema. Se trataría de medidas para minimizar la degradación del suelo y biomasa forestal debidos a causas abióticas (incendios, tormentas, viento, nieve, sequía, movimiento de tierras y avalanchas), bióticas (plagas, enfermedades, especies cinegéticas y ganado extensivo) y de origen antrópico (daños originados durante el aprovechamiento y las operaciones forestales, el desarrollo de la actividad ganadera extensiva y cinegética y daños causados por el turismo intensivo y las actividades recreativas, incluyendo la gestión de residuos no forestales).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Erosión:</b> cuando las actividades de manejo antrópicas impliquen actuaciones potencialmente erosivas y la pérdida consiguiente de carbono del suelo, se deberán adoptar medidas preventivas y, si a pesar de ellas, se produce erosión, deberán realizarse las medidas correctoras pertinentes, adecuadamente documentadas, considerando en todo caso los efectos a medio y largo plazo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Control del ciclo hidrológico:</b> la gestión forestal debe prevenir los efectos adversos sobre la calidad de las aguas, contribuyendo a la regulación del ciclo hidrológico, la estabilización de cauces, la protección de riberas, etc.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Vías de acceso a los bosques:</b> es necesario mantener y adecuar las vías de acceso, así como buscar una densidad de vías adecuada, puesto que facilitan la realización de los trabajos forestales y la defensa del monte, pero también implican la pérdida de carbono del suelo para su construcción.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Gestión forestal tendente a generar productos de prolongado ciclo de vida ("productos recolectados o cosechados de la madera") o sustitutivos de otros productos más contaminantes.</b></li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Fomento del uso de la madera frente a materiales (de construcción, fabricación de mobiliario, etc.) y fuentes energéticas (combustibles fósiles) más contaminantes.</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Divulgación y transmisión del conocimiento sobre prácticas forestales apropiadas para la CAPV que contemplen su capacidad de fijación de carbono.</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Capitalización:</b> avanzar en la valoración o capitalización de todos los bienes y servicios que los bosques producen, incluyendo el secuestro de carbono como uno de estos servicios (junto con prevención de inundaciones, calidad del agua, conservación de biodiversidad, etc.), ya que se requieren fondos para cubrir los gastos que genera la producción de estos servicios que mejoran la calidad de vida de la sociedad.</li> </ul>	

Tabla 23. (CONTINUACIÓN) Resumen de las medidas de mitigación y adaptación propuestas frente al cambio climático por usos de la tierra

Pastos herbáceos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Promover la máxima biomasa herbácea a través de un manejo apropiado mediante la aplicación de fertilizantes minerales y de estiércoles y purines</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Intercalar especies arbóreas o arbustivas: es conveniente intercalar fajas o hileras de arbolado de especies caducifolias autóctonas, aprovechando bordes de caminos y lindes, para evitar la monotonía y fragilidad de manchas extensas de cultivo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Evitar factores que pueden reducir el carbono orgánico en suelo: como quemas, sobrepastoreo y erosión.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cambio de uso, ordenación del territorio: la acumulación de carbono orgánico tras la conversión de tierras labradas a pastos herbáceos es mucho más lenta que la pérdida de carbono orgánico que tiene lugar con el proceso inverso</li> </ul>
Cultivos extensivos: técnicas para favorecer la acumulación de carbono orgánico en los suelos agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Laboreo y erosión: el objetivo del laboreo es principalmente la aireación del suelo y el control de malas hierbas. Sin embargo, con el laboreo también se producen una serie de procesos que deterioran la calidad de los suelos. Adopción del laboreo de conservación (incluye el mínimo laboreo y el no laboreo).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilización de cultivos cuyos residuos tengan una elevada fracción de compuestos recalcitrantes a la degradación.</li> </ul>
Cultivos extensivos: técnicas para disminuir la velocidad de degradación de la materia orgánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Biomasa de los cultivos en relación a cierto grado de desintensificación de los sistemas de cultivo intensivos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gestión/incorporación al suelo de residuos de cosecha.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● "Mulch", cultivos de cobertura y barbechos con vegetación.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Presencia de vegetación herbácea entre filas de frutales y viñedos: cubiertas vegetales.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Adición de materia orgánica exógena de calidad, sin que implique riesgos para la salud humana o animal ni para el medio ambiente.</li> </ul>
Medidas no específicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilización de cultivos energéticos, evaluando su competencia con los cultivos destinados a la alimentación.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Desarrollar normas de protección y políticas para incrementar el espesor de suelos de carácter orgánico.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar estudios que avancen en la cuantificación de las fijaciones de carbono que se pueden obtener, bajo la aplicación de distintas prácticas de gestión antrópica.</li> </ul>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA (capítulo 1)

AEMET (Agencia Estatal de Meteorología).

[http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)

Proyecto K-Egokitzen.

Disponible en: <http://bit.ly/1b2ndVh>

Canadell, J. G., Le Quéré, C., Raupach, M. R., Field, C. B., Buitenhuis, E. T., Ciais, P., Conway, T. J., Gillett, N. P., Houghton, R. A., and Marland, G. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(47), 18866–18870.

Comunicación de la Comisión, de 13 de noviembre de 2008, denominada “Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%”. COM(2008) 772 – no publicada en el Diario Oficial.

Houghton, R. A. 2007. Balancing the global carbon Budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35, 313–47.

IHOBE y NEIKER. 2005. Inventario de carbono orgánico en suelos y biomasa en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente y Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. Serie Programa Marco Ambiental nº 48, abril 2005. Disponible en: <http://www.ihobe.net/Publicaciones/>

IHOBE. 2008. Plan vasco de lucha contra el cambio climático, 2008-2012. Ed. Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S. A. Eusko Jaurlaritz. BI-1414-08.

IPCC. 2007a. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Directores del equipo de redacción principal: Pachauri, R. K., and Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

IPCC. 2007b. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. Versión en español sobre el apartado de preguntas frecuentes. Disponible en: <http://bit.ly/KinEUq>

Michalak, A. M., Jackson, R. B., Marland, G., Sabine, C. L., and the Carbon Cycle Science Working Group. 2011. A U.S. Carbon Cycle Science Plan. Prepared by the University Corporation for Atmospheric Research under award number NA06OAR4310119 from the National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.

Disponible en: <http://1.usa.gov/Kio1ON>

USDOE. 2008. Carbon Cycling and Biosequestration: Report from the March 2008 Workshop, DOE/SC-108, U.S. Department of Energy Office of Science.

Disponible en: <http://genomicscience.energy.gov/carboncycle/report/>

Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., and Dokken, D. J. (eds). 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. A Special Report of the IPCC. New York: Cambridge Univ. Press. En: Houghton, R. A. 2007. Balancing the global carbon Budget. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 35, 313–47.

## **BIBLIOGRAFÍA (capítulo 2)**

IF-1972. Primer Inventario Forestal de España. Cuaderno provincial nº 1-Álava. 1972. Ministerio de Agricultura. Secretaría General Técnica. Depósito Legal: M. 15061-1968.

IF-1972. Primer Inventario Forestal de España. Cuaderno provincial nº 48-Vizcaya. 1972. Ministerio de Agricultura. Secretaría General Técnica. Depósito Legal: M. 15061-1968.

IF-1972. Primer Inventario Forestal de España. Cuaderno provincial nº 20-Guipúzcoa. 1971. Ministerio de Agricultura. Secretaría General Técnica. Depósito Legal: M. 34670-1973.

IF-1986. Baso inbentarioa. E. H. K. A. 1986 – C. A. P. V. Inventario Forestal. 1986. Ed. Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco, en colaboración con las Diputaciones Forales de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa, I. C. O. N. A. y E. J. I. E. ISBN: 84-7542-624-7. Vitoria-Gasteiz, 1988.

IF-1996. Inventario Forestal de la C. A. P. V. 1996. Resultados por municipios – E. A. E.ko 1996ko Baso Inbentarioa. Udalerrien araberrako emaitzak. Ed. Departamento de Industria, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. ISBN: 84-457-1178-4. Vitoria-Gasteiz, 1997.

IF-2005. Inventario Forestal Nacional 2005.

Disponible en: <http://bit.ly/1dr6LID>

IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volumes 1–3. 1997 (IPCC/OECD/IEA). Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D. J., and Callander, B. A. (eds).

Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>

IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english>

IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. (Decision 13/CP.9). Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., and Wagner, F. (eds). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. ISBN: 4-88788-003-0.

Disponible en: <http://bit.ly/LbOfUz>

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., and Tanabe, K. (eds). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. ISBN 4-88788-032-4.

Disponible en: <http://bit.ly/1eIL9lb>

MAGRAMA, antiguo MAPA o MARM (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). Anuarios de Estadística Agroalimentaria. Datos de 2008.

Disponibles en: <http://bit.ly/1iTo0xp>

MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). ESYRCE (Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos).

Disponibles en: <http://bit.ly/1b2oz2r>

Meyer, P., Itten, K., Kellenberger, T., Sandmeier, S., and Sandmeier, R. 1993. Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 48(4): 17-28.

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., y Muñoz, M. 2005. Monografías INIA: Serie Tierras forestalesal. N° 13-2005. Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles. Ed. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Ministerio de Educación y Ciencia. ISBN: 84-7498-512-9. Madrid.

Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., and Mencuccini, M. 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4 (The Finnish Society of Forest Science. The Finnish Forest Research Institute). ISBN 951-40-1983-0 (paperback), ISBN 951-40-1984-9 (pdf), ISSN 1457-7356. Tampere (Finland).

---

## BIBLIOGRAFÍA (capítulo 3)

Basalde. 2009. RTR V5. REFERENTE TÉCNICO REGIONAL PAÍS VASCO (NORMA UNE 162002-2:2007). Elaborado por Basalde (Baso Kudeaketa Jasangarria-Gestión Forestal Sostenible).

Disponible en: <http://bit.ly/1m474qu>

Bezjak, K., Kuric, D., and Vrepčević, M. 2007. The Dissipative Structure of High Forests of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) in the Management Unit "Slavir". *Journal of Forestry Society of Croatia*, Vol.131 No.1-2.

Bolin, B., Sukumar, R., Ciais, P., Cramer, W., Jarvis, P., Kheshgi, H., Nobre, C., Semenov, S., and Steffen, W. 2000. Global perspective. In: *Land use, land use change and forestry*. Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., and Dokken D. J. (eds), a special report of the IPCC, Cambridge university press, pp. 23-51.

Chauchard Badano, L. M. 2000. Crecimiento y producción de repoblaciones de *Pinus radiata* D. Don en la provincia de Guipúzcoa (País Vasco). Tesis doctoral para ingeniería de montes la Universidad Politécnica de Madrid.

Christie, J.M., and Lines, R. 1979. A comparison of forest productivity in Britain and Europe in relation to climatic factors. *Forest Ecology Management* 2: 75-102.

Confederación de Forestalistas del País Vasco: disponible en: [www.basoa.org](http://www.basoa.org)

Espinel, S., Cantero, A., y Sáenz, D. 1997. Un modelo de simulación para rodales de *Pinus radiata* en al País Vasco. *Montes* 48:34-38.

FAO. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. *FAO World Soil Resources Reports*. 96.

Gower, S. T., Gholz, H. L., Nakane, K., and Baldwin, V. C. 1994. Production and carbon allocation patterns of pine forests. *Ecol Bull* 43:115–135.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., and Tanabe, K. (eds). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. ISBN 4-88788-032-4.

Disponible en: <http://bit.ly/1eIL9lb>

Magnani, F., Nolè, A., Ripullone, F., and Grace, J. 2009. Growth patterns of *Pinus sylvestris* across Europe: a functional analysis using the HYDRALL model. *Journal of Biogeosciences and Forestry* published by SISEF (The Italian Society of Silviculture and Forest Ecology). Vol. 2: pp. 162-171.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno Español:  
disponible en: [www.magrama.es](http://www.magrama.es)

Pérez, S., Jandl, R., y Rubio, A. 2007. Modelización del secuestro de carbono en sistemas forestales: efecto de la elección de especie. *Ecología*, nº 21, pp. 341-352.

## **BIBLIOGRAFÍA (capítulo 4)**

Amato, M., and Ladd, J. N. 1992. Decomposition of <sup>14</sup>C-labelled glucose and legume material in soils: Properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 24:455-464.

Ashagrie, Y., Zech, W., Guggenberger, G., and Mamo, T. 2007. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. *Soil and Tillage Research* 94(1), 101–108.

Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.

Cambardella, C. A., and Elliot, E. T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56, 777-783.

Cantero, A., Espinel, S., y Sáenz, D. 1995. Un modelo de gestión para las masas de *Pinus radiata* en el País Vasco. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, Nº 1, octubre 1995, pp. 193-198.

Carter, M. R. 1996. Analysis of soil organic matter storage in agroecosystems. p. 3–11. In: Carter, M. R., and Stewart, B. A. (eds). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis Publ., CRC Press, Boca Raton, FL.

Carter, M. R. 2002. Soil Quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil function. *Agronomy Journal* 94, 38-47.

Christensen, B.T. 1996. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. p. 97–165. In: Carter, M. R., and Stewart, B. A. (eds). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis Publ., CRC Press, Boca Raton, FL.

Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C., and Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185–190.

Feller, C., and Beare, M. H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79, 69-116.

---

Gartzia-Bengoetxea, N., González-Arias, A., Kandeler, E., and Martínez de Arano, I. 2009a. Potential indicators of soil quality in temperate forest ecosystems: a case study in the Basque Country. *Annals of Forest Science* 66, 303, 1-12.

Gartzia-Bengoetxea, N., González-Arias, A., and Martínez de Arano, I. 2009b. Effects of tree species and clear-cut forestry on forest-floor characteristics in adjacent temperate forests in northern Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 39, 1302-1312.

Gartzia-Bengoetxea, N., González-Arias, A., Merino, A., Martínez de Arano, I. 2009c. Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi-natural and cultivated stands in temperate Atlantic forests. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 1674-1683.

Gartzia-Bengoetxea, N., Camps-Arbestain, M., Mandiola, E., and Martínez de Arano, I. 2011. Physical protection of soil organic matter following mechanized forest operations in *Pinus radiata* D. Don plantations. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 141-149.

Gobierno Vasco. 2011. Cartografía litológica de la CAPV. Escala 1:25.000. Ingurumen, Lurralde Plangintza, Nekazaritza eta Arrantza Saila.

Disponible en: <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia/Geocientifica/Geologia/>

Goodale, C. L., Apps, M. J., Birdsey, R. A., Field, C. B., Heath, L. S., Houghton, R. A., Jenkins, J. C., Kohlmaier, G. H., Kurz, W., Liu, S. R., Nabuurs, G. J., Nilsson, S., and Shvidenko, A. Z. 2002. Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. *Ecological Applications* 12, 891–899.

Hassink, J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1221-1231.

Hiederer, R., Michéli, E., and Durrant, T. 2011. Evaluation of BioSoil Demonstration Project - Soil Data Analysis. EUR 24729 EN. Publications Office of the European Union. 155 pp.

Hirsch, P. R., Gilliam, L. M., Sohi, S. P., Williams, J. K., Clark, I. M., and Murray, P. J. 2009. Starving the soil of plant inputs for 50 years reduces abundance but not diversity of soil bacterial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 2021-2024.

IF-2005. Inventario Forestal Nacional 2005.

Disponible en <http://bit.ly/1dr6LID>

Imaz, M. J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., and Karlen, D. L., 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil and Tillage Research* 107, 17-25.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., and Tanabe, K. (eds). Prepared by the National Greenhouse

Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. ISBN 4-88788-032-4.

Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Jenkinson, D. S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. In: Wild, A. (ed). Russel's soil conditions and plant growth. 11th ed. Longman. New York, USA. p. 564-607.

Jobbágy, E. G, and Jackson, R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 19(2):423-436.

John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., and Flessa, H. 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128, 63-79.

Johnson, D. W., and Curtis, P. S. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140, 227-238.

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko K., and Lucas, N. 2001. Using ArcGis Geostatistical Analyst. ESRI. 300 pp.

Kravchenko, A. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American Journal* 67:1564-1571.

Latorre, I. 2003. Caracterización de los diferentes reservorios de carbono orgánico (biomasa aérea y pedicular, mantillo y suelo) de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Trabajo Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid.

Lozano, Z., Bravo, C., Ovalles, F., Hernández, R. M., Moreno, B., Piñango, L., and Villanueva, J. G. 2004. Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro* 16(1):1-17.

Ludwig, B., Kuka, K., Franko, U., and von Lützow, M. 2008. Comparison of two quantitative soil organic carbon models with a conceptual model using data from an agricultural long-term experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171, 83-90.

Martínez de Arano, I., Gartzia-Bengoetxea, N., and González-Arias, A. 2007. Rotation forestry, continuous cover forestry and soil sustainability. In: Dedrick, S., Spiecker, H., Orazio, C., Tomé, M., and Martínez de Arano, I. (eds). *Plantation or Conversion-The Debate!* EFI Discussion Paper nº 13, Joensuu, Finland.

Merino, A., Rey, C., Brañas, J., y Rodríguez-Soalleiro, R. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12(2), 85-98.

---

Nambiar, E. K. S. 1996. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1629–1642.

Pregitzer, K. S. 2003. Woody plants, carbon allocation and fine roots. *New Phytologist* 158(3): 421-424.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., and Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* 79, 7-31.

Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., and Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, 155–176.

Stewart, C. E., Paustian, K., Conant, R. T., Plante, A. F., and Six, J. 2007. Soil C saturation: concept, evidence, and evaluation. *Biogeochemistry* 86, 19–31.

Tisdall, J. M., and Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141-163.

Vitousek, P. M., and Matson, P. A. 1985. Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology* 66, 1360-1376.

## **BIBLIOGRAFÍA (capítulo 5)**

Al-Khatib, K., and Boydston, R. A. 1999. Weed Control with Brassica green manure crops. Chapter In: *Allelopathy Update, Volume 2, Basic and applied aspects*. Ed. S.S. Narwal, Oxford & Ibh Publishing Co Pvt Ltd.

Andrén, O., Rajkai, K., and Kätterer, T. 1993. Water and temperature dynamics in a clay soil under winter wheat-influence on straw decomposition and N immobilization. *Biol. Fert. Soils.* 15:1-8.

Bakker, J. P. 1989. *Nature Management by cutting and grazing*. Kluwer Academic Publishers.

Balesdent, J., Chenu, C., and Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53:215-230.

Baritz, R., De Neve, S., Barancikova, G., Gronlund, A., Leifeld, J., Katzensteiner, K., Koch, H. J., Palliere, C., Romanya, J., and Schaminee, J. 2004. Organic matter and biodiversity. Land use practices and SOM. In: *Reports of the Technical Working Groups. Established under the thematic strategy for soil protection. Volume III. Organic Matter*. Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A. R., Jones, R. J. A., Montanarella, L., Olazábal, C., and Selvaradjou, S. K. Europe Environment Agency.

Bazzaz, F. A., and Sombroek, W. 1996. Response of Agroecosystems to Climate Change. John Wiley, Inc. NY.

Bernhard-Reversat, F. 1987. Litter incorporation to soil organic matter in natural and planted tree stands in Senegal. *Pedobiologia* 30:401-417.

Boring, L. R., Swank, W. T., Waide, J. B., and Hendershot, G. S. 1988. Sources, fates, and impacts of nitrogen inputs to terrestrial ecosystems: Review and synthesis. *Biogeochemistry* 6:119-159.

Comisión Europea. 2007. Libro Verde «Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE» de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Bruselas, 29/6/2007. COM(2007) 354 final.

Comisión Europea. 2009. Libro Blanco. Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación. Bruselas, 1/4/2009. COM(2009) 147 final. Libro Blanco-documento adjunto sobre agricultura, 2009. Documento de trabajo de los servicios de la Comisión adjunto al Libro Blanco sobre la adaptación al cambio climático. La adaptación al cambio climático: un auténtico reto para la agricultura y las zonas rurales europeas. Bruselas, SEC (2009) XXX final.

Eve, M. D., Sperow, M., Howerton, K., Paustian, K., and Follett, R. F. 2002. Predicted impact of management changes on soil carbon storage for each cropland region of the conterminous United States. *J. Soil Water Conser.* 196-204.

FAO. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. *World Soil resources Reports.* 96. Roma.

Gil Bueno, A., Monterroso, C., and Macías, F. 2000. Revegetation of mine soils with energetic crops: Implications for carbon fixation in soils and biomass. 1<sup>st</sup> World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, 381-383.

INRA. 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?. Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J. C., Jayet, P. A., Soussana, J. F., and Stengel, P. (eds). Expertise Scientifique Collective. Institute National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris.

IHOBE y NEIKER. 2005. Inventario de carbono orgánico en suelos y biomasa en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente y Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. Serie Programa Marco Ambiental nº 48, abril 2005. Disponible en: <http://bit.ly/KioKPL>

IHOBE. 2008. Plan vasco de lucha contra el cambio climático, 2008-2012. Ed. Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S. A. Eusko Jaurlaritza. BI-1414-08.

IPCC. 1996a. Climate change 1995. The science of climate change. Contribution of working group I to the 2nd assessment report of the IPCC. Intergovernment Panel on Climate Change and Cambridge University Press. Cambridge, UK.

IPCC. 2000. Land use, land-use change and forestry (LULUCF). Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

IPCC. 2001. Working Group II – Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

IPCC. 2007a. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Directores del equipo de redacción principal: Pachauri, R. K., and Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

IPCC. 2007b. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. Versión en español sobre el apartado de preguntas frecuentes. Disponible en: <http://bit.ly/KinEUq>

Jenkinson, D. S., and Rayner, J. H. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.* 123:298-305.

Kern, J. S., and Johnson, M. G. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:200-210.

Kimble, J. M., Lal, R., and Follett, R. R. 2002. Agricultural practices and policy options for carbon sequestration: what we know and where we need to go. In: *Agricultural Practices and Policies for carbon sequestration in soil.* Kimble, J. M., Lal, R. and Follett, R. R. (eds). Lewis Publishers. CRC Press Company. Boca Raton, Florida.

Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub> enrichment. *Soil Tillage Res.* 43:81-107.

Lal, R. 2001. Potencial of soil carbon sequestration in forest ecosystems to mitigate the greenhouse effect. In: *Soil Carbon sequestration and the greenhouse Effect.* Lal, R. (ed). *Soil Sci. Soc. Am. J.* Special Publication Number 57.

Lal, R., and Kimble, J. M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 49:243-253.

Lal, R., Kimble, J. M., Follet, R. F., and Cole, C. V. 1998. The potential for U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Ann. Arbor Press, Chelsea, MI.*

Macías, F., Gil Bueno, A., y Monterroso, C. 2001. Fijación de carbono en biomasa y suelos de mina revegetados con cultivos energéticos. III Congreso ---Forestal Español. Granada, 524-527.

MMA. 2005. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Coordinador: Moreno, J. M. 840 pp. ISBN: 84-8320-303-0. Disponible en: <http://bit.ly/1m6BoOb>

MMA. 2006. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. S. G. para la prevención de la contaminación y del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de España.

Nilsson, L. G. 1986. Data of yield and soil analysis in the long-term soil fertility experiments. J. Royal Swedish Acad. Agri. For, Suplemento 18:32-70.

Nolan, T., and Conelly, J. 1988. Les recherches irlandaises sur le pâturage mixte par des bovins et des vins. I. Bilan de 15 années d'expérimentation. Fourrages 113: 59-82.

Paustian, K., Collins, H. P., and Paul, E. A. 1997. Management controls on soil carbon. In: Soil organic matter in temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North-America. Paul, E. A., Paustian, K., Elliot, E. T., and Cole, C. V. (eds), CRC press, Boca Raton, Florida, pp. 15-49.

Resh, S. C., Binkley, D., and Parrota, J. A. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. Ecosystems 5:217-231.

Rochette, P., and Janzen, H. H. 2005. Towards a revised coefficient for estimating N<sub>2</sub>O emissions from legumes. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 73, 171-179.

Santesteban García, L. G., y Royo Díaz, J. B. 2004. Evaluación del interés de las cubiertas vegetales como herramientas para el manejo del estrés hídrico en vid. XXXVI Jornadas de Estudio: de la viña a la copa: los retos actuales del vino. ITEA Vegetal extra nº 25:105-108.

Smith, P., Powlson, D. S., Glendining, M. J., and Smith, J. U. 1997. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. Global Change Biology. 3:67-79.

Smith, P., and Powlson, D. S. 2000. Considering manure and carbon sequestration. Science 287(5452):428- 429.

Sombroek, W.G., Nachtergaele, F. O., and Hebel, A. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. Ambio 22:417-426.

Soussana, J. F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., and Arrouays, D. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. Soil Use Manag. 20:219-230.

Tate, K. R., Scott, A., Ross, D. J., Parshotam, A., and Claydon, J. J. 2000. Plant effects on soil carbon storage and turnover in a montane beech (*Nothofagus*) forest and adjacent tussock grassland in New Zealand. *Aust. J. Soil Res.* 38:685-697.

Theander, O., and Åman, P. 1984. Anatomical and chemical characteristics in straw and other fibrous byproducts as feed. In: *developments in Animal and Veterinary Sciences*, 14. Sundstol, F., and Owen, E. (eds), Elsevier Science Publishers, B.V., Amsterdam

Van Dijk, H. 1982. Survey of Dutch soil organic matter research with regard to humification and degradation rates in arable land. In: *Land Use Seminar on Soil Degradation*, Wageningen, October 1980. Boels, D., Davies, D. B., and Johnson, A. E. (eds), Balkema, Rotterdam, pp. 133-143.

Van Wieren, S. E. 1995. The potential role of large herbivores in nature conservation an extensive land use in Europe. *Conserv. Biol. J. Linn. Soc.* 56:11-23.

Viterbi, R., Perrone, A., Sterpone, L., Aceto, P., Sorino, R., and Bassano, B. 2002. Does cattle influence the spatial and feeding behaviour of roe deer *Capreolus capreolus* in an alpine valley? Abstracts of the III World Conference on Mountain Ungulates.

## **ACRÓNIMOS Y UNIDADES DE MEDIDA DE MASA**

---

## ACRÓNIMOS Y UNIDADES DE MEDIDA DE MASA

**AEMET:** Agencia Estatal de Meteorología.

**BMP:** Mejores técnicas disponibles (*Best Management Practices*).

**C:** carbono.

**CAPV:** Comunidad Autónoma del País Vasco.

**CH<sub>4</sub>:** metano.

**CO<sub>2</sub>:** dióxido de carbono.

**CO<sub>2</sub>-eq:** dióxido de carbono equivalente.

**COP:** Conferencia de las Partes (*Conference of the Parties*).

**DM:** materia seca (*Dry Matter*).

**FAO:** Organización de Alimentación y Agricultura de Naciones Unidas (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*).

**GEI:** gases de efecto invernadero.

**H<sub>2</sub>O:** agua (vapor de agua, cuando está en estado gaseoso).

**IF:** Inventario Forestal.

**INRA:** Instituto Nacional de Investigación Agrícola de Francia (*Institut National de la Recherche Agronomique*).

**IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

**LULUCF:** UTCUTS-Usos de la Tierra, Cambio de Usos de la Tierra y Silvicultura (*Land Use, Land Use Change and Forestry*).

**MAGRAMA:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (antiguo Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)

**MMA:** Ministerio de Medio Ambiente.

**MO:** materia orgánica.

**MOS:** materia orgánica del suelo.

**MS:** materia seca (en inglés DM: *Dry Matter*).

**N<sub>2</sub>O:** óxido nitroso.

**OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

**O<sub>3</sub>:** ozono.

**PIB:** Producto Interior Bruto.

**PK:** Protocolo de Kioto.

**PVLCC:** Plan Vasco de Lucha Contra el Cambio Climático.

**SOC:** Carbono orgánico del suelo (*Soil Organic Carbon*).

**UDA:** Unidad De Absorción (RMU – *Removal unit*).

**UE:** Unión Europea.

**UNFCCC:** Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*United Nation Framework Convention on Climate Change*).

**UTCUTS:** Usos de la Tierra, Cambio de Usos de la Tierra y Silvicultura (*LULUCF-Land Use, Land Use Change and Forestry*).

<b>Unidad de Medida de masa</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Múltiplo</b>
gramo	g	1
decagramo	dag	10
hectogramo	hg	10 <sup>2</sup>
kilogramo	kg	10 <sup>3</sup>
megagramo	Mg	10 <sup>6</sup>
gigagramo	Gg	10 <sup>9</sup>
teragramo	Tg	10 <sup>12</sup>
petagramo	Pg	10 <sup>15</sup>

## **ANEXOS**



**ANEXO I.**  
**DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA**  
**PARA LA ELABORACIÓN DE LOS INVENTARIOS**  
**DE GEI 1990 Y 2008 DE LA CAPV**

La metodología utilizada para elaborar los inventarios de GEI de 1990 y 2008 está basada en las Directrices del IPCC (IPCC, 2006) para los inventarios nacionales de GEI destinados a la UNFCCC. Esta metodología está descrita, concretamente, en los capítulos que van del 1 al 9 del volumen 4 de la guía del IPCC (IPCC, 2006).

A grandes rasgos, la metodología del IPCC (IPCC, 2006) plantea que el flujo de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, o desde ella, es igual a la variación de las existencias de carbono en la biomasa y el suelo. Estas existencias o stocks de carbono se encuentran en los siguientes depósitos, reservorios o “pools”:

- Biomasa: aérea y subterránea (“above ground biomass” y “below ground biomass”).
- Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca (“dead wood” y “litter”).
- Carbono orgánico del suelo (“soil organic carbon”): sólo de los 30 primeros centímetros de profundidad del suelo, pues se considera que la gestión antrópica afecta en mucho menor grado las capas de suelo que se hallan a mayor profundidad.

(Las existencias de carbono incluso pueden encontrarse en los productos recolectados de la madera -“Wood Harvested Products”-, si se dispone de esta información).

Así mismo, asume que es posible estimar la variación de las existencias de carbono estableciendo las tasas de cambio de uso de la tierra y las prácticas utilizadas para llevar a efecto ese cambio. Por tanto, las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub>, basadas en los cambios en las existencias de carbono en el ecosistema, se estiman para cada una de las categorías de uso de la tierra (incluyendo tanto las tierras que permanecen en una categoría dada de uso de la tierra como las que pasan a otra categoría de uso de la tierra). Las categorías de uso de la tierra que el IPCC considera son las siguientes:

- Tierras forestales (F, “Forest Land”): para los inventarios de la CAPV, se tomó la misma definición de “bosque” adoptada por España de cara al PK (ver el apartado sobre “Definiciones de interés en los inventarios del Protocolo de Kioto”).
- Tierras de cultivo (C, “Croplands”): incluye cultivos herbáceos y leñosos.
- Pastos (G, “Grasslands”): pastos sin arbolado o con arbolado que no llegan a la definición de “tierras forestales”.
- Asentamientos (S, “Settlements”): superficies relacionadas con infraestructuras residenciales, de transporte, comerciales, de fabricación o similares.
- Humedales (W, “Wetlands”): incluye tierras cubiertas o saturadas de agua (dulce o salina) durante todo el año o la mayor parte del año.
- Otras tierras (O, “Other Lands”): son suelos desnudos, roca, hielo y aquellas superficies no incluidas en ninguna de las demás categorías.

Por tanto, de forma muy simplificada, elaborar un inventario para obtener la fijación/emisión anual de GEI, requiere:

- Clasificar la superficie por categorías de uso del suelo (tierras forestales, tierras de cultivo, pastos, asentamientos, humedales y otras tierras).
- Subdividir las zonas climáticas, tipos de suelo y tipo de prácticas de manejo.
- Estimar las permanencias y cambios de categoría producidos en los años inventariados.
- Determinar los factores de emisiones/remociones de GEI para calcular las variaciones de las existencias de los 5 depósitos de carbono (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo) en cada subdivisión.
- Sumar, finalmente, las variaciones de las existencias de carbono de todas las subdivisiones realizadas.

Según las directrices del IPCC, en términos generales, se considera que los cambios en las existencias de carbono se producen de forma constante durante todo el período de tiempo analizado. Por tanto, para el inventario de GEI de 1990, se asume que los cambios de stock de carbono fueron constantes entre 1971 y 1990 y, para el inventario de 2008, se asume que los cambios en el período 1990-2008 también fueron lineales.

Los GEI derivados del sector UTCUTS son concretamente el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, respectivamente). Con el fin de transformar las emisiones de estos GEI en equivalentes de CO<sub>2</sub> se utilizaron los valores que el IPCC propuso en el año 2007 para los potenciales de calentamiento global (1, 25 y 298 para el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O, respectivamente). Respecto al CO<sub>2</sub>, en el sector UTCUTS las estimaciones de emisiones/remociones se realizan para el carbono (en forma de C) y, sólo al final, se transforman en CO<sub>2</sub> multiplicándolas por 44/12, según la masa molecular y atómica.

## **1. SUPERFICIE CORRESPONDIENTE A CADA CATEGORÍA DE USO DE LA TIERRA**

Uno de los aspectos más importantes para la estimación de emisiones/remociones de GEI en el sector UTCUTS es la determinación de superficies (dato de actividad), ya que a éstas se les aplicarán distintos factores de emisión/remoción.

En este sentido, en primer lugar, se identificaron las superficies gestionadas y no gestionadas, puesto que los inventarios sólo se refieren a los GEI de origen antrópico y, en consecuencia, sólo deben incluirse las tierras que son gestionadas por el ser humano. En la CAPV, se consideró que toda la superficie es, en mayor o menor medida, gestionada ya que los efectos de las prácticas antrópicas pueden verse prácticamente en toda ella.

En segundo lugar, se procedió a clasificar las superficies por categorías de uso de la tierra, atendiendo a las 6 categorías definidas por el IPCC (tierras forestales, tierras de cultivo, pastos, asentamientos, humedales y otras tierras). Esta clasificación se realizó mediante teledetección (escenas Landsat 5 TM), en combinación con ortofotos, inventarios forestales y datos estadísticos.

Finalmente, a juicio de experto, se determinaron las superficies que permanecieron con un mismo uso y las que cambiaron de uso en 1990 y 2008.

Algunos aspectos relevantes sobre la clasificación de escenas Landsat mediante teledetección, así como el resultado final de las superficies de permanencia y cambio se presentan en los apartados siguientes.

### **1.1. Metodología para obtención de superficies por categorías de uso principales del IPCC**

La clasificación de las superficies de la CAPV en los usos o categorías del IPCC se realizó combinando la teledetección con el juicio de experto. Es decir, se combinaron las siguientes fuentes de información:

- Imágenes multiespectrales procedentes del satélite Landsat 5 TM: se clasificaron 2 imágenes para obtener las categorías de uso de la tierra de 1990 y otras dos para obtener las de 2008.
- Ortofotos de 1991 y 2008: desde el año 2004, el Gobierno Vasco proporciona anualmente ortofotos procedentes de vuelos realizados sobre toda la CAPV, aunque las más antiguas son de 1991 y no tienen la misma precisión que las actuales. A diferencia de las imágenes satelitales, las ortofotos no se pueden tratar digitalmente para identificar usos de suelo, salvo que se vayan clasificando visualmente parcela por parcela, lo cual resultaría inviable. Por ello, las ortofotos no se utilizaron para clasificar las categorías de uso de la tierra, sino para comprobar visualmente si los cambios de uso detectados por

---

otros medios (comparación de imágenes Landsat o de inventarios forestales) habían ocurrido o no realmente.

- Inventarios forestales de 1972, 1986, 1996 y 2005: cada 10 años aproximadamente se realizan inventarios forestales a nivel del estado español. El primer inventario forestal que cubrió toda la extensión del estado fue de 1972 (IFN1 ó IF-1972), el segundo de 1996 (IFN2 ó IF-1996) y el tercero de 2005 (IFN3 ó IF-2005); no obstante, en la CAPV también se realizó un inventario en el año 1986 (IF-1986). Estos inventarios no se cruzaron directamente para obtener permanencias y cambios de uso de las superficies de la CAPV debido a las siguientes dificultades: sólo se disponía del IF-1972 en papel (no en formato digital), la escala de los inventarios es distinta (ha ido ganando en resolución espacial con el paso de los años), las categorías en las que se clasifican los usos en los inventarios forestales también han evolucionado con el tiempo (es compleja su comparación) y no equivalen exactamente a las categorías del IPCC. Por todo ello, los inventarios forestales se emplearon como otra fuente más de información estadística y, en casos en los que las ortofotos no resultaban claras, para comprobar visualmente si los usos obtenidos mediante la clasificación de las imágenes satelitales coincidían con las de los inventarios forestales.
- Información estadística: como fuente adicional de decisión, se dispuso también de los Censos Agrarios que se realizan cada 10 años (1989, 1999 y 2009), así como de los datos de repoblaciones forestales (desde el año 1992).

Se emplearon imágenes Landsat 5 TM para los años 1990 y 2008 porque el año de referencia para determinar las tendencias y dimensiones de los niveles de emisiones/remociones de los GEI es el año 1990 y los inventarios de GEI de todos los años deben ser comparables entre sí. En este sentido, en la CAPV no se disponía de cartografía, inventarios, estadística o métodos similares que posibilitaran conocer los usos del suelo de toda la CAPV de forma que se pudiera hacer su seguimiento (de forma georreferenciada o, de alguna forma, inequívoca) desde el año 1990 y con el mismo grado de precisión; salvo que se clasificaran visualmente las ortofotos actuales y de 1991 –lo cual resultaba inviable.

En cuanto a las imágenes satelitales, después de estudiar las alternativas de detección remota existentes, se seleccionó como más adecuada la adquisición y clasificación de imágenes o escenas procedentes de satélites tipo Landsat 5 TM, debido a que:

- Es un satélite que ya en 1990 estaba activo (sólo Landsat TM y SPOT HRV funcionaban en el año 1990).
- Aunque ambos satélites llevan sensores con sistemas ópticos (pancromáticos o multiespectrales) que se han utilizado con éxito para clasificar cubiertas vegetales (Rosenvist *et al.*, 2003 y Patenaude *et al.*, 2005), el sensor del Landsat tiene características que permiten clasificar los usos del suelo mediante una única escena, porque en una sola escena se cubre toda la extensión de la CAPV.

La clasificación de usos de suelo mediante imágenes de satélite que disponen de sensores ópticos se basa en que las cubiertas terrestres reciben energía electromagnética procedente del Sol y una fracción la reflejan; esa reflectancia es distinta para las diferentes cubiertas terrestres y es la que captan los sensores ópticos. Cada sensor detecta la reflectancia emitida por las cubiertas terrestres a distintas longitudes de onda del espectro electromagnético (bandas), de manera que a cada tipo de cubierta terrestre le corresponde un conjunto característico de reflectancias (“firma espectral”), como si fuera una huella electromagnética.

Cuando se realiza la clasificación de la imagen satelital mediante métodos supervisados, como en este trabajo, se seleccionan en la imagen satelital cubiertas terrestres de categorías conocidas (“áreas de entrenamiento”), se obtiene su firma espectral y, digitalmente, por comparación con ella, se sabe si otra superficie pertenece a la misma categoría o no.

En cuanto a la clasificación de las tierras forestales, hay que destacar que la definición de bosque adoptada por el Estado Español de cara a la UNFCCC (altura mínima de árbol adulto = 3 m; superficie mínima = 1 ha; cubierta mínima de copas = 10%) y al PK (altura mínima de árbol adulto = 3 m; superficie mínima = 1 ha; cubierta mínima de copas = 20%) es ligeramente distinta. En este trabajo, se optó por la definición adoptada para el PK, pues es el Protocolo el que establece unos máximos de emisión obligatorios a las Partes y no la UNFCCC. La forma de incorporar esta definición de bosque durante la clasificación de las imágenes de satélite fue mediante la selección de “áreas de entrenamiento” que cumplieran estrictamente dicha definición.

Resultó necesario comprobar si los cambios de uso detectados mediante las imágenes de satélite eran o no reales, puesto que se identificaban muchísimas hectáreas con cambios de uso. Se inició, fundamentalmente, en comprobar los cambios relacionados con las tierras forestales, dado su carácter de categoría clave.

De modo que la obtención de las categorías de uso mediante la clasificación de imágenes satelitales de 1990 y 2008 permitió reducir la incertidumbre y facilitar el juicio de experto. No obstante, no se alcanzó estrictamente la georreferenciación de las superficies, ya que las superficies de cada categoría obtenidas mediante teledetección se modificaron, en primer lugar, en función de las verificaciones realizadas sobre ortofotos y, en segundo lugar, en función del juicio de experto (basado, sobre todo, en la comparación con otras fuentes de información: los inventarios forestales e información estadística, como los censos agrarios y la evolución de las repoblaciones forestales).

#### **1.1.1. Procedimiento para clasificación de los usos del suelo por teledetección**

Se obtuvieron dos escenas Landsat para cada año a clasificar (1990 y 2008). Se procuró seleccionar, en la medida de lo posible, escenas Landsat sin mucha nubosidad y de fechas similares (primavera/verano y otoño). Al final, las escenas Landsat 5 TM clasificadas fueron las de las fechas siguientes:

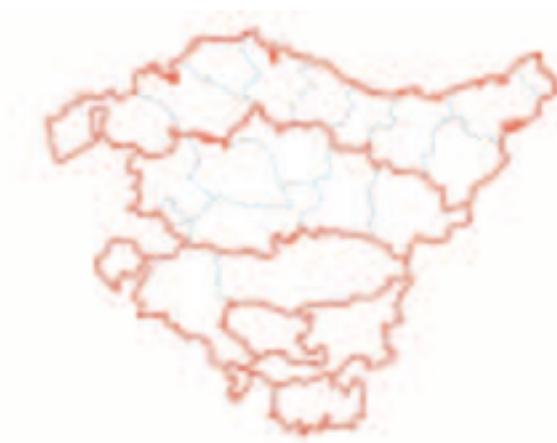
- Para el año 1990: escenas del 3 de octubre de 1989 y del 29 de abril de 1990.
- Para el año 2008: escenas del 29 de marzo de 2008 y del 23 de octubre de 2008.

Todos los procesos necesarios para la clasificación de las imágenes de satélite (corrección geográfica, corrección atmosférica, corrección topográfica y clasificación por categorías de uso de la tierra) se realizaron mediante el programa IDRISI (versión Taiga).

#### 1.1.1.1. Clasificación de escenas Landsat

Una vez corregidas las escenas Landsat (georreferenciadas y corregidas las distorsiones atmosféricas y topográficas), para obtener los usos de suelo o categorías IPCC de cada año de estudio (1990 y 2008) se dispuso de 12 bandas: 6 bandas de una de las escenas Landsat (no se utilizó la banda 6) y otras 6 bandas de la otra escena Landsat.

Para agilizar y mejorar la clasificación de las imágenes, en primer lugar, se dividió toda la CAPV en cinco zonas más o menos homogéneas (Figura 1). La clasificación se realizó por separado para cada una de las zonas por el método supervisado.



**Figura 1. Zonas de la CAPV separadas (en rojo) para realizar la clasificación de las escenas Landsat de 1990 y 2008. De arriba hacia abajo: Costa, Divisoria cantábrico-mediterránea, Llanada Alavesa junto con Valles Alaveses, Montaña Alavesa y Rioja Alavesa. En gris se indican las comarcas de la CAPV.**

Las imágenes fueron segmentadas, de manera, que los píxeles contiguos que eran similares quedaron agrupados en segmentos u objetos. Esto permitió realizar una clasificación por objetos o segmentos, en lugar de píxel por píxel.

De todos esos segmentos se seleccionaron aquellas áreas de entrenamiento (“training sites”) cuya categoría IPCC era conocida (bien porque la zona era conocida por nosotros o bien por información auxiliar, como los Corine Land Cover, los inventarios forestales de 1996 y 2005, las ortofotos de

1991 y 2008, el mapa de vegetación de la CAPV de 2007). Esta operación se realizó para cada una de las seis categorías del IPCC y alguna incluso se subdividió en categorías más específicas (p.e. bosques de especies perennifolias y caducifolias). Estas áreas de entrenamiento se utilizaron para estudiar las firmas espectrales de cada categoría o subcategoría y, en función de la misma, realizar la clasificación.

La clasificación se realizó de acuerdo a la técnica de máxima probabilidad, aplicando unas probabilidades aproximadas de la ocurrencia de cada una de las mismas (obtenida a partir de los inventarios forestales) y, pasando un filtro de moda (3\*3) a la imagen final.

Las categorías y subcategorías en las que se clasificaron las escenas Landsat fueron:

- Tierras forestales con especies de crecimiento rápido: coníferas de hoja perenne, alerce o *Larix* sp. y eucalipto o *Eucalyptus* sp.. En el caso de la zona de la Costa, el *Quercus ilex* quedó englobado en esta categoría porque no era posible diferenciarlo por teledetección. No obstante, la proporción de *Quercus ilex* (encina) es baja en la zona de la costa respecto a la de especies coníferas, de manera que se podría asumir que toda esa superficie era de crecimiento rápido.
- Tierras forestales con especies de crecimiento lento: frondosas de hoja caduca y *Quercus ilex*. En la zona de la costa, el *Quercus ilex* quedó incorporado en la categoría de tierras forestales de crecimiento rápido.
- Pastos de tipo matorral o pastizal.
- Pastos de tipo prado o pradera.
- Tierras de cultivos: cultivos herbáceos, viña y cultivos perennes leñosos que no son viñedos.
- Asentamientos.
- Superficies de agua: las masas de agua se diferenciaron perfectamente por teledetección, no así los humedales porque se confundían, sobre todo, con los pastos.
- Otras tierras.

Otros segmentos se seleccionaron, de igual forma que las áreas de entrenamiento, pero se utilizaron para determinar el grado de veracidad de la clasificación final. Este grado de ajuste o concordancia entre las categorías obtenidas mediante la clasificación y las que realmente existen, se midió objetivamente mediante el índice Kappa.

El índice Kappa toma valores entre 0 y 1, siendo mayor cuanto mayor es la concordancia o acuerdo entre la clasificación obtenida y la realidad. En general, el índice Kappa de cada una de las categorías clasificadas en cada una de las zonas en las que se dividió la CAPV fue superior a 0.58, siendo el índice Kappa para la clasificación global en cada zona superior a 0.82 (entre 0.82 y 0.91) (Tabla 1).

**Tabla 1. Índice Kappa de concordancia de las imágenes clasificadas de 1990 y 2008: rango del índice Kappa para las categorías e índice global del conjunto de la imagen.**

Año	Zona	Índice Kappa	
		Mínimo y máximo de las categorías	Global
1990	Costa	0.6227 - 0.9680	0.8249
	Divisoria	0.6067 - 0.9785	0.8716
	Llanada Alavesa	0.6897 - 0.9646	0.9056
	Montaña Alavesa	0.6240 - 0.9650	0.8849
	Rioja Alavesa	0.6238 - 0.9660	0.8564
2008	Costa	0.6827 - 0.9723	0.8975
	Divisoria	0.6772 - 0.9605	0.8568
	Llanada Alavesa	0.6090 - 0.9791	0.8954
	Montaña Alavesa	0.6543 - 0.9763	0.8910
	Rioja Alavesa	0.5890 - 0.9620	0.8920

#### 1.1.1.2. Comparación de las imágenes satelitales clasificadas de 1990 y 2008: superficies de permanencia y cambio

Las imágenes clasificadas de 1990 y 2008 se cruzaron o superpusieron para obtener los cambios de uso. Posteriormente, dichas superficies fueron revisadas o verificadas visualmente sobre ortofotos (en particular, las relacionadas con tierras forestales) en una zona amplia de la CAPV (zona de la costa y de la divisoria cantábrico-mediterránea). Se verificó que gran parte de los cambios de uso relacionados con los bosques no eran correctos (p.e., talas que se clasificaban como cambios de uso, cuando no lo son a efecto de los inventarios de GEI). Allí donde no se completó la verificación sobre ortofotos (una parte de la zona mediterránea de la CAPV), se aplicaron los mismos porcentajes de acierto que en la zona verificada.

Finalmente, en combinación con datos de inventarios forestales, repoblaciones forestales y estadísticas, se decidieron las conversiones y permanencias de las categorías IPCC entre los años 1990 y 2008 a juicio de experto.

Por otro lado, para calcular las emisiones/remociones de GEI en el sector UTCUTS de un determinado año es conveniente conocer los usos de suelo de 20 años atrás, puesto que se considera que ése es el tiempo necesario para que un suelo (materia orgánica muerta y carbono orgánico en suelo), en clima templado, alcance el equilibrio en lo referente a los flujos de carbono. Por ejemplo, a efectos del inventario de GEI, cuando un pasto se convierte en asentamiento, la emisión debida a la pérdida de biomasa se contabiliza el mismo año de la conversión, pero las emisiones debidas a las pérdidas de materia orgánica muerta y de carbono orgánico del suelo han de contabilizarse durante otros 19 años más y en todo ese período se considerará esa superficie como pasto convertido en asentamiento (no como pasto que permanece como tal).

En cuanto al inventario de GEI del año 2008, por comparación con los usos de 1990, ya se disponía de esa visión histórica de prácticamente 20 años. En cambio, para el inventario de GEI de 1990, se dispuso solamente de información sobre el uso del suelo de 1971-1972, gracias al primer inventario forestal (IF-1972). No obstante, al no disponer de las mismas clases y la misma escala que los inventarios posteriores, fue importante el juicio de experto.

Finalmente, recordemos que el IPCC (IPCC, 2006) asume que no existe una conversión de usos de suelo si se desconoce si ha habido o no tales conversiones.

## 1.2. Resultado de superficies que permanecen y cambian de uso en 1990 y 2008

En las tablas siguientes (Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5) se muestran las superficies clasificadas por categorías de uso del suelo del IPCC, así como las permanencias y cambios de usos, que finalmente se consideraron para los inventarios de GEI de 1990 y 2008.

La inicial en inglés de cada categoría se utiliza para abreviarla, de modo que:

- F: tierra forestal
- C: tierra de cultivo
- G: pasto
- S: asentamiento
- W: humedal
- O: otras tierras
- (L: cualquier categoría de tierra -“Land”)

Las permanencias y cambios de categoría se expresan indicando dos letras: la primera correspondiente a la categoría precedente y, la segunda, correspondiente a la categoría actual. Así, por ejemplo, FF indica que son tierras forestales que permanecen como tales, CG indica que son tierras de cultivo convertidas en pastos y LF indica que son tierras convertidas a forestales (pero sin especificar su uso previo a la conversión).

Tabla 2. Superficies clasificadas en categorías del IPCC que permanecieron y cambiaron de uso en 1990 y 2008, en Araba.

		Permanencias y cambios de categoría en cada año inventariado (ha)	
		1990	2008
ARABA	<b>Tot F</b>	<b>126880</b>	<b>133020</b>
	<b>FF</b>	<b>95127</b>	<b>123374</b>
	<b>LF</b>	<b>31754</b>	<b>9646</b>
	CF	26059	2676
	GF	5695	6942
	OF	0	29
	<b>Tot C</b>	<b>90966</b>	<b>79872</b>
	<b>CC</b>	<b>90966</b>	<b>79771</b>
	<b>LC</b>	<b>0</b>	<b>101</b>
	<b>FC</b>	<b>0</b>	<b>101</b>
	<b>Tot G</b>	<b>71728</b>	<b>70576</b>
	<b>GG</b>	<b>71728</b>	<b>64452</b>
	<b>LG</b>	<b>0</b>	<b>6123</b>
	FG	0	220
	CG	0	5903
	<b>Tot W</b>	<b>3491</b>	<b>3465</b>
	<b>WW</b>	<b>2583</b>	<b>3375</b>
	<b>LW</b>	<b>909</b>	<b>91</b>
	<b>CW</b>	<b>909</b>	<b>91</b>
	<b>Tot S</b>	<b>8563</b>	<b>14724</b>
	<b>SS</b>	<b>8176</b>	<b>8502</b>
	<b>LS</b>	<b>388</b>	<b>6222</b>
	FS	0	12
	CS	388	5280
	GS	0	904
	WS	0	26
	<b>Tot O</b>	<b>3099</b>	<b>3072</b>
	<b>OO</b>	<b>3099</b>	<b>3070</b>
	<b>LO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
	<b>FO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>304729</b>	<b>304729</b>	

Tabla 3. Superficies clasificadas en categorías del IPCC que permanecieron y cambiaron de uso en 1990 y 2008, en Bizkaia.

		Permanencias y cambios de categoría en cada año inventariado (ha)	
		1990	2008
<b>BIZKAIA</b>	<b>Tot F</b>	<b>125475</b>	<b>129507</b>
	<b>FF</b>	<b>125475</b>	<b>123511</b>
	<b>LF</b>	<b>0</b>	<b>5996</b>
	<b>CF</b>	<b>0</b>	<b>26</b>
	<b>GF</b>	<b>0</b>	<b>5964</b>
	<b>OF</b>	<b>0</b>	<b>6</b>
	<b>Tot C</b>	<b>5230</b>	<b>3545</b>
	<b>CC</b>	<b>5230</b>	<b>3496</b>
	<b>LC</b>	<b>0</b>	<b>49</b>
	<b>FC</b>	<b>0</b>	<b>49</b>
	<b>Tot G</b>	<b>75247</b>	<b>63993</b>
	<b>GG</b>	<b>29713</b>	<b>57858</b>
	<b>LG</b>	<b>45534</b>	<b>6135</b>
	<b>FG</b>	<b>1384</b>	<b>1720</b>
	<b>CG</b>	<b>44150</b>	<b>4415</b>
	<b>Tot W</b>	<b>811</b>	<b>811</b>
	<b>WW</b>	<b>635</b>	<b>793</b>
	<b>LW</b>	<b>176</b>	<b>18</b>
	<b>CW</b>	<b>176</b>	<b>18</b>
	<b>Tot S</b>	<b>12527</b>	<b>21408</b>
	<b>SS</b>	<b>10972</b>	<b>12294</b>
	<b>LS</b>	<b>1554</b>	<b>9114</b>
	<b>FS</b>	<b>0</b>	<b>301</b>
	<b>CS</b>	<b>1554</b>	<b>1942</b>
	<b>GS</b>	<b>0</b>	<b>6872</b>
	<b>WS</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Tot O</b>	<b>2406</b>	<b>2432</b>
	<b>OO</b>	<b>2406</b>	<b>2400</b>
<b>LO</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	
<b>FO</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	
<b>Total</b>	<b>221696</b>	<b>221696</b>	

Tabla 4. Superficies clasificadas en categorías del IPCC que permanecieron y cambiaron de uso en 1990 y 2008, en Gipuzkoa.

		Permanencias y cambios de categoría en cada año inventariado (ha)	
		1990	2008
<b>GIPUZKOA</b>	<b>Tot F</b>	<b>116200</b>	<b>119489</b>
	<b>FF</b>	<b>115230</b>	<b>114441</b>
	<b>LF</b>	<b>969</b>	<b>5048</b>
	CF	969	132
	GF	0	4892
	OF	0	24
	<b>Tot C</b>	<b>3461</b>	<b>2868</b>
	<b>CC</b>	<b>3461</b>	<b>2813</b>
	<b>LC</b>	<b>0</b>	<b>55</b>
	FC	0	55
	<b>Tot G</b>	<b>66896</b>	<b>61635</b>
	<b>GG</b>	<b>36102</b>	<b>57240</b>
	<b>LG</b>	<b>30795</b>	<b>4394</b>
	FG	0	1315
	CG	30795	3079
	<b>Tot W</b>	<b>689</b>	<b>689</b>
	<b>WW</b>	<b>689</b>	<b>689</b>
	<b>LW</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	CW	0	0
	<b>Tot S</b>	<b>9552</b>	<b>12089</b>
	<b>SS</b>	<b>8852</b>	<b>9447</b>
	<b>LS</b>	<b>700</b>	<b>2641</b>
	FS	0	239
	CS	700	718
	GS	0	1685
	WS	0	0
	<b>Tot O</b>	<b>1849</b>	<b>1878</b>
	<b>OO</b>	<b>1849</b>	<b>1825</b>
<b>LO</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	
FO	0	53	
<b>Total</b>	<b>198647</b>	<b>198647</b>	

Tabla 5. Superficies clasificadas en categorías del IPCC que permanecieron y cambiaron de uso en 1990 y 2008, en la CAPV.

		Permanencias y cambios de categoría en cada año inventariado (ha)	
		1990	2008
<b>CAPV</b>	<b>Tot F</b>	<b>368555</b>	<b>382016</b>
	<b>FF</b>	<b>335832</b>	<b>361325</b>
	<b>LF</b>	<b>32723</b>	<b>20690</b>
	CF	27028	2834
	GF	5695	17798
	OF	0	59
	<b>Tot C</b>	<b>99658</b>	<b>86285</b>
	<b>CC</b>	<b>99658</b>	<b>86080</b>
	<b>LC</b>	<b>0</b>	<b>205</b>
	FC	0	205
	<b>Tot G</b>	<b>213872</b>	<b>196204</b>
	<b>GG</b>	<b>137543</b>	<b>179551</b>
	<b>LG</b>	<b>76329</b>	<b>16653</b>
	FG	1384	3255
	CG	74945	13398
	<b>Tot W</b>	<b>4991</b>	<b>4965</b>
	<b>WW</b>	<b>3906</b>	<b>4857</b>
	<b>LW</b>	<b>1085</b>	<b>108</b>
	CW	1085	108
	<b>Tot S</b>	<b>30642</b>	<b>48221</b>
	<b>SS</b>	<b>28000</b>	<b>30243</b>
	<b>LS</b>	<b>2642</b>	<b>17978</b>
	FS	0	552
	CS	2642	7940
	GS	0	9460
	WS	0	26
	<b>Tot O</b>	<b>7354</b>	<b>7381</b>
	<b>OO</b>	<b>7354</b>	<b>7295</b>
	<b>LO</b>	<b>0</b>	<b>86</b>
	FO	0	86
<b>Total</b>	<b>725072</b>	<b>725072</b>	

## 2. SUBDIVISIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE USO DE LA TIERRA

Además de determinar las permanencias y cambios de uso de las seis categorías principales del IPCC, resultó necesario ajustar las superficies globales de la CAPV y subdividir las categorías principales (por especies forestales, tipo de clima, prácticas de manejo, etc.) con el fin de escoger de forma más ajustada los factores de emisión apropiados. Para ello, se emplearon las fuentes de información que se enumeran a continuación:

- La superficie total de los territorios históricos variaba ligeramente de un inventario a otro y en las imágenes de satélite, por lo que se asumió que los datos del Anuario de Estadística Agroalimentaria más reciente (MAGRAMA, 2011) eran los más correctos y se ajustaron las superficies de cada categoría proporcionalmente hasta alcanzar la superficie total de cada territorio histórico.
- Los inventarios forestales (IF-1972, IF-1986, IF-1996 y IF-2005).
- Las categorías de “tierra de cultivo” y “pasto” fueron complementadas mediante información estadística del Instituto Vasco de Estadística (EUSTAT) y del Servicio de Estadística del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco (a través de HAZI, Corporación del Gobierno Vasco para el desarrollo del medio rural y marino), para poder desglosar tanto los cultivos (viñedos, olivar, frutales y otros cultivos leñosos, cultivos herbáceos extensivos e intensivos), como los pastos (prados o praderas permanentes y otras superficies para pastos). Entre estas fuentes estadísticas se encuentran los Censos Agrarios de 1989, 1999 y 2009.
- En otros casos, la información básica fue complementada mediante información estadística procedente de los Anuarios de Estadística Agroalimentaria (elaborados por el MAGRAMA-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).
- En general, se utilizaron datos globales a nivel de territorio histórico aunque, en ocasiones, se utilizaron datos comarcales para diferenciar la comarca de la Rioja Alavesa al presentar ésta un clima templado seco, claramente distinto del resto de la CAPV de clima templado húmedo. Para poder diferenciar la Rioja Alavesa, se empleó información estadística proporcionada por HAZI.

### 3. MÉTODOS GENERALES DEL IPCC PARA ESTIMACIÓN DEL CAMBIO ANUAL DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO

El IPCC propone, para cualquiera de las categorías de uso de la tierra, dos métodos igualmente válidos para estimar el cambio anual de las existencias de carbono: el método de ganancias y pérdidas (“gain-loss method”) y el método de diferencia de existencias o variación de reservas (“stock-difference method”).

El “método de ganancias y pérdidas” (Ecuación 1) es un método basado en los procesos, por el que se estima el balance neto de los agregados a las existencias de carbono, es decir, se calcula el incremento anual de las existencias de carbono sustrayendo las pérdidas a las ganancias de carbono.

**Ecuación 1 (método de ganancias y pérdidas)**

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$$

Donde:

$\Delta C$  = cambio en las existencias anuales de carbono del depósito, en t C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_G$  = ganancia anual de carbono, en t C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_L$  = pérdida anual de carbono, en t C año<sup>-1</sup>

Las ganancias (p.e. por crecimiento de la biomasa, transferencia de carbono del depósito de la biomasa viva al depósito de materia orgánica muerta, etc.) se marcan con un signo positivo (+), en contraposición a las pérdidas (p.e. por tala de un bosque, quema, etc.) que se marcan con un signo negativo (-).

El “método de diferencia de existencias” es un método basado en las existencias o reservas, por el que se estima la diferencia en existencias de carbono entre dos momentos diferentes (Ecuación 2). Generalmente, los cambios en las existencias de carbono se calculan en base a hectáreas (t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y, entonces, el valor se multiplica por el total de la superficie dentro de cada subdivisión o estrato para obtener t C año<sup>-1</sup>.

**Ecuación 2 (método de diferencia de existencias)**

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

Donde:

$\Delta C$  = cambio en las existencias anuales de carbono del depósito, en t C año<sup>-1</sup>.

$C_{t_1}$  = existencias de carbono del depósito en el momento  $t_1$ , en t C.

$C_{t_2}$  = existencias de carbono del depósito en el momento  $t_2$ , en t C.

Estas variaciones en las existencias de carbono deben calcularse, en cada categoría y subdivisión de uso de la tierra, para los cinco depósitos o reservorios de carbono (biomasa aérea y subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo).

## 4. DETERMINACIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO POR CATEGORÍAS DE USO DE TIERRA

A continuación se presentan los aspectos más relevantes de los cálculos que se realizaron para obtener las emisiones/remociones de carbono según el método del IPCC (IPCC, 2006).

### 4.1. Tierras forestales

#### 4.1.1. Tierras forestales que permanecen como tales

##### 4.1.1.1. Biomasa: aérea y subterránea

En las plantas y los árboles madereros se pueden acumular grandes cantidades de carbono durante su vida. Por lo tanto, es posible que el cambio en las existencias de carbono en biomasa de las tierras forestales constituya una subcategoría importante, dados los flujos sustanciales debidos a la gestión, la cosecha, perturbaciones naturales, la mortalidad natural, la regeneración de los bosques o los cambios de uso de la tierra.

A fin de estimar las emisiones/absorciones de GEI derivadas de la biomasa forestal, se empleó el método de ganancias y pérdidas (Ecuación 1). Es decir, se estimaron las entradas y salidas de carbono en el sistema durante el año del inventario y la diferencia entre ambas, constituyó la emisión/remoción de carbono anual. Las ganancias de las tierras forestales vinieron dadas por las tasas de crecimiento de los bosques y, las pérdidas, por las extracciones de madera y por las emisiones derivadas de incendios.

#### a) Ganancias

Las ganancias o incrementos de carbono en forma de biomasa se calcularon, para cada subdivisión o estrato (por especie forestal y zona climática) mediante la Ecuación 3:

**Ecuación 3**

$$\Delta C_G = \sum (A_{i,j} \cdot G_{TOTAL\ i,j} \cdot CF_{i,j})$$

Donde:

$\Delta C_G$  = incremento anual de las existencias de carbono en biomasa debido al crecimiento de la biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra por tipo de vegetación y zona climática, en t C año<sup>-1</sup>.

A = superficie de tierra que permanece en la misma categoría de uso de la tierra, ha.

$G_{TOTAL}$  = crecimiento medio anual de la biomasa, en t DM ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (DM-"Dry matter", materia seca).

i = especie forestal i (i = 1 hasta n).

$j$  = zona climática  $j$  ( $j = 1$  hasta  $m$ ). Teniendo en cuenta la globalidad de la CAPV, las especies forestales se agruparon atendiendo a sus tasas de crecimiento y la zona climática más habitual para su crecimiento, de manera que los factores de especie forestal y zona climática (factores “ $i$ ” y “ $j$ ”) se convirtieron en un único factor (grupo de especie forestal).

CF = fracción de carbono de materia seca, en t C (t DM)<sup>-1</sup>. Se emplearon los valores por defecto propuestos por el IPCC (0.51 y 0.48 t C t DM<sup>-1</sup> para las coníferas y las fondosas, respectivamente, del Cuadro 4.3 del IPCC 2006), ya que los valores deducidos para la CAPV a partir de la monografía del INIA (Montero *et al.*, 2005) coincidían con los valores propuestos por el IPCC (2006).

En cuanto al crecimiento medio anual o tasa de crecimiento ( $G_{TOTAL}$ ), éste incluyó el crecimiento tanto de la biomasa aérea como de la subterránea (Ecuación 4).

**Ecuación 4**

$$G_{TOTAL} = \sum \{G_w \cdot (1+R)\}$$

Donde:

$G_{TOTAL}$  = crecimiento promedio anual de la biomasa aérea y subterránea, en t DM ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

$G_w$  = promedio del crecimiento anual de la biomasa aérea para cada grupo de especies forestales, en t DM ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

$R$  = relación entre la biomasa subterránea y la aérea para cada grupo de especies forestales (t DM de biomasa subterránea/t DM de biomasa aérea). Esta relación se obtuvo a partir de fuentes bibliográficas estatales basadas en el IF-1996 (Montero *et al.*, 2005) y en fuentes bibliográficas europeas (Zianis *et al.*, 2005).

El promedio de crecimiento anual de la biomasa aérea ( $G_w$ ) se calculó aplicando factores de expansión a las tasas de crecimientos fustal, de manera que engloban toda la biomasa forestal (fuste, corteza, ramas, hojas). Las tasas de crecimiento fustal se obtuvieron del IF-1996 (tanto de datos específicos de la CAPV del IF-1996, como de datos más globales utilizados por Montero *et al.*, 2005) y los factores de expansión se obtuvieron de fuentes bibliográficas estatales y europeas (Montero *et al.*, 2005 y Zianis *et al.*, 2005). Se trató de utilizar factores de expansión de Montero *et al.* (2005), por tratarse de valores geográficamente cercanos (estatales). No obstante, los datos de Montero *et al.* (2005) se compararon con datos bibliográficos de Europa y aquellos valores que resultaron muy distintos fueron reemplazados por factores más habituales.

En los trabajos de Montero *et al.* (2005) y del IF-1996, se desarrollaron funciones de regresión que relacionaban diferentes fracciones de biomasa (fuste, corteza, etc.) con el diámetro de los árboles y, en ocasiones, también con la altura. En cualquier caso, para el inventario de GEI se emplearon resultados de ambos trabajos, pero no se aplicaron directamente estas ecuaciones. Por el contrario, para calcular los factores de expansión sí se emplearon las ecuaciones de Zianis *et al.* (2005), utilizando los datos de partida (diámetros y alturas) de los inventarios forestales.

Los datos empleados de grupos de especies forestales, tasas de crecimiento aéreo (fuste y demás biomasa aérea) y subterránea considerados se resumen en la Tabla 6.

**Tabla 6. Agrupación de especies y tasas de crecimiento anual de la biomasa aérea, radical y total.**

Agrupación	Especies incluidas	Crecimiento anual de biomasa (t MS/ha)		
		Aérea	Subterránea	Total
<i>Pinus nigra</i> (Conífera, Atlántico, altitud alta)	<i>Pinus nigra</i> Picea sp., Pseudotsuga menziesii, Larix sp., Chamaecyparis lawsoniana, coníferas no incluidas en otros grupos	5.24	1.31	6.55
<i>Pinus radiata</i> (Conífera, Atlántico, altitud baja)	<i>Pinus radiata</i> <i>Pinus pinaster</i>	5.39	1.35	6.74
<i>Pinus sylvestris</i> (Conífera, submediterráneo)	<i>Pinus sylvestris</i>	3.86	1.04	4.90
<i>Pinus halepensis</i> (Conífera, mediterráneo)	<i>Pinus halepensis</i>	4.02	1.21	5.22
<i>Quercus ilex</i> (Froncosa, La Rioja)	<i>Quercus ilex</i> <i>Quercus pyrenaica</i>	3.01	1.12	4.13
<i>Fagus sylvatica</i> (Froncosa, atlántico, altitud alta)	<i>Fagus sylvatica</i>	3.12	0.56	3.68
<i>Eucalyptus</i> spp. (Froncosa, costa)	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Eucalyptus nitens</i> Otros <i>eucalyptus</i>	13.77	3.83	17.60
<i>Quercus faginea</i> (Froncosa, submediterránea)	<i>Quercus faginea</i>	2.57	0.72	3.29
<i>Quercus robur</i> (Froncosa, atlántico, altitud baja)	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Salix</i> sp., <i>Alnus</i> sp., <i>Robinia pseudoacacia</i> , Árboles ripícolas, <i>Platanus</i> sp., <i>Populus</i> sp., <i>Castanea</i> sp., <i>Betula</i> sp., <i>Fraxinus</i> sp., Bosque mixto (de cantil y atlántico), Plantación de frondosas, Frondosas no incluidas en otros grupos	4.73	1.32	6.06

**MS: materia seca (en inglés DM: dry matter).**

**b) Pérdidas**

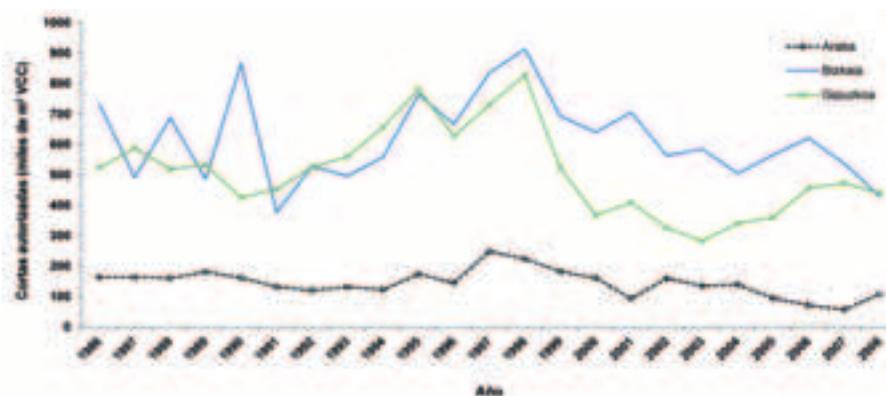
La pérdida anual de biomasa es la suma de las pérdidas por cosecha de bosques, la recogida de madera combustible (sin contar la recolección de detritos) y otras pérdidas producidas por perturbaciones, como incendios, tormentas, plagas de insectos y enfermedades.

En la CAPV, las extracciones o cosechas de madera se obtuvieron partiendo de las autorizaciones de cortas (del IF-1996 y de fuentes estadísticas del EUSTAT) que estaban dadas en volumen fustal con corteza (m<sup>3</sup> VCC) (Figura 2) y fueron transformadas en unidades de biomasa aérea, mediante las densidades y los factores de expansión de la Tabla 7. Además, se consideró que toda la biomasa cortada –incluyendo la subterránea- se emitía en forma de CO<sub>2</sub> el año de la tala, es decir, no se consideraron los flujos de los productos de madera recolectada (“Harvested Wood Products”).

**Tabla 7. Densidad de la madera por especies (basado en el IPCC, 2006) y relación entre la biomasa aérea total y la biomasa del fuste con corteza (fuente: Montero *et al.*, 2005; Zianis *et al.*, 2005).**

	<b>D (t MS/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Relación biomasa aérea/biomasa fustal</b>
<i>Pinus silvestre</i>	0.42	1.40
<i>Pinus nigra</i>	0.40	1.50
<i>Pinus radiata</i>	0.38	1.20
Otras coníferas	0.40	1.40
Chopo	0.35	1.50
Quercíneas	0.58	1.50
Eucalipto	0.58	1.40
Otras frondosas	0.58	1.50

MS: materia seca (en inglés DM: *dry matter*).



**Figura 2. Evolución de las autorizaciones de corta del período 1986-2008 por territorios históricos (Fuente: elaboración propia a partir de datos estadísticos del EUSTAT).**

Por otro lado, las pérdidas debidas a los incendios también se obtuvieron de fuentes estadísticas (MAGRAMA) y la conversión de las superficies quemadas (ha) en biomasa ( $m^3$ ) se calculó asumiendo la biomasa fustal ( $m^3 ha^{-1}$ ) presente por hectárea del IF-1996 para cada grupo de especies y aplicando factores de expansión ya mencionados para obtener la biomasa total presente por especies y territorios (Tabla 7).

La superficie quemada asignada al año base fue la media de 1989, 1990 y 1991, que fue obtenida a partir de datos facilitados por las Diputaciones Forales (en Araba y Gipuzkoa) y del IF-1996 (en Bizkaia). Puesto que no se disponía de datos precisos en cuanto a especies afectadas en los incendios de Bizkaia entre 1989-91, se asumió que los incendios ocurrían proporcionalmente a las superficies presentes de cada especie.

El hecho de utilizar el promedio de tres años con el año del inventario en el centro de la serie es una práctica recomendada para las áreas de Agricultura y UTCUTS en las Directrices Revisadas de Inventarios del IPCC 1996 (Vol. 1, *Reporting Instructions, Section Overview*, p. 5, bajo el título "Data Quality and Rime Frame"). En este caso, el promedio favorece mayores emisiones en el año base (porque los incendios fueron elevados en 1989), pero en todo caso, esta práctica permitiría una estimación basada en una muestra más representativa que la que se lograría tomando un solo año, especialmente, si los incendios de 1990 y 1991 fueron atípicamente bajos (Figura 3).

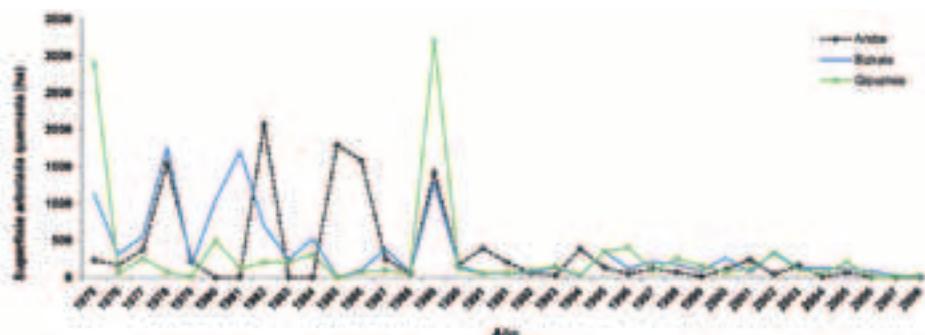


Figura 3. Evolución del período 1989-2008 de la superficie arbolada quemada (ha) por territorios históricos (Fuente: elaboración propia a partir de datos estadísticos del EUSTAT, de Diputaciones Forales y del IF-1996).

En cuanto a otras pérdidas (recogida de leña, tormentas, enfermedades, etc.) se consideró que eran insignificantes o que ya estaban contabilizadas en concepto de tasas de crecimiento inferiores (ya que las tasas de crecimiento se obtuvieron principalmente del IF-1996, en el que, por comparación con el IF-1972, se calculaba el crecimiento a pesar de plagas, enfermedades, etc.).

#### 4.1.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

Bajo el Nivel 1, se supone que, al cabo del año, la materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca) se crea (fija) y se destruye (emite) a la misma velocidad, por lo que el cambio neto de las existencias es nulo. Este supuesto significa que no es necesario cuantificar las existencias de carbono en la materia orgánica muerta para el Nivel 1 en lo referido a tierras que permanecen en una categoría dada de uso de la tierra.

#### 4.1.1.3. Carbono orgánico en suelo

Incluso sin que haya cambios de uso de la tierra, dentro de un mismo tipo de uso de la tierra, hay una diversidad de prácticas de gestión que también tienen un impacto significativo sobre el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (SOC, "Soil Organic Carbon"). En general, las actividades de gestión inciden en los aportes de carbono orgánico a través de los cambios en la producción vegetal (como la fertilización o el riego utilizados para mejorar el crecimiento), los aportes directos de carbono mediante los abonos orgánicos, y la cantidad de carbono restante después de actividades de remoción de biomasa, los incendios o el pastoreo.

Sin embargo, siguiendo las directrices del IPCC para el Nivel 1 de procedimiento de cálculo, se asumió que en los bosques que permanecían como tales, las entradas anuales de carbono orgánico en suelo eran iguales a las salidas, es decir, que el balance neto de carbono era nulo. Por tanto, con el método de Nivel 1, se supone que las existencias de carbono de los suelos forestales no cambian con la gestión.

#### 4.1.2. Tierras convertidas en tierras forestales

Las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> en tierras convertidas a una nueva categoría de uso de la tierra incluyen, también, los cambios anuales en las existencias de carbono en los cinco depósitos de carbono (biomasa aérea y subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo).

En general, se dieron por válidas las suposiciones siguientes:

- En el caso de las tierras de cultivo convertidas en tierras forestales, se supuso que fueron cultivos anuales de clima templado húmedo, bajo laboreo convencional y con inputs medios de materiales orgánicos los que se convirtieron.
- En el caso de pastos convertidos en tierras forestales, se supuso que fueron matorrales u otras superficies de pastos distintas de las praderas o prados las que se convirtieron.
- En el caso de otras tierras convertidas en forestales, se asumió que eran superficies con suelo pero desprovistas de biomasa las que se convirtieron en tierras forestales.
- En cualquier caso, las especies o grupos de especies forestales de las conversiones de 1990 y 2008 se estimaron proporcionalmente a la presencia de estos grupos forestales en el año correspondiente. La proporción de los grupos de especies forestales del año 1990 se obtuvo a partir de la interpolación de los inventarios forestales de 1986 y 1996, mientras que la del año 2008 se obtuvo del inventario forestal de 2005.

#### 4.1.2.1. Biomasa: aérea y subterránea

A los efectos del inventario, los cambios en las existencias de carbono en la biomasa se estiman para (i) las tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra y (ii) la tierra que se convierte a una nueva categoría de uso de la tierra. En este segundo caso, la convención sobre declaración es que todas las emisiones y absorciones relacionadas con el cambio de uso de la tierra deben hacerse en la nueva categoría de uso.

Puesto que en las plantas y los árboles madereros se pueden acumular grandes cantidades de carbono, a menudo, las conversiones de tierras forestales a otros usos traen como resultado una pérdida sustancial de carbono del depósito de biomasa y lo contrario.

Los cambios anuales en las existencias de carbono para el depósitos de biomasa se pueden estimar aplicando la Ecuación 1 ( $\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$ ), es decir, sustrayendo las pérdidas de carbono ( $\Delta C_L$ ) de las ganancias ( $\Delta C_G$ ). Si se conoce el uso previo de la tierra en una superficie convertida, entonces se puede usar el método de Nivel 2 descrito a continuación (Ecuación 5).

##### **Ecuación 5**

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{\text{CONVERSIÓN}} - \Delta C_L$$

Donde:

$\Delta C_B$  = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en t C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_G$  = incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en t C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_{\text{CONVERSIÓN}}$  = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en t C año<sup>-1</sup>.

$\Delta C_L$  = reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, en t C año<sup>-1</sup>.

Los cambios iniciales de las existencias de carbono en la biomasa ( $\Delta C_{\text{CONVERSIÓN}}$ ) se calculan empleando la ecuación siguiente (Ecuación 6):

##### **Ecuación 6**

$$\Delta C_{\text{CONVERSIÓN}} = \sum \{ (B_{\text{DESPUÉS}_i} - B_{\text{ANTES}_i}) \cdot \Delta A_{\text{A_OTRAS}_i} \} \cdot CF$$

Donde:

$\Delta C_{\text{CONVERSIÓN}}$  = cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de tierra, en t C año<sup>-1</sup>.

$B_{\text{DESPUÉS}_i}$  = existencias de biomasa en el tipo de tierra  $i$  inmediatamente después de la conversión, en t DM ha<sup>-1</sup>.

$B_{\text{ANTES}_i}$  = existencias de biomasa en el tipo de tierra  $i$  antes de la conversión, en t DM ha<sup>-1</sup>.

$\Delta A_{\text{A_OTRAS}_i}$  = superficie de uso de la tierra  $i$  convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, en ha año<sup>-1</sup>.

$C_F$  = fracción de carbono de materia seca, en t C (t DM)<sup>-1</sup>.

$i$  = tipo de uso de la tierra convertido a otra categoría de uso de la tierra.

El término  $\Delta A_{\text{A_OTRAS}_i}$  se refiere a un año de inventario en particular para el cual se realizan los cálculos, pero la tierra afectada por la conversión debe permanecer en la categoría de la conversión durante 20 años, ya que el IPCC considera que un suelo requiere ese tiempo para llegar al equilibrio en zonas templadas.

En el Nivel 1, se aplica la hipótesis de que no hay cambios en las existencias iniciales de carbono en la biomasa debidos a conversión (es decir, que el término  $\Delta C_{\text{CONVERSIÓN}}$  se considera nulo). Dicho de otra forma, cuando un pasto o cultivo (o vegetación herbácea, en general) se convierte en tierra forestal, se considera que: en la biomasa herbácea anterior a la conversión (biomasa de pastos o cultivos), al cabo de un año, el carbono fijado y emitido se igualan, de modo que el balance de carbono en la biomasa herbácea anterior a la conversión es nulo; en la biomasa posterior a la conversión a tierra forestal, se entiende que se produce una fijación de carbono por el crecimiento de la biomasa forestal y también unas emisiones (por extracciones de madera, leña, incendios, etc.) y el balance entre la fijación y emisión de carbono se realiza por el método de las ganancias y pérdidas, como en el caso de la tierra forestal que permanece siéndolo.

#### 4.1.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

Para los depósitos de madera muerta y de hojarasca de todas las categorías de uso de la tierra, en el Nivel 1 de cálculo, se supone que sus existencias no cambian con el transcurso del tiempo si la tierra permanece en la misma categoría de uso de la tierra (Nivel 1). Sin embargo, para las tierras forestales convertidas a otros usos (FL) y lo inverso (LF), deben contabilizarse las pérdidas y ganancias que suponen las variaciones de las existencias de carbono en la materia orgánica muerta, incluso en el Nivel 1 de procedimiento de cálculo.

En caso de haber una conversión a tierras forestales, se asume que hay un aumento de los depósitos de hojarasca y madera muerta que se inicia en ausencia de carbono en tales depósitos. En el Nivel 1 de cálculo, las ganancias de carbono en la materia orgánica muerta (DOM) se producen de manera lineal, comenzando en cero, durante un período de transición (supuesto, por defecto, en 20 años). Después de los 20 años, la zona convertida ingresa en la categoría de "Tierras forestales

que permanecen como tales” y, a partir de entonces, se supone que ya no hay más cambios de DOM, si se aplica un método de Nivel 1.

Las existencias de carbono en la materia orgánica muerta se pueden calcular, para el procedimiento de cálculo de Nivel 1, utilizando los valores por defecto del IPCC. Por ejemplo, para un bosque de clima templado cálido los valores propuestos son, en equilibrio, de 22 y 13 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en la hojarasca del bosque de especies coníferas y frondosas (IPCC, 2006). Sin embargo, el IPCC no propone ningún valor para el carbono contenido en la madera muerta. Por ello, se trató de alcanzar un Nivel 2 utilizando valores propios de la CAPV (Tabla 8).

**Tabla 8. Contenidos de carbono en materia orgánica muerta de tierras forestales de la CAPV (Fuente: proyecto FORSEE, INTERREG IIIB 2003-2006, www.iefc.net).**

	t C ha <sup>-1</sup>	
	Madera Muerta	Hojarasca
Coníferas	10	4
Frondosas	6	4

#### 4.1.2.3. Carbono orgánico en suelo

Aunque en los suelos se encuentran tanto formas orgánicas como inorgánicas del carbono, lo habitual es que el uso y la gestión de la tierra tengan un impacto mayor sobre los depósitos de carbono orgánico (IPCC, 2006). En consecuencia, los métodos del IPCC se centran, en su mayor parte, en el carbono orgánico de los suelos.

Para suelos minerales, el método por defecto se basa en los cambios de las existencias de carbono en el suelo durante un período finito. El cambio se calcula sobre la base de las existencias de carbono después del cambio de gestión con respecto a las existencias de carbono en una condición de referencia (a saber, vegetación nativa no degradada ni mejorada). Se consideran las siguientes hipótesis:

- Con el transcurso del tiempo, el carbono orgánico del suelo (SOC) alcanza un valor estable que se promedia en el espacio y que es específico para el suelo, el clima, el uso de la tierra y las prácticas de gestión; y
- Los cambios en las existencias de SOC durante la transición a un nuevo SOC en equilibrio se producen de manera lineal.

Se aplica la Ecuación 2 (método de diferencia de existencias), previamente citada, que queda con la siguiente forma (Ecuación 7):

**Ecuación 7**

$$\Delta C_{\text{MINERALES}} = \frac{(\text{SOC}_0 - \text{SOC}_{(0-T)})}{D}$$

Donde:

$\Delta C_{\text{MINERALES}}$  = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, en t C año<sup>-1</sup>.

$\text{SOC}_0$  = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, en t C.

$\text{SOC}_{(0-T)}$  = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, en t C.

T = cantidad de años de un período de inventario dado (número de años). En el caso de la CAPV y siguiendo la propuesta del IPCC, se asumió que el tiempo necesario para que el carbono orgánico del suelo llegue a su equilibrio era de 20 años y que esa variación ocurría linealmente.

D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, en años. Habitualmente se considera que este lapso es de 20 años. Si T es mayor que D, se debe utilizar el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).

$\text{SOC}_0$  y  $\text{SOC}_{(0-T)}$  se calculan utilizando la Ecuación 8, en función de la cual se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T).

**Ecuación 8**

$$\text{SOC} = \sum_{c,s,i} (\text{SOC}_{\text{REF}} \cdot F_{\text{LU}} \cdot F_{\text{MG}} \cdot F_{\text{I}} \cdot A_{c,s,i})$$

Donde:

$c,s,i$  =  $c$  representa las zonas climáticas,  $s$  los tipos de suelo e  $i$  el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado

$\text{SOC}_{\text{REF}}$  = las existencias de carbono de referencia en función del tipo de suelo, t C ha<sup>-1</sup> (Cuadro 2.3 del IPCC de 2006). Este valor de referencia fue de 88 y 38 t C ha<sup>-1</sup> para zonas localizadas en clima

templado húmedo y templado seco, respectivamente, en todos los suelos de la CAPV, ya que se consideraron suelos minerales con arcillas de alta actividad.

$F_{LU}$  = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión. Es un factor de uso de la tierra ( $F_{LU}$ , "Land Use") que refleja los cambios en las existencias de carbono relacionados con el tipo de uso de la tierra. En el caso de tierras forestales, este factor incluiría el régimen de perturbaciones naturales.

$F_{MG}$  = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión. Es un factor de gestión ( $F_{MG}$ , "ManaGement") que representa la principal práctica de gestión específica del sector de uso de la tierra.

$F_I$  = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión. Es un factor de aporte ( $F_I$ , "Inputs") que representa distintos niveles de aporte de carbono al suelo.

A = superficie de tierra del estrato o subdivisión que se estima, en ha. Toda la tierra del estrato presenta condiciones biofísicas (es decir, clima y tipo de suelo) y una historia de gestión similar durante el período de inventario en común.

Si se usa el Nivel 1 de cálculo, los tres factores de cambio de existencias ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$ ,  $F_I$ ) son equivalentes a 1 para las tierras forestales. Es decir, que los valores de  $SOC_{REF}$  propuestos por el IPCC son los propios de tierras forestales.

## 4.2. Tierras de cultivo

### 4.2.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales

#### 4.2.1.1. Biomasa: aérea y subterránea

No se estimaron los cambios en las existencias de carbono en la biomasa de cubiertas herbáceas (cultivos, pastos), porque, para un Nivel 1 de cálculo, el IPCC considera que la biomasa relacionada con las plantas herbáceas anuales y perennes (es decir, no maderera) es relativamente efímera; es decir, decae y se regenera anualmente o cada pocos años. Por lo tanto, en general, las existencias generales netas de carbono son bastante estables a largo plazo y no se contabilizan cuando la tierra permanece en la misma categoría de uso.

#### 4.2.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

En el Nivel 1 de cálculo, se asume que el carbono de la materia orgánica muerta se crea y se destruye a una velocidad similar, por lo que el cambio neto de existencias es nulo.

#### 4.2.1.3. Carbono orgánico en suelo

Se utilizaron la Ecuación 7 y la Ecuación 8 para determinar las variaciones de las existencias de SOC. Los valores de referencia para todos los suelos de la CAPV fueron 88 y 38 t C ha<sup>-1</sup> para zonas localizadas en clima templado húmedo y templado seco, respectivamente, debido a que todos los suelos de la CAPV se consideraron suelos minerales con arcillas de alta actividad y, en segundo lugar, este valor de referencia se mayoró o redujo en función de tres factores ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  y  $F_I$ ). Los valores para estos tres factores se tomaron del Cuadro 5.5 del IPCC (2006). Los aspectos destacables respecto a los factores de mayoración/minoración utilizados fueron los siguientes (ver Tabla 9):

#### - Rioja Alavesa (clima templado seco):

- Toda la vid de Araba estaba en la Rioja Alavesa: cultivo perenne, con laboreo total y bajos inputs orgánicos (factor global: 0.95).
- Frutales: cultivo perenne, con laboreo total y bajos inputs orgánicos (factor global: 0.95).
- Olivos: cultivo perenne, con laboreo reducido y bajos aportes de materias orgánicas (factor global: 0.969).
- Cultivos extensivos: cultivo anual, de clima templado seco, con laboreo total y bajos inputs de materiales orgánicos (factor global: 0.76).

**- Resto de la CAPV (clima templado húmedo):**

- Cultivos extensivos e intensivos anuales: cultivos anuales de clima templado húmedo, con laboreo completo y bajos inputs (factor global: 0.635).
- Vid: cultivo perenne, sin laboreo y con altos aportes de materia orgánica (coeficiente global: 1.277).
- Frutales: cultivo perenne, sin laboreo y con inputs altos de materiales orgánicos (coeficiente global: 1.277).

**Tabla 9. Factores de mayoración/minoración globales ( $F_{LU}$  \*  $F_{MG}$  \*  $F_I$ ) utilizados en tierras de cultivo para estimar las existencias de carbono orgánico en suelos minerales de la CAPV.**

	Clima templado húmedo	Clima templado seco
Cultivos herbáceos	0.6348 (0.69*1*0.92)	0.76 (0.8*1*0.95)
Vid	1.2765 (1*1.15*1.11)	0.95 (1*1*0.95)
Frutales	1.2765 (1*1.15*1.11)	0.95 (1*1*0.95)
Olivar	(no hay en clima húmedo)	0.969 (1*1.02*0.95)

Se utilizaron los mismos factores ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  y  $F_I$ ) para los años 1990 y 2008, por lo que los cambios en el carbono orgánico fijado en los suelos no deriva de cambios en las prácticas de manejo y gestión de los suelos, sino de cambios en la proporción de distintas subdivisiones o estratos dentro de cada categoría (distintos porcentajes de cultivos herbáceos, viña, frutales y olivar) (Tabla 10).

En el caso del año 1990, puesto que la subdivisión en estratos de los 20 años anteriores se desconocía (período para alcanzar el equilibrio en las existencias de SOC), la variación en las existencias de SOC fue nula. Es decir, el tipo de cultivo ( $F_{LU}$ ), el tipo de laboreo ( $F_{MG}$ ) y los inputs ( $F_I$ ) aplicados en los cultivos en 1990 se consideraron similares a los de 1970.

**Tabla 10. Porcentaje de distintos tipos de cultivo de los años 1990 y 2008, estimados en función de los Censos Agrarios de 1989, 1999 y 2009.**

		% de superficie sobre el total de cultivo del territorio				
		Fuente: Censos Agrarios			Fuente: interpolación	
		1989	1999	2009	1990	2008
Rioja Alavesa	Frutales	0.21	0.19	0.01	0.21	0.03
	Olivares	0.13	0.24	0.15	0.14	0.16
	Viñas	13.61	15.09	18.13	13.76	17.83
	Herbáceos	7.76	7.44	4.52	7.73	4.81
Resto de Araba	Frutales	0.28	0.20	0.19	0.27	0.19
	Olivares	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
	Viñas	0.01	0.05	0.70	0.01	0.64
	Herbáceos	78.01	76.78	76.28	77.89	76.33
Araba	Frutales	0.49	0.39	0.20	0.48	0.22
	Olivares	0.13	0.24	0.16	0.14	0.17
	Viñas	13.61	15.15	18.83	13.77	18.46
	Herbáceos	85.77	84.22	80.80	85.82	81.14
Bizkaia	Frutales	10.51	27.96	15.19	12.26	16.47
	Olivares	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
	Viñas	0.79	5.77	22.44	1.29	20.78
	Herbáceos	88.70	66.27	62.35	86.46	62.74
Gipuzcoa	Frutales	27.34	32.47	30.23	27.85	30.46
	Olivares	0.00	0.00	0.25	0.00	0.23
	Viñas	0.95	2.44	8.55	1.10	7.94
	Herbáceos	71.72	65.09	60.97	71.05	61.38

#### 4.2.2. Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo

##### 4.2.2.1. Biomasa: aérea y subterránea

Al igual que en el apartado de tierras forestales, las fijaciones/emisiones de carbono asociadas a las áreas que se convirtieron en tierras de cultivo se estimaron de acuerdo a la Ecuación 5 y la Ecuación 6, considerando que toda la biomasa forestal (aérea y subterránea) se emitió el año de la conversión y pasó a fijarse la biomasa propia de una tierra de cultivo herbácea (10 t DM ha<sup>-1</sup>, que contenían 0.47 t C por t de DM, según el Cuadro 8.4 del IPCC de 2006).

Se consideró que las especies forestales convertidas a cultivos fueron proporcionales a los volúmenes de cortas autorizadas por especies del período 1990-2008.

#### 4.2.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

Recordemos que solamente se considera la DOM, para el Nivel 1 de cálculo, en los casos que supusieron cambios de uso relacionados con tierras forestales (conversiones a tierras forestales o lo inverso). Por tanto, cuando hubo tierras forestales convertidas a cultivos, se estimó que toda la DOM (14 y 10 t C ha<sup>-1</sup> en coníferas y frondosas, respectivamente) se emitió el año de la conversión.

#### 4.2.2.3. Carbono orgánico en suelo

Los cambios en las existencias de SOC se calcularon igual que para las tierras convertidas en tierras forestales (Ecuación 7 y Ecuación 8), empleando para las tierras de cultivo los factores propios de las tierras con cultivos herbáceos de zona templada húmeda ( $F_{LU} = 0.69$ ,  $F_{MG} = 1.00$ ,  $F_I = 0.92$ ) y, para las tierras forestales, sus propios factores ( $F_{LU} = 1$ ,  $F_{MG} = 1$ ,  $F_I = 1$ ).

### **4.3. Pastos**

#### **4.3.1. Pastos que permanecen como tales**

##### **4.3.1.1. Biomasa: aérea y subterránea**

Para un Nivel 1 de cálculo, se considera que las existencias generales netas de carbono en pastos son bastante estables a largo plazo y no se contabilizan cuando la tierra permanece en la misma categoría de uso (IPCC, 2006). Con lo cual se asumió que se trataba de pastos en los que no había cambios en el tipo ni en la intensidad de la gestión, de modo que la biomasa estaba en un régimen constante (esto es, la acumulación de carbono debida al crecimiento vegetal se equilibraba con las pérdidas debidas al pastoreo, la descomposición, etc.).

##### **4.3.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca**

En el Nivel 1 de procedimiento de cálculo, se supone que la materia muerta y los depósitos de hojarasca de los pastos están en el equilibrio, de modo que no es necesario estimar los cambios en las existencias de carbono para estos depósitos.

##### **4.3.1.3. Carbono orgánico en suelo**

La variación en las existencias de carbono orgánico del suelo de los pastos se estimó de forma análoga a las tierras de cultivo. Se utilizaron la Ecuación 7 y la Ecuación 8, en las que el valor del SOC de referencia para todos los suelos de la CAPV fue de 88 y 38 t C ha<sup>-1</sup> para zonas localizadas en clima templado húmedo y templado seco, respectivamente. Estos SOC de referencia se ajustaron en función de tres factores de cambio de existencias ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  y  $F_I$ ). Los valores para estos tres factores se tomaron del Cuadro 6.2 del IPCC (2006).

En los censos agrarios se definen las “tierras para pastos permanentes”, como “tierras no incluidas en la rotación de cultivos, dedicadas de forma permanente (por un periodo de cinco años o más) a la producción de hierba, ya sea cultivada (sembrada) o natural (espontánea). Estas superficies pueden utilizarse para pastos o segarse para ensilado o heno. El heno puede usarse para la producción de energía renovable”. Dentro de estas “tierras para pastos permanentes” se incluyen:

a) Prados o praderas permanentes: tierras dedicadas permanentemente a la producción de hierba, características de zonas con cierto grado de humedad y cuyo aprovechamiento prioritario se realiza mediante siega. Pueden recibir algunos cuidados culturales como resiembra, abonado, pases de rodillo o tabla, etc. Se excluyen los cultivos forrajeros por incluirse en cultivos herbáceos. Estas áreas pueden ser normalmente usadas para pastoreo intensivo.

b) Otras superficies utilizadas para pastos: otros terrenos no comprendidos en el apartado anterior, siempre que se hayan utilizado como pasto para el ganado, situados frecuentemente en suelos de mala calidad, como zonas accidentadas o a gran altitud, no mejorados normalmente mediante abonado, cultivo, siembra ni drenado. En general, esta superficie se destina a pasto extensivo, no toleran una alta densidad de ganado y no acostumbran a segarse. Se incluyen las dehesas a pastos y también el erial y el matorral cuando sobre ellos se ha realizado algún aprovechamiento ganadero. También se incluyen las áreas segadas y no pastadas que sean de un alto valor natural y estén situadas en zonas geográficas protegidas.

A juicio de experto, se estimó que los factores de cambio de existencias que mejor se ajustaban a esta subdivisión de los pastos eran los siguientes (ver Tabla 11):

- Prados o praderas permanentes: pasto permanente, no-degradado, manejado de forma sostenible, con una presión de pastoreo media y con, al menos, una mejora (fertilización, mejora de especies, riego, etc.) (factor global: 1.14).
- Otras superficies utilizadas para pastos y matorrales: pasto permanente, no-degradado, manejado de forma sostenible, pero sin mejoras significativas en su gestión (factor global: 1.0).

**Tabla 11. Factores de mayoración/minoración ( $F_{LU} * F_{MG} * F_i$ ) utilizados en pastos para estimar las existencias de carbono orgánico en suelos minerales de la CAPV.**

	Clima templado húmedo	Clima templado seco
Prados o praderas permanentes	1.14 (1*1.14*1)	1.14 (1*1.14*1)
Matorrales	1.00 (1*1*1)	1.00 (1*1*1)
Otras superficies utilizadas para pastos	1.00 (1*1*1)	1.00 (1*1*1)

Se utilizaron los mismos factores para los años 1990 y 2008, por lo que los cambios en el SOC fijado no deriva de cambios en las prácticas de manejo y gestión de los pastos, sino de cambios en la proporción de distintas subdivisiones o estratos dentro de cada categoría (distintos porcentajes de prados y otros pastos, dentro de la categoría de pastos), obtenidos a partir de los censos agrarios (Tabla 12). Esto significa que se considera que con el paso del tiempo no han variado su uso ( $F_{LU}$ ), el grado de degradación de los pastos ( $F_{MG}$ ), ni las mejoras (mediante riegos, resiembras o fertilización) realizadas en los mismos ( $F_i$ ).

**Tabla 12. Porcentaje de distintos tipos de pasto de los años 1990 y 2008, estimados en función de los censos agrarios de 1989, 1999 y 2009.**

		% de superficie sobre el total de cultivo del territorio				
		Fuente: Censos Agrarios			Fuente: interpolación	
		1989	1999	2009	1990	2008
Rioja Alavesa	Prados o praderas permanentes	0.01	0.12	0.72	0.02	0.66
	Otras superficies para pastos	2.70	1.80	0.03	2.61	0.21
Resto de Araba	Prados o praderas permanentes	39.13	67.25	88.61	41.94	88.47
	Otras superficies para pastos	58.18	30.83	10.64	55.43	12.88
Araba	Prados o praderas permanentes	39.14	67.37	89.33	41.96	87.13
	Otras superficies para pastos	60.86	32.63	10.67	58.04	12.87
Bizkaia	Prados o praderas permanentes	73.13	80.05	93.19	73.82	91.87
	Otras superficies para pastos	26.87	19.95	6.81	26.18	8.13
Gipuzcoa	Prados o praderas permanentes	70.88	85.82	90.21	72.18	89.77
	Otras superficies para pastos	29.34	14.18	9.79	27.82	10.23

#### 4.3.2. Tierras convertidas en pastos

Las conversiones de tierras forestales y de cultivo en pastos dieron lugar a cambios en las existencias de carbono de los 5 depósitos (biomasa aérea y subterránea, madera muerta, hojarasca y SOC) que se exponen a continuación.

##### 4.3.2.1. Biomasa: aérea y subterránea

Las fijaciones/emisiones de carbono asociadas a las superficies forestales y de cultivo que se convirtieron en pastos se estimaron de acuerdo a la Ecuación 5 y la Ecuación 6, considerando que toda la biomasa previa (aérea y subterránea), ya fuera forestal o de cultivos, se emitió el año de la conversión y pasó a fijarse la biomasa propia de un pasto (13.5 t DM ha<sup>-1</sup>, que contenían 0.47 t C por t de DM, según el Cuadro 6.4 del IPCC de 2006).

En el caso de las conversiones de tierras forestales en pastos, hubo una pérdida de biomasa. Las especies o grupos de especies forestales convertidas a pastos se estimaron en el año 2008 de manera proporcional a los volúmenes de cortas autorizadas por especies del período 1990-2008; sin embargo, en el año 1990, al no disponer de las cortas por especies, se estimaron en función de la presencia de especies forestales del año 1990 (interpolación del IF-1986 y del IF-1996).

##### 4.3.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

Puesto que solamente se considera la DOM, para el Nivel 1 de cálculo, en los casos que supongan cambios de uso relacionados con tierras forestales (conversiones a tierras forestales o lo inverso),

cuando hubo tierras forestales convertidas a pastos, se estimó que toda la DOM (14 y 10 t C ha<sup>-1</sup> en coníferas y frondosas, respectivamente) se emitió el año de la conversión.

#### **4.3.2.3. Carbono orgánico en suelo**

Los cambios en las existencias de SOC se calcularon igual que para las tierras convertidas en tierras forestales (Ecuación 7 y Ecuación 8), asumiendo que los cambios tuvieron lugar en la zona de clima templado húmedo ( $SOC_{REF}$ : 88 t C ha<sup>-1</sup>) y empleando para los pastos los factores de cambios de existencias propios de los pastos distintos a los prados y las praderas ( $F_{LU} = 1.00$ ,  $F_{MG} = 1.00$ ,  $F_I = 1.00$ ), para las tierras forestales sus propios factores ( $F_{LU} = 1.00$ ,  $F_{MG} = 1.00$ ,  $F_I = 1.00$ ) y, para los cultivos, los factores de cultivos anuales, bajo laboreo convencional y con aportes medios de materiales orgánicos ( $F_{LU} = 0.69$ ,  $F_{MG} = 1.00$ ,  $F_I = 1.00$ ).

Por tanto, se asumió que las tierras se convirtieron en matorrales, pastizales o pastos similares y que estas conversiones ocurrieron en la zona húmeda (no en la Rioja Alavesa).

#### **4.4. Humedales**

Los humedales incluyen todo tipo de tierras que están cubiertas o saturadas por aguas todo el año o la mayor parte (turberas y tierras inundadas) y que no entran en las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo o pastos. Los humedales gestionados se limitan a aquellos en los que el nivel freático se modifica artificialmente (p.e., se drene o se eleve) o a los que hayan sido creados por la actividad humana (p.e., embalsado de un río). Las emisiones de los humedales no gestionados no se estiman en los inventarios de GEI.

##### **4.4.1. Humedales que permanecen como tales**

En cuanto a turberas, para el inventario de la CAPV se asumió que no había turberas gestionadas. Por otra parte, respecto a las tierras inundadas, el IPCC no incluye los lagos ni los ríos regulados a menos que se haya producido un incremento sustancial en la superficie acuática. Por tanto, en el presente inventario sólo se contabilizaron las emisiones de las tierras convertidas en humedales por inundación.

##### **4.4.2. Tierras convertidas en humedales**

Las tierras inundadas pueden emitir  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ . Es típico que las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  de tierras inundadas sean muy bajas, y que se contabilicen –al igual que sus emisiones de  $\text{CO}_2$ – en otros sectores de los inventarios de GEI (agricultura, residuos). Además, el IPCC no dispone de una metodología por defecto para estimar las emisiones de  $\text{CH}_4$  de las tierras inundadas, por lo que propone no estimar emisiones de “tierras inundadas que permanecen como tales” en el sector de UTCUTS. Sin embargo, el IPCC sí proporciona una metodología por defecto para “tierras convertidas en tierras inundadas” para estimar emisiones de  $\text{CO}_2$  debidas a la inundación, así como información sobre emisiones de  $\text{CH}_4$ .

###### **4.4.2.1. Biomasa: aérea y subterránea**

En las tierras de cultivo que se convirtieron en humedales, se asumió que la biomasa aérea y subterránea ( $10 \text{ t DM ha}^{-1}$ , con  $0.47 \text{ t C}$  por  $\text{t}$  de DM) se emitió en forma de  $\text{CO}_2$  el año de la conversión y que no quedó nada de ella en el humedal (IPCC, 2006).

###### **4.4.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca**

Dado que en tierras de cultivo se asume que no hay DOM, no fue necesario contabilizar su pérdida tras la conversión en humedal.

#### 4.4.2.3. Carbono orgánico en suelo

Además de la pérdida de biomasa, la descomposición del resto de carbono orgánico (como el SOC que permanece en el suelo) contribuye a las emisiones de CO<sub>2</sub>. La única vía de emisión de CO<sub>2</sub> incluida en el Nivel 1 de cálculo es la difusión que ocurre durante el periodo libre de hielos (las emisiones difusoras de CO<sub>2</sub> relacionadas con el periodo cubierto de hielos se suponen nulas). La hipótesis por defecto es que las emisiones de CO<sub>2</sub> se limitan a los 10 primeros años siguientes al incidente de inundación (IPCC, 2006) y se calcularon de acuerdo a la Ecuación 9:

#### Ecuación 9

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ LW inundación} = P \cdot E(\text{CO}_2)_{\text{dif}} \cdot A_{\text{inundación, superficie total}} \cdot F_A \cdot 10^{-6}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> LW inundación = total de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las “tierras convertidas en tierras inundadas”, en Gg de CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>.

P = cantidad de días sin cobertura de hielos durante un año, en días año<sup>-1</sup>. Se consideró que había 365 días libres de heladas.

E(CO<sub>2</sub>)<sub>dif</sub> = promedio diario de las emisiones difusoras, en kg de CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Se consideró que, en la zona templada cálida húmeda de la CAPV, se emitieron 8.1 kg de CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, asumiendo que las conversiones en humedal sólo tuvieron lugar en la zona templada húmeda.

A<sub>inundación, superficie total</sub> = área total de la superficie del reservorio, incluidas las tierras inundadas, los lagos y ríos, ha.

F<sub>A</sub> = fracción del área total del reservorio que se ha inundado en los últimos 10 años.

## **4.5. Asentamientos**

Los asentamientos se definen como toda la tierra desarrollada para la infraestructura residencial, de transporte, comercial y de producción (comercial, fabricación), a menos que ya esté incluida en otras categorías del uso de la tierra. Los asentamientos incluyen suelos, vegetación herbácea perenne como el césped y las plantas de los jardines, los árboles de los asentamientos rurales, los jardines de las haciendas y áreas rurales. Entre los ejemplos de asentamientos se incluyen las tierras existentes a lo largo de las calles, en canchales residenciales y comerciales (rurales y urbanos), en jardines públicos y privados, en campos de golf y campos de deportes, y en parques, siempre que tales tierras estén funcional o administrativamente ligadas con ciudades, pueblos y otros tipos de asentamientos en particular y que no se las contabilice en otra categoría del uso de la tierra (IPCC, 2006).

### **4.5.1. Asentamientos que permanecen como tales**

Al igual que en el resto de las categorías, las emisiones/fijaciones de CO<sub>2</sub> se estimaron como suma de las variaciones de carbono en los depósitos de biomasa aérea y subterránea, hojarasca, madera muerta y carbono orgánico del suelo.

#### **4.5.1.1. Biomasa: aérea y subterránea**

Los cambios de la biomasa en *Asentamientos que permanecen como tales* equivalen a la suma de los cambios ocurridos en la biomasa de árboles, arbustos y herbáceas perennes (p.e. césped y plantas de jardín) presentes en los asentamientos. Pero, en el Nivel 1 de procedimiento de cálculo, se asume que los cambios en las existencias de carbono de la biomasa debidos al crecimiento de ésta se compensan totalmente con las reducciones en las existencias debidas a remociones (es decir, por cosecha, poda, recorte) de biomasa tanto viva como muerta (p.e., madera combustible, ramas rotas, etc.) (IPCC, 2006).

#### **4.5.1.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca**

En el Nivel 1 de cálculo, se supone que la madera muerta y los depósitos de hojarasca están en equilibrio (las entradas y salidas de DOM son equivalentes) (IPCC, 2006).

#### **4.5.1.3. Carbono orgánico en suelo**

En el Nivel 1 de cálculo, se supone que las entradas de SOC son equivalentes a las salidas, por lo que las existencias de SOC de los asentamientos que permanecen como tales no cambian.

### **4.5.2. Tierras convertidas en asentamientos**

Según la magnitud de las existencias de carbono en la categoría anterior de uso de la tierra, las tierras convertidas en asentamientos pueden experimentar una pérdida relativamente rápida de

carbono durante el primer año, seguida por un incremento más gradual de los depósitos de carbono (p.e., en las tierras forestales convertidas en asentamientos). Por ello, la superficie de la tierra que se convierte en asentamientos debe mantenerse en el estado de conversión durante el período de transición adoptado, que en el caso de los inventarios de la CAPV, fue de 20 años.

#### 4.5.2.1. Biomasa: aérea y subterránea

El cambio de existencias de carbono en la biomasa se basa en la Ecuación 5 y la Ecuación 6 (IPCC, 2006). Además, siguiendo el Nivel 1 de cálculo, se consideró que durante el primer año que siguió a la conversión la biomasa desapareció por completo ( $B_{\text{DESPUESI}} = 0$ ). Sería necesario agregar crecimiento durante el año del inventario ( $\Delta C_G$ ) y restar pérdida ( $\Delta C_L$ ), pero por carencia de información sobre la superficie y tipo de biomasa de los asentamientos, se consideró -de forma conservadora- que no hubo incremento de las existencias de carbono en forma de biomasa posteriormente a la conversión.

La biomasa previa a la conversión se calculó tal y como se ha descrito en los apartados previos dedicados a tierras forestales, tierras de cultivo y pastos y, en el caso de los humedales, se supuso que su biomasa era la propia de pastos ( $13.5 \text{ t DM ha}^{-1}$ ).

#### 4.5.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

Por defecto, en el Nivel 1 se supone que todo el carbono contenido en la DOM se pierde durante la conversión y no se tiene en cuenta la acumulación subsiguiente (IPCC, 2006).

La DOM previa a la conversión de tierras forestales en asentamiento se estimó tal y como se describe en el apartado dedicado a las tierras forestales. En los demás casos, se consideró que la DOM era insignificante.

#### 4.5.2.3. Carbono orgánico en suelo

Los cambios en las existencias de carbono orgánico del suelo asociadas a la conversión de tierras en asentamientos se estiman empleando la Ecuación 7 y la Ecuación 8 (IPCC, 2006). En el caso de las existencias anteriores a la conversión, el carbono orgánico del suelo ( $\text{SOC}_{(0-T)}$ ) se calculó tal y como se ha descrito en los apartados previos dedicados a tierras forestales, tierras de cultivo, pastos y humedales. Mientras que en el caso de las existencias posteriores a la conversión ( $\text{SOC}_0$ ), de acuerdo al Nivel 1 de cálculo, habría que determinar la superficie del asentamiento convertida en pavimento, césped, leñosas, etc. y utilizar los factores apropiados ( $F_{\text{LU}}$ ,  $F_{\text{MG}}$ ,  $F_{\text{I}}$ ). Por falta de información, se consideró que toda la superficie convertida en asentamiento se pavimentó y que, como consecuencia, el 20% del carbono del suelo correspondiente al uso previo de la tierra se perdió debido a la perturbación, la remoción o la reubicación del suelo (IPCC, 2006).

## 4.6. Otras tierras

Las zonas de suelo desnudo, roca, hielo, o que no pertenecen a las otras cinco categorías de uso de la tierra del IPCC se clasifican como “otras tierras”.

### 4.6.1. Otras tierras que permanecen como tales

Las superficies de “Otras tierras que permanecen como tales” se incluyeron en el cómputo de superficies, como forma de verificación de la superficie total, pero se asumió que no estaban gestionadas y, por tanto, no se contabilizaron sus emisiones/absorciones de GEI.

### 4.6.2. Tierras convertidas en otras tierras

Generalmente, es poco frecuente que las “Tierras convertidas en otras tierras” sean una categoría principal. Sin embargo, sí que puede ocurrir, p.e., como resultado la deforestación y de una subsiguiente degradación severa.

#### 4.6.2.1. Biomasa: aérea y subterránea

La estimación de las emisiones de carbono debidas a la eliminación de la biomasa se realizó en base a la Ecuación 5 y la Ecuación 6, asumiendo, para el cálculo de Nivel 1, que la vegetación previa a la conversión se eliminaba totalmente ( $B_{\text{DESPUÉS}} = 0$ ) y que en los años siguientes, las acumulaciones y pérdidas en biomasa viva equivalían a cero (IPCC, 2006). Por tanto, la hipótesis por defecto es que todo el carbono de la biomasa se libera a la atmósfera durante el primer año después de la conversión, en el sitio o fuera de él.

En las tierras forestales convertidas en otras tierras, la biomasa forestal anterior a la conversión ( $B_{\text{ANTES}}$ ) se estimó tal y como se ha descrito previamente en el apartado sobre tierras forestales.

#### 4.6.2.2. Materia orgánica muerta: madera muerta y hojarasca

Siguiendo el procedimiento de cálculo de Nivel 1 y Nivel 2 del IPCC, se supuso que no quedó carbono en la biomasa ni en la materia orgánica muerta después de la conversión, es decir, que todas las existencias de carbono en biomasa se emitieron durante el año de la conversión.

En las tierras forestales convertidas en otras tierras, la DOM anterior a la conversión se estimó tal y como se ha descrito previamente en el apartado sobre tierras forestales.

#### 4.6.2.3. Carbono orgánico en suelo

Los cambios de existencias de carbono en los suelos de tierras convertidas en otras tierras se calcularon mediante la Ecuación 7 y la Ecuación 8. Siguiendo el Nivel 1 de cálculo, las existencias previas a la conversión de carbono orgánico del suelo ( $SOC_{(0-T)}$ ) se calcularon a partir de las existencias de carbono orgánico del suelo de referencia por defecto ( $SOC_{REF}$ ), los factores de cambio de existencias para los distintos sistemas ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  y  $F_I$ , que en el caso de las tierras forestales fueron 1.00) y un período de transición por defecto de 20 años. En el Nivel 1, se supone que las existencias de carbono de las “otras tierras” al final del período de transición ( $SOC_0$ ) equivalen a cero.

## 5. EMISIONES DE GEI DISTINTOS AL CO<sub>2</sub> EN EL SECTOR UTCUTS

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O derivados del uso de la tierra se determinaron a partir de la superficie convertida en humedal y de la superficie quemada o incendiada.

### 5.1. Emisiones de CH<sub>4</sub> en humedales

Además de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la conversión de tierras a humedales, en los humedales también se producen emisiones de CH<sub>4</sub>. El método de Nivel 1 para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de las tierras inundadas (Ecuación 10) incluye sólo las emisiones difusoras durante el periodo libre de hielos (las emisiones producidas durante el periodo cubierto de hielos se suponen nulas).

#### Ecuación 10

$$\text{Emisiones de CH}_{4 \text{ ww inundación}} = P \cdot E (\text{CH}_{4})_{\text{dif}} \cdot A_{\text{inundación\_superficie\_total}} \cdot 10^{-6}$$

Donde:

Emisiones de CH<sub>4</sub> WW inundación = total de las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de las tierras inundadas, en Gg de CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>.

P = periodo libre de hielos, en días año<sup>-1</sup> (en el caso de la CAPV, 365 días al año).

E (CH<sub>4</sub>)<sub>dif</sub> = promedio diario de las emisiones difusoras, en kg de CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Se consideró que, en la zona templada cálida húmeda de la CAPV, se emitieron 0.150 kg de CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Cuadro 3A.2 del IPCC 2006), asumiendo que las conversiones en humedal sólo tuvieron lugar en la zona templada húmeda (no en la Rioja Alavesa).

A<sub>inundación\_superficie\_total</sub> = área total de la superficie inundada, incluidas las tierras inundadas, los lagos y ríos, ha. La Ecuación 10 puede utilizarse para las emisiones derivadas del área total de las tierras inundadas, pero sólo se consideraron gestionadas las “tierras convertidas en humedales” por inundación y no la totalidad de los humedales, al igual que se asumió durante la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por difusión.

## 5.2. Emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por incendios de tierras forestales y de pastos

Las emisiones producidas por el fuego incluyen, además, del CO<sub>2</sub>, otros GEI o precursores de éstos que se originan de la combustión incompleta del combustible (CO, CH<sub>4</sub>, compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, etc.) (IPCC, 2006).

Aunque deben estimarse las emisiones de GEI de todo tipo de fuegos (fuegos controlados y naturales) ocurridos en las tierras gestionadas, debido a la falta de información, sólo se tuvieron en cuenta las emisiones procedentes de incendios de la CAPV.

El fuego afecta no sólo la biomasa (en particular la aérea) sino también la materia orgánica muerta (hojarasca y madera muerta), en particular, en las tierras forestales. Si el fuego tiene suficiente intensidad para matar a una parte de la arboleda del bosque, bajo el Nivel 1 de cálculo, se debe suponer que el carbono contenido en la biomasa muerta se libera de inmediato a la atmósfera; esta simplificación puede provocar una sobreestimación de las verdaderas emisiones del año del incendio. Por otro lado, en el Nivel 1 de cálculo, se supone que las emisiones de CO<sub>2</sub> de la DOM (materia orgánica muerta) equivalen a cero en los bosques que se queman, pero que no mueren a causa del fuego. En los inventarios de la CAPV se han asumido ambos supuestos.

En cuanto al stock de carbono inerte muy resistente a la descomposición (carbón vegetal) que puede crearse como consecuencia de los incendios, en el Nivel 1 de cálculo, no se suele incluir por las limitaciones de conocimiento.

Con todo ello, se estimaron, para un Nivel 1 de cálculo, las emisiones de GEI procedentes de los incendios por medio de la Ecuación 11:

### Ecuación 11

$$L_{\text{fuego}} = A \cdot M_b \cdot C_f \cdot G_{\text{ef}} \cdot 10^{-3}$$

Donde:

$L_{\text{fuego}}$  = cantidad de emisiones de GEI provocada por el fuego, en t de cada GEI. En los inventarios de la CAPV se contabilizaron como GEI el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O. Respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> por la combustión de biomasa en tierras de cultivo y pastos, no fueron contabilizadas, porque el IPCC supone que las absorciones anuales de CO<sub>2</sub> (a través del crecimiento) y las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (ya sea por descomposición o fuego) por parte de este tipo de biomasa básicamente anual están en equilibrio.

A = superficie quemada, en ha.

$M_b$  = masa de combustible disponible para la combustión, en t ha<sup>-1</sup>, incluyendo biomasa, hojarasca y madera muerta. No obstante, tal y como ya se ha mencionado, en el Nivel 1 de cálculo, se supone

que los depósitos de hojarasca y madera muerta equivalen a cero, a excepción de los casos en los que hay un cambio en el uso de la tierra.

$C_f$  = factor de combustión, adimensional. No todo el combustible presente se quema (depende de la densidad de combustible presente en la superficie quemada, el tipo de fuego, etc.). El factor de combustión es una medida de la proporción del combustible que realmente se quema.

$G_{ef}$  = Factor de emisión, en  $g\ kg^{-1}$  de DM quemada. Estos valores se tomaron del Cuadro 2.5 del IPCC 2006 (4.7 y 2.3  $g\ CH_4\ kg^{-1}$  y 0.26 y 0.21  $g\ N_2O\ kg^{-1}$ , respectivamente, para tierras forestales fuera de la zona tropical y pastos).

En el caso de las tierras forestales, se estimó la biomasa (aérea y subterránea) quemada ( $M_b$ ) presente a partir de la superficie incendiada, tal y como ya se ha descrito en el apartado sobre tierras forestales, y se consideró que toda ella se quemaba ( $C_f = 1$ ). Mientras que en el caso de pastos quemados, se asumió que se quemaban mayoritariamente matorrales y arbustos, cuyo producto de  $M_b * C_f$  era de 26.7 t DM ha<sup>-1</sup> (IPCC, Cuadro 2.4).

En cuanto a los incendios forestales, para evitar contabilizar sus emisiones dos veces (una vez como pérdida de CO<sub>2</sub> por incendios en el método de “ganancias y pérdidas” ya descrito para las tierras forestales y, otra, como emisiones de otros GEI por incendios), se procedió de la siguiente manera:

- En primer lugar y dado que se desconocía la fracción realmente quemada en los incendios, se asumió que se quemaba toda la biomasa presente (tanto aérea como subterránea).
- Después, se determinó el carbono existente contenido en toda la biomasa forestal presente en la superficie afectada por los incendios.
- Finalmente, el carbono fijado en toda esa biomasa presente se multiplicó por los factores de emisión de CO y CH<sub>4</sub> proporcionados por el IPCC (IPCC, 2006); se asumió que el restante carbono (89.6%), fue emitido como CO<sub>2</sub>. Así, se emitía el 100 % del carbono presente en la biomasa.

La superficie quemada de tierras forestales se obtuvo de Diputaciones Forales, del IF-1996 y del MAGRAMA (tal y como se ha descrito previamente en el apartado sobre tierras forestales). En el caso de pastos (matorrales y pastizales), la superficie quemada se obtuvo de las Diputaciones Forales para el año 1990 y del MAGRAMA para los demás años.

### 5.3. Emisiones de $N_2O$ por conversión de tierras en tierras de cultivo

La conversión de suelos en tierras de cultivo conlleva la mineralización de la materia orgánica y, consecuentemente, la pérdida de carbono orgánico del suelo (SOC) en forma de emisiones de  $CO_2$ , así como la pérdida de nitrógeno orgánico del suelo en forma de emisiones de  $N_2O$ . La pérdida de SOC asociada a estas conversiones se estimó tal y como se ha descrito en el apartado sobre tierras de cultivo, mientras que las emisiones de  $N_2O$  se estimaron (término designado como " $F_{SOM}$ " en el capítulo 11 del volumen 4 del IPCC de 2006), suponiendo que por cada tonelada de SOC emitida se emiten también 0.067 t de nitrógeno en forma de  $N_2O$ . Esta suposición se basa en que el IPCC asume que la relación C/N de la materia orgánica en tierras forestales o en pastos convertidos en cultivos es de 15. Para transformar las emisiones de N a emisiones en forma de  $N_2O$  basta con multiplicarlas, atendiendo a sus masas molecular y atómicas, por 44/28.

## 6. EMISIONES DE GEI NO CONTABILIZADAS EN EL SECTOR UTCUTS

De todas las emisiones que deben ser estimadas en los inventarios de GEI que se realizan para la UNFCCC, en los inventarios de los años 1990 y 2008 de la CAPV no se contabilizaron las que se indican a continuación:

- Emisiones directas de  $N_2O$  derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en las categorías de uso correspondientes a tierras forestales y a otras tierras. Estas emisiones no se estimaron porque los aportes de nitrógeno se consideraron insignificantes, dada la baja proporción de superficies forestales fertilizadas y las reducidas dosis aplicadas.
- Emisiones de  $CO_2$  procedentes de la aplicación de productos encalantes. El encalado empleado para reducir la acidez del suelo puede conducir a la emisión de  $CO_2$ , si dicho encalado es en forma de cal (p.e.,  $CaCO_3$  ó  $CaMg(CO_3)_2$ ), ya que las cales se disuelven y liberan bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), que se convierte en  $CO_2$  y agua. A pesar de la acidez de gran parte de los suelos de la CAPV no se estimaron estas emisiones por dos motivos: la falta de información respecto a cantidades de enmiendas calizas carbonatadas utilizadas y la creencia de que su empleo no ha cambiado significativamente en el período 1990-2008.

**ANEXO II.**  
**COMPARACIÓN DE DOS METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL**  
**CARBONO FIJADO POR LA BIOMASA FORESTAL**

Con el fin de hacernos una idea de la incertidumbre de los inventarios de GEI de los años 1990 y 2008, en particular, en relación con la biomasa forestal de la CAPV, se volvió a estimar la absorción de CO<sub>2</sub> debida al crecimiento de los bosques mediante el método de diferencia de existencias. Recordemos que el IPCC (2006) propone dos métodos igualmente válidos para determinar los flujos de CO<sub>2</sub>: por un lado, el “método de ganancias y pérdidas” y, por otro lado, el “método de diferencia de existencias” (ver Anexo I).

## **1. MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS PARA ESTIMACIÓN DEL CARBONO FIJADO EN LA BIOMASA FORESTAL**

En los inventarios de GEI de los años 1990 y 2008 de la CAPV se utilizó el “método de ganancias y pérdidas” a la hora de estimar las emisiones y absorciones de carbono de la biomasa forestal. Como contrapunto, en este anexo se aplica el “método de diferencia de existencias” que consiste en cuantificar la diferencia de existencias de carbono en la biomasa forestal en dos momentos distintos.

En el caso del inventario del año 1990, los dos momentos que sirvieron para determinar la diferencia en los stocks de carbono fueron 1972 y 1996; mientras que, para el inventario de 2008, los dos momentos que se compararon, para realizar la extrapolación, fueron 1996 y 2005. Estos 3 años (1972, 1996, 2005) se emplearon como referencia porque hay inventarios forestales de todos ellos (IF-1972, IF-1996, IF-2005). También existe el inventario forestal del año 2010, que se hizo como avance del inventario que se espera realizar hacia el año 2015, pero al ser muy reciente no se ha utilizado para aplicar el método de diferencia de existencias.

Las existencias maderables por unidad de superficie (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de los inventarios forestales (IF-1972, IF-1996, IF-2005) se obtuvieron de la página web del MAGRAMA. Las superficies forestales utilizadas en los cálculos fueron las mismas que se emplearon en los inventarios de GEI para el método de ganancias y pérdidas (es decir, una combinación de teledetección con información de inventarios forestales y datos estadísticos). Aplicando la Ecuación 2 del método de diferencia de existencias (Anexo I), se obtuvo el incremento anual de las existencias maderables de los años 1990 y 2008 (Tabla 13).

Tabla 13. Estimación del carbono fijado en la biomasa forestal por el método de diferencia de existencias de carbono: Información de partida. Volumen maderable con corteza ( $m^3$  VCC/ha) obtenido de los inventarios forestales (Fuente: MAGRAMA. [http://www.magrama.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/tablas\\_resumen\\_IFN3.aspx](http://www.magrama.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/tablas_resumen_IFN3.aspx)) y superficie forestal (ha).

Año	Volumen maderable ( $m^3$ VCC/ha)				Tierras forestales (ha)				Volumen maderable ( $m^3$ VCC)				Incremento de biomasa forestal maderable ( $m^3$ VCC/año)				
	IF-1972	IF-1996	IF-2005	IF-2008	Interpolación y extrapolación	1972	1990	2008	2008	1972	1990	2008	2008	1990	2008	1990	2008
Araba	77.01	83.46	108.44	81.8	116.8	98302	126880	133020	7570237	10384811	15532302	156365	285972	159712	250726	418381	955079
Bizkaia	95.27	127.08	144.47	119.1	150.3	126721	125475	129507	12072710	14947523	19460585	295270	418381	955079	240340	403192	955079
Gipuzkoa	70.40	130.68	164.26	115.6	175.5	115327	116200	119489	8119021	13433882	20964743	611347	955079	240340	403192	955079	955079
CAPV	81.00	112.12	137.79	104.3	146.3	340350	368555	382016	27761967	38766216	55957631	611347	955079	240340	403192	955079	955079

Tabla 14. Estimación del carbono fijado en la biomasa forestal por el método de diferencia de existencias de carbono: transformación del incremento de biomasa forestal maderable en incremento de carbono fijado.

Año	Incremento de biomasa forestal maderable ( $m^3$ VCC/año)		<sup>(1)</sup> Factor Expansión (t aéreat/fuste)		<sup>(2)</sup> Densidad (t MS/ $m^2$ )		<sup>(3)</sup> Contenido de C (t C/t MS)		<sup>(4)</sup> Raíces/área (t/t)		Incremento de biomasa forestal (t C/año)	
	1990	2008	1990	2008	1990	2008	1990	2008	1990	2008	1990	2008
Araba	156365	285972	1.45	1.46	0.53	0.54	0.49	0.49	0.27	0.27	74912	138822
Bizkaia	159712	250726	1.28	1.32	0.43	0.46	0.50	0.50	0.26	0.26	55740	94962
Gipuzkoa	295270	418381	1.33	1.37	0.45	0.48	0.50	0.50	0.25	0.25	109687	169409
CAPV	611347	955079									240340	403192

(1), (2), (3) y (4) son valores obtenidos de la Tabla 15.  
MS: Materia seca

**Tabla 15. Estimación del carbono fijado en la biomasa forestal por el método de diferencia de existencias de carbono: obtención de factores para la trans-formación del incremento de biomasa forestal maderable en incremento de carbono fijado.**

TTHH	Grupo especies	Valores empleados en los inventarios de GEI de la CAPV										Superficie por grupo especies (%)		(1) Factor expansión		(2) Densidad madera		(3) Contenido de C		(4) Raíces/aérea	
		Factor Expansión (t aéreal/t fuste)	Densidad (t MS/m <sup>3</sup> )	Contenido de C (t C/t MS)	Raíces/aérea (t/t)	IF-1986 e IF-1996		IF-2005	1990		2005		1990		2005		1990		2005		
						1990	2005		1990	2005	1990	2005	1990	2005	1990	2005	1990	2005			
	<i>Pinus nigra</i>	1.50	0.40	0.51	0.25	3.5	4.2	0.05	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	
	<i>Pinus radiata</i>	1.20	0.38	0.51	0.25	11.5	8.7	0.14	0.10	0.04	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	
	<i>Pinus sylvestris</i>	1.40	0.42	0.51	0.27	11.9	12.1	0.17	0.17	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	
	<i>Pinus halepensis</i>	1.40	0.40	0.51	0.30	0.2	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Quercus ilex</i>	1.60	0.58	0.48	0.37	21.6	23.5	0.35	0.38	0.13	0.14	0.10	0.11	0.11	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	
	<i>Fagus sylvatica</i>	1.40	0.58	0.48	0.18	22.7	23.9	0.32	0.33	0.13	0.14	0.11	0.11	0.11	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	
	<i>Quercus robur</i>	1.50	0.58	0.48	0.28	10.8	7.7	0.16	0.11	0.06	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Eucalyptus</i> spp.	1.40	0.58	0.48	0.28	0.0	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Quercus faginea</i>	1.50	0.58	0.48	0.28	17.7	19.6	0.27	0.29	0.10	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
	<b>Ponderación</b>							<b>1.45</b>	<b>1.46</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.27</b>	<b>0.27</b>	
	<i>Pinus nigra</i>	1.50	0.40	0.51	0.25	4.4	5.5	0.07	0.08	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	<i>Pinus radiata</i>	1.20	0.38	0.51	0.25	70.9	56.7	0.85	0.68	0.27	0.22	0.36	0.29	0.18	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
	<i>Pinus sylvestris</i>	1.40	0.42	0.51	0.27	0.5	0.4	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Pinus halepensis</i>	1.40	0.40	0.51	0.30	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Quercus ilex</i>	1.60	0.58	0.48	0.37	4.7	4.4	0.07	0.07	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	<i>Fagus sylvatica</i>	1.40	0.58	0.48	0.18	2.8	4.0	0.04	0.06	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	<i>Quercus robur</i>	1.50	0.58	0.48	0.28	11.4	18.8	0.17	0.28	0.07	0.11	0.05	0.09	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	
	<i>Eucalyptus</i> spp.	1.40	0.58	0.48	0.28	5.0	9.7	0.07	0.14	0.03	0.06	0.02	0.05	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	
	<i>Quercus faginea</i>	1.50	0.58	0.48	0.28	0.3	0.4	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<b>Ponderación</b>							<b>1.28</b>	<b>1.32</b>	<b>0.43</b>	<b>0.46</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.26</b>	<b>0.26</b>	
	<i>Pinus nigra</i>	1.50	0.40	0.51	0.25	13.8	15.2	0.21	0.23	0.06	0.06	0.07	0.08	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	
	<i>Pinus radiata</i>	1.20	0.38	0.51	0.25	53.1	38.4	0.64	0.46	0.20	0.15	0.27	0.20	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
	<i>Pinus sylvestris</i>	1.40	0.42	0.51	0.27	0.2	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Pinus halepensis</i>	1.40	0.40	0.51	0.30	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Quercus ilex</i>	1.60	0.58	0.48	0.37	1.7	2.1	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	<i>Fagus sylvatica</i>	1.40	0.58	0.48	0.18	14.4	15.0	0.20	0.21	0.08	0.09	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
	<i>Quercus robur</i>	1.50	0.58	0.48	0.28	16.7	28.8	0.25	0.43	0.10	0.17	0.08	0.14	0.05	0.08	0.08	0.14	0.05	0.08	0.08	
	<i>Eucalyptus</i> spp.	1.40	0.58	0.48	0.28	0.1	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<i>Quercus faginea</i>	1.50	0.58	0.48	0.28	0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<b>Ponderación</b>							<b>1.33</b>	<b>1.37</b>	<b>0.45</b>	<b>0.48</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	

MS: Materia seca

Con el fin de transformar el incremento anual de las existencias maderables ( $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ ) en toneladas de carbono ( $\text{t C año}^{-1}$ ), siguiendo la misma lógica de la metodología utilizada para las tierras forestales de los inventarios de GEI del capítulo 2 (IPCC, 2006), las existencias ( $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$ ) fueron multiplicadas por factores de expansión ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), densidad de la madera ( $\text{t m}^{-3}$ ) y contenido de carbono ( $\text{t C/t MS}$ ) y, posteriormente, se sumó el carbono de la biomasa subterránea mediante la relación biomasa radical/biomasa aérea (ver la Tabla 14).

Finalmente, para poder utilizar los factores de expansión, densidades, etc. adecuados en cada territorio histórico y en cada año inventariado, se extrajeron las superficies ocupadas por las distintas especies forestales de los inventarios forestales (IF-1972, IF-1986, IF-1996, IF-2005), se agruparon al igual que para el método de ganancias y pérdidas y los valores de cada parámetro empleado (factores de expansión, densidades, contenido de carbono, etc.) se ponderaron en función de la distribución por grupos de especies, para adecuarlos por territorio y año (ver Tabla 15). Los datos correspondientes al IF-2005 fueron los que se utilizaron para el inventario del año 2008.

## **2. RESULTADOS: INVENTARIOS DE GEI DEL SECTOR UTCUTS APLICANDO EL MÉTODO DE DIFERENCIA DE EXISTENCIAS EN LA BIOMASA FORESTAL**

Al sustituir, dentro de los inventarios de GEI de 1990 y 2008, los resultados de la absorción de carbono en la biomasa forestal obtenida mediante el método de diferencia de existencias, se observó que:

- Las fijaciones de CO<sub>2</sub> del año 2008, al igual que con el método de ganancias y pérdidas, fueron superiores a las del año 1990, pero sólo un 6.4% mayores (Tabla 16); recordemos que, cuando se utilizó el método de ganancias y pérdidas, fueron un 13.2% superiores.
- Las fijaciones de CO<sub>2</sub> en la biomasa forestal fueron mucho menores (en total en la CAPV, un 55.1% menores) que las obtenidas mediante el método de ganancias y pérdidas. Por tanto, en la globalidad del sector UTCUTS, seguían produciéndose absorciones de GEI, pero de un orden de magnitud mucho menor (en total en la CAPV, un 42.2% menores) (Tabla 16).
- Al reducirse la contribución de la biomasa forestal al total del sector UTCUTS, los demás depósitos de carbono adquirirían mayor importancia, en particular, el carbono orgánico del suelo (Tabla 17); así, el 42% y el 12% de las fijaciones de CO<sub>2</sub> se produjeron en los suelos en el año 1990 y 2008, respectivamente (frente al 25% y 7%, que se fijaban en los suelos al utilizar el método de ganancias y pérdidas en la biomasa forestal).

Tabla 16. Resultados de emisiones (-) y absorciones (+) de GEI (transformados en equivalentes de CO<sub>2</sub>) de los inventarios de 1990 y 2008, en función de categorías de uso y por territorios históricos, aplicando el método de la diferencia de existencias en la biomasa forestal.

Categorías de uso de la tierra	Equivalentes de CO <sub>2</sub> (Gg CO <sub>2</sub> -eq año <sup>-1</sup> )		Emisiones (-) y fijaciones (+)					
	1990	2008	2008	% respecto al total del año 1990	2008	% respecto al total del TTHH 1990	2008	
<b>ARABA</b>								
Tierras forestales	482	539	30.1	31.7	101.2	81.2		
Tierras de cultivo	0	31	0.0	1.8	0.0	4.6		
Pastos	-1	115	-0.1	6.7	-0.2	17.3		
Humedales	-3	0	-0.2	0.0	-0.7	0.0		
Asentamientos	-1	-20	-0.1	-1.2	-0.3	-3.0		
Otras tierras	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0		
<b>TOTAL</b>	<b>477</b>	<b>665</b>	<b>29.8</b>	<b>39.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>		
<b>BIZKAIA</b>								
Tierras forestales	197	364	12.3	21.3	38.7	95.3		
Tierras de cultivo	0	14	0.0	0.8	0.0	3.7		
Pastos	318	45	19.9	2.6	62.5	11.8		
Humedales	-1	0	0.0	0.0	-0.1	0.0		
Asentamientos	-5	-41	-0.3	-2.4	-1.0	-10.6		
Otras tierras	0	0	0.0	0.0	0.0	-0.1		
<b>TOTAL</b>	<b>509</b>	<b>382</b>	<b>31.8</b>	<b>22.4</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>		
<b>GIPUZKOA</b>								
Tierras forestales	389	634	24.3	37.2	63.3	96.5		
Tierras de cultivo	0	4	0.0	0.2	0.0	0.6		
Pastos	228	33	14.3	2.0	37.1	5.1		
Humedales	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Asentamientos	-2	-13	-0.1	-0.8	-0.4	-2.0		
Otras tierras	0	-1	0.0	0.0	0.0	-0.1		
<b>TOTAL</b>	<b>615</b>	<b>657</b>	<b>38.4</b>	<b>35.6</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>		
<b>CAPV</b>								
Tierras forestales	1068	1537	66.7	90.2	66.7	90.2		
Tierras de cultivo	0	49	0.0	2.9	0.0	2.9		
Pastos	545	193	34.1	11.3	34.1	11.3		
Humedales	-4	0	-0.3	0.0	-0.3	0.0		
Asentamientos	-9	-74	-0.6	-4.3	-0.6	-4.3		
Otras tierras	0	-1	0.0	-0.1	0.0	-0.1		
<b>TOTAL</b>	<b>1601</b>	<b>1704</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>		

Tabla 17. Porcentaje de carbono en cada depósito (biomasa, materia orgánica muerta y carbono orgánico del suelo) implicado en el balance de carbono, en los años 1990 y 2008 en la CAPV, tras aplicar el método de diferencia de existencias en la biomasa forestal.

		1990				2008			
		Biomasa	DOM	SOC	Balance C	Biomasa	DOM	SOC	Balance C
CAPV	<b>Tierras Forestales</b>	<b>80</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>100</b>
	FF	100	0	0	100	100	0	0	100
	CF	23	20	57	100	39	1	60	100
	GF	54	46	0	100	62	38	0	100
	OF	-	-	-	-	40	25	34	100
	<b>Tierras de Cultivo</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>71</b>	<b>-1</b>	<b>31</b>	<b>100</b>
	CC	-	-	-	-	69	0	31	100
	FC	-	-	-	-	46	17	37	100
	<b>Pastos</b>	<b>3</b>	<b>-1</b>	<b>98</b>	<b>100</b>	<b>-10</b>	<b>-4</b>	<b>114</b>	<b>100</b>
	GG	-	-	-	-	0	0	100	100
	FG	70	30	0	100	71	29	0	100
	CG	4	0	96	100	2	0	98	100
	<b>Humedales</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	WW	-	-	-	-	-	-	-	-
	CW	100	0	0	100	-	-	-	-
	<b>Asentamientos</b>	<b>39</b>	<b>0</b>	<b>61</b>	<b>100</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>66</b>	<b>100</b>
	SS	-	-	-	-	-	-	-	-
	FS	-	-	-	-	58	19	23	100
	CS	39	0	61	100	31	0	69	100
	GS	-	-	-	-	29	0	71	100
	WS	-	-	-	-	29	0	71	100
	<b>Otras tierras</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>58</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>100</b>
	OO	-	-	-	-	-	-	-	-
FO	-	-	-	-	58	19	22	100	
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>100</b>	<b>86</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	

Las notables diferencias en las fijaciones de CO<sub>2</sub> en la biomasa forestal obtenidas al emplear distintos métodos de cuantificación (método de ganancias y pérdidas frente a diferencia de existencias), se debe principalmente a que la velocidad de absorción de carbono calculada en función de las tasas de crecimiento esperadas en la CAPV es mucho mayor (Tabla 18), que la calculada en función de los incrementos de biomasa generales estimados a partir de los inventarios forestales (Tabla 19).

De hecho, estas últimas se aproximan más a la velocidad media de fijación o secuestro de carbono en suelos forestales que en biomasa forestal. En este sentido, después de una mejora del manejo de suelos forestales mediante actividades como la regeneración forestal, la fertilización, la elección

de especies y la reducción de la degradación forestal, se estima que la velocidad media de secuestro de carbono en esos suelos forestales es de  $0.53 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (FAO, 2001). Por otro lado, en otros documentos elaborados en la CAPV con objeto de mejorar la gestión de los bosques se citan incrementos de biomasa forestal aérea del orden de  $1058199 \text{ t C año}^{-1}$  para una superficie forestal total de la CAPV de  $396701 \text{ ha}$ , lo cual supone una fijación de  $2.67 \text{ t C ha}^{-1}$  (Basalde, 2009), que es superior a los incrementos de biomasa forestal utilizados en el método de diferencia de existencias y bastante similar a las tasas de crecimiento empleadas en el método de ganancias y pérdidas.

**Tabla 18. Estimación de la fijación anual de carbono en la biomasa forestal, en función de las tasas de crecimiento de la CAPV. Valores empleados en el método de ganancias y pérdidas de las tierras forestales de los inventarios de GEI.**

Agrupación de especies	Crecimiento anual de biomasa (t MS/ha y año)			Crecimiento anual de biomasa (t C/ha y año)		
	Aérea	Subterránea	Total	Aérea	Subterránea	Total
<i>Pinus nigra</i>	5.24	1.31	6.55	2.67	0.67	3.34
<i>Pinus radiata</i>	5.39	1.35	6.74	2.75	0.69	3.44
<i>Pinus sylvestris</i>	3.86	1.04	4.90	1.97	0.53	2.50
<i>Pinus halepensis</i>	4.02	1.21	5.22	2.05	0.62	2.66
<i>Quercus ilex</i>	3.01	1.12	4.13	1.44	0.54	1.98
<i>Fagus sylvatica</i>	3.12	0.56	3.68	1.50	0.27	1.77
<i>Eucalyptus</i> spp.	13.77	3.83	17.60	6.61	1.84	8.45
<i>Quercus faginea</i>	2.57	0.72	3.29	1.23	0.35	1.58
<i>Quercus robur</i>	4.73	1.32	6.06	2.27	0.63	2.91

**MS: materia seca.**

**En el cálculo se emplearon valores de  $0.51$  y  $0.48 \text{ t C/t MS}$  para las coníferas y frondosas, respectivamente.**

**Tabla 19. Estimación de la fijación anual de carbono en la biomasa forestal por el método de diferencia de existencias de carbono, a partir del volumen maderable con corteza (m<sup>3</sup> VCC/ha) obtenido de los inventarios forestales (Fuente: MAGRAMA).**

Año	Volumen maderable (m <sup>3</sup> VCC/ha)					Incremento de biomasa forestal (t C/ha y año)	
	IF-1972	IF-1996	IF-2005	Interpolación y extrapolación		1990	2008
	1972	1996	2005	1990	2008		
<b>Araba</b>	77.01	83.46	108.44	81.8	116.8	0.13	1.35
<b>Bizkaia</b>	95.27	127.08	144.47	119.1	150.3	0.46	0.73
<b>Gipuzkoa</b>	70.40	130.68	164.26	115.6	175.5	0.93	1.51

En el cálculo se emplearon los valores (1), (2), (3) y (4) de la Tabla 14.

**ANEXO III.  
CONVERSIÓN DE TASAS DE CRECIMIENTO FUSTAL  
EN ABSORCIÓN DE CARBONO**

A la hora de convertir las tasas de crecimiento fustal estimadas para la CAPV ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) en absorción de carbono ( $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), siguiendo la misma lógica de la metodología utilizada para las tierras forestales de los inventarios de GEI del Anexo I (IPCC, 2006), las tasas de crecimiento fustal ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) fueron multiplicadas por factores de expansión ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), densidad de la madera ( $\text{t m}^{-3}$ ) y contenido de carbono ( $\text{t C/t MS}$ ) y, finalmente, se sumó el carbono de la biomasa subterránea mediante la relación biomasa radical/biomasa aérea.

Toda esta información (factores de expansión, densidad de la madera, contenido de carbono, relación entre biomasa subterránea y biomasa aérea) se resume en la Tabla 20, si bien ya está recogida en el Anexo I.

**Tabla 20. Datos utilizados para la transformación de las tasas de crecimiento fustal en incrementos de carbono fijado.**

Grupo especies	Valores empleados en los inventarios de GEI de la CAPV			
	Factor Expansión (t aérea/t fuste)	Densidad (t MS/m <sup>3</sup> )	Contenido de C (t C/t MS)	Raíces/aérea (t/t)
<i>Pinus nigra</i>	1.50	0.40	0.51	0.25
<i>Pinus radiata</i>	1.20	0.38	0.51	0.25
<i>Pinus sylvestris</i>	1.40	0.42	0.51	0.27
<i>Pinus halepensis</i>	1.40	0.40	0.51	0.30
<i>Quercus ilex</i>	1.60	0.58	0.48	0.37
<i>Fagus sylvatica</i>	1.40	0.58	0.48	0.18
<i>Quercus robur</i>	1.50	0.58	0.48	0.28
<i>Eucalyptus spp.</i>	1.40	0.58	0.48	0.28
<i>Quercus faginea</i>	1.50	0.58	0.48	0.28

MS: materia seca

**ANEXO IV.  
CARBONO ORGÁNICO EN SUELO**

En este Anexo se describen los detalles sobre las dos metodologías utilizadas en el capítulo 4 sobre estimación de la capacidad de fijación de carbono de los suelos de la CAPV. Estas dos metodologías son: los modelos de dinámica empleados en suelos forestales de la vertiente atlántica y los análisis de muestras de suelo.

## 1. POTENCIAL DE FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS FORESTALES DE LA CAPV: MODELOS DE DINÁMICA

### 1.1. Fundamentos de los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo

La mayoría de los modelos de dinámica de materia orgánica del suelo (MOS) representan la MOS como un conjunto heterogéneo de sustancias orgánicas con tres reservorios que difieren en su velocidad intrínseca de descomposición (Figura 4). Estos modelos tienen también en cuenta los factores que inciden en el control de la descomposición (temperatura, humedad, propiedades fisicoquímicas, etc.). Algunos de ellos asumen la linealidad entre los aportes de carbono y el stock de carbono en el suelo en equilibrio, sugiriendo que este stock puede incrementar sin límite mientras haya aporte de carbono. Sin embargo, algunos suelos que se encuentran en equilibrio presentan un incremento nulo o casi nulo aunque haya aporte de carbono, concluyendo, que los suelos tienen un límite de saturación de carbono, es decir, tienen una capacidad limitada de estabilizar carbono (Stewart *et al.*, 2007; Six *et al.*, 2002).

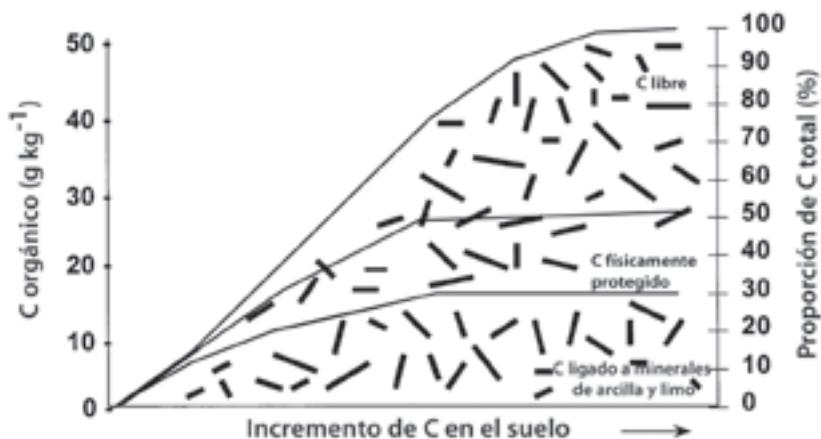


Figura 4. Modelo conceptual del contenido de la materia orgánica del suelo (MOS) y su proporción en los diferentes reservorios para suelos forestales templados. Adaptado de Carter (2002) y John *et al.* (2005).

---

El límite de saturación de carbono de un suelo se define como la máxima capacidad de un suelo de estabilizar carbono. Dicha capacidad de estabilizar carbono del suelo, viene dada por 3 reservorios capaces de saturación. Estos 3 reservorios son los siguientes (Figura 4):

**a) MOS no-protegida o libre (pool activo).**

La fracción de la MOS no-protegida representa el reservorio más fácilmente mineralizable. Es decir, la mayoría de estos materiales pueden ser metabolizados en un tiempo relativamente breve: de unos pocos meses a pocos años. Este reservorio activo es la mayor fuente de nutrientes, fácilmente accesible para los microorganismos y comprende la mayoría del nitrógeno mineralizable.

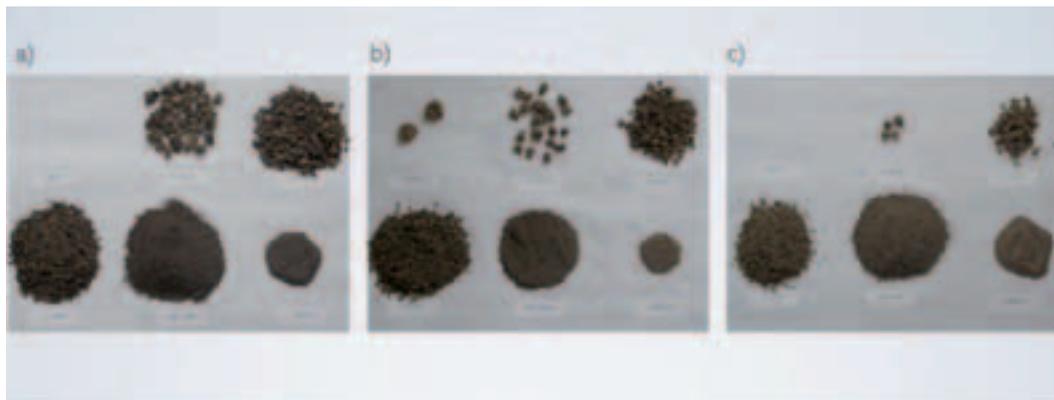
Es responsable de gran parte de los efectos beneficiosos relativos a compactabilidad, facilidad de laboreo y capacidad de retención de agua (Carter, 2002), así como del mantenimiento de la diversidad de la mesofauna (Hirsch *et al.*, 2009) El pool activo puede ser rápidamente incrementado por la adición de residuos frescos de plantas y animales, pero también se pierde rápidamente cuando se reducen tales adiciones o se intensifica la gestión (Cambardella and Elliot, 1992; Imaz *et al.*, 2010; Gartzia-Bengoetxea *et al.*, 2009a).

Este reservorio raramente comprende más del 10 ó 20% del total de MOS en tierras de cultivo o pastos. Sin embargo, en suelos forestales puede llegar a suponer hasta el 50% de la MOS. Esto se debe principalmente a la calidad de la hojarasca y a la actividad microbiana de estos suelos. La baja biodisponibilidad de la hojarasca en comparación con los residuos orgánicos de otros sistemas y la baja actividad microbiana de los suelos ácidos, característicos de los bosques templados, favorecen la acumulación de la materia orgánica libre (John *et al.*, 2005).

**b) MOS físicamente protegida.**

A medida que la materia orgánica (MO) libre se descompone e interacciona con los componentes minerales del suelo, ésta queda protegida por oclusión en el interior de los agregados (o unidades estructurales) recién formados (Tisdall and Oades, 1982). La dinámica de formación de agregados en la mayoría de los suelos templados tiene como resultado que el grado de protección de la MOS es mayor cuanto menor es la clase de agregado en el que está ocluido, de tal manera que la protección es mayor para la MOS ocluida dentro de los microagregados (50-250  $\mu\text{m}$ ), que para la ocluida dentro de macroagregados (>250  $\mu\text{m}$ ) y la de ésta mayor que la que se localiza fuera de microagregados (Carter, 1996; Christensen, 1996).

Esta función de estabilización y almacenamiento de carbono es especialmente importante en los suelos en los que se utilizan sistemas de manejo intensivos (laboreo, subsolado,...), ya que éstos, exponen la MOS ocluida en los agregados a los microorganismos que son así capaces de metabolizarla (Six *et al.*, 2004; Gartzia-Bengoetxea *et al.*, 2009c) (Figura 5). La MOS físicamente protegida o agregada regula la infiltración de aire y agua y la estabilidad del suelo por lo que se puede utilizar como indicador asociado a procesos de permeabilidad y erosionabilidad (Feller and Beare, 1997).



**Figura 5. Distribución de agregados de los primeros 5 cm de suelos bajo pinares de segunda rotación: a) pinar en estado fustal sin mecanizar, b) pinar en estado latizal (plantación realizada con maquinaria pesada) y c) pinar en estado repoblado (plantación realizada con maquinaria pesada).**

#### **c) MOS ligada a minerales de arcilla y limos (o capacidad predeterminada).**

Este reservorio está asociado a las propiedades coloidales del humus del suelo y es responsable de la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) e incide directamente en la capacidad de retención de agua. Además, la adsorción de las moléculas orgánicas en las superficies minerales promueve la formación de superficies hidrófobas dejando inaccesible dicha MOS para los microorganismos (Ludwig *et al.*, 2008).

Los minerales de arcilla y limo tienen la capacidad de formar complejos organo-minerales muy estables (> 100 años de duración en el suelo) gracias a la formación de complejos entre los grupos aniónicos y/o catiónicos de la MO con los compuestos minerales procedentes de la roca original. La capacidad estabilizadora de carbono en la fracción mineral de un suelo viene, por lo tanto, predeterminada por la cantidad de arcilla y limo de ese suelo, que depende a su vez, en gran medida y en suelos jóvenes como los de la CAPV, de la litología original.

La cantidad de carbono ligada a esta fracción aumenta o disminuye muy lentamente, ya que es la fracción más protegida. Sin embargo, aunque sea la menos sensible a las prácticas de manejo del suelo, se puede perder mucho carbono en los suelos intensamente manejados, pudiendo mostrar éstas cantidades inferiores a la de la capacidad predeterminada del suelo. Esta fracción supone alrededor del 30% de la MOS de la mayoría de los suelos (Figura 4).

## 1.2. Metodología para determinación de la capacidad predeterminada de almacenar carbono en suelos forestales y del potencial de secuestro de carbono

Teniendo en cuenta que la capacidad predeterminada de almacenar carbono es del orden del 30% de la MOS en la mayoría de los suelos, que la capacidad predeterminada depende del contenido de arcillas y limos y que, a su vez, la cantidad de arcillas y limos depende en gran medida –especialmente, en suelos jóvenes, como los de la CAPV- de la litología subyacente, se procedió a estudiar el mapa litológico de la CAPV.

El mapa litológico de la CAPV es un resumen del mapa geológico a escala 1:25000 realizado por el EVE (Ente Vasco de la Energía) en 1999 en el que se agrupaban las clases geológicas según sus características fisicoquímicas (Gobierno Vasco, 2011). A pesar de esta agrupación, el mapa litológico presenta 200 grupos diferentes. Esta gran cantidad de información hace de este mapa una herramienta poco útil como base de las propuestas de gestión.

Por ello, se resumió la información del mapa litológico uniendo los grupos presentes mediante algoritmos matemáticos en base a las analíticas de muestras de suelo para obtener un mapa útil como base de propuestas de gestión. De esta manera, se realizaron 10 grupos homogéneos (*clusters*) en cuanto a textura y pH con el algoritmo k-medias utilizando las analíticas de 1180 muestras forestales de suelo (0-25 cm) analizadas en los laboratorios de NEIKER-Tecnalia para los planes de gestión de certificación forestal PEFC entre los años 2005 y 2010.

Estas muestras eran de rodales georreferenciados situados en Bizkaia y en la vertiente cantábrica de Araba. Aún así, se consideró que la zona de estudio representaba adecuadamente a las masas forestales de la zona atlántica de la CAPV, incluyendo también Gipuzkoa, porque representaban a 4 especies forestales (*Pinus radiata*, *Eucaliptus* sp., *Pseudotsuga menziesii* y *Fagus sylvatica*) que ocupan el 61% de la superficie forestal de la vertiente atlántica aproximadamente (el 48%, 5%, 1% y el 7% de la superficie forestal de la vertiente atlántica están ocupadas por el pino radiata, el eucalipto, el abeto Douglas y el haya, respectivamente). La representación de estas especies nos permitiría tener una imagen bastante real del paisaje forestal de la zona atlántica de la CAPV.

Los 10 grupos litológicos homogéneos o *clusters* clasificaron adecuadamente el 91% de las muestras. Sin embargo, algunas zonas se clasificaron como “desconocido” ya que no había información analítica suficiente para su clasificación. Una vez abreviado el mapa litológico, se asignó a cada cluster el nombre de la litología más abundante en él y que mejor representaba las características de textura y pH del mismo.

Para cada uno de estos *clusters*, se determinó el contenido medio de arcillas y limos, así como el valor medio de pH utilizando la media aritmética de los valores de las analíticas realizadas. De esta manera, se pudo calcular para cada cluster la capacidad estabilizadora de carbono en la fracción mineral (capacidad predeterminada) mediante un modelo desarrollado por Six *et al.* (2002).

Posteriormente, a fin de determinar la capacidad máxima de estabilización de carbono de los suelos se calculó el porcentaje sobre el potencial de secuestro basándonos en que, según los modelos de dinámica de MOS, la capacidad predeterminada de un suelo en función de su contenido en arcillas y limos supone el 30% del potencial de secuestro aproximadamente.

### 1.3. Metodología para determinación de las existencias de carbono de los suelos forestales de la vertiente atlántica de la CAPV

Las 1180 muestras utilizadas para estimar la capacidad predeterminada de almacenar carbono en suelos forestales, también se emplearon para determinar el carbono orgánico de suelos que sustentaban 3 especies forestales productivas de la zona de la vertiente atlántica de la CAPV (Bizkaia y Álava cantábrica): *Eucalyptus globulus* Labill., *Pinus radiata* D. Don y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Debido a la coyuntura económica del sector forestal y sanitaria de las masas forestales de la CAPV, en Bizkaia se está intensificando el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus nitens* en antiguos rodales de *Pinus radiata*. Por esta razón, las parcelas en las que se estableció esta especie se consideraron pertenecientes a las de pino.

Por otro lado, se utilizaron otras 48 muestras de suelo de la red BASONET para caracterizar los suelos de las parcelas sobre las que se asentaba *Fagus sylvatica*.

Las masas de pinos, eucaliptos y abeto Douglas, se diferenciaron en repoblado, monte bravo, latizal y fustal según Cantero *et al.* (1995). Todas las masas de haya se consideraron juntas sin diferenciación de estado de masa.

Las existencias de carbono del suelo por hectárea se calcularon multiplicando la concentración de carbono orgánico total de las 1228 muestras analizadas, por su densidad aparente y la profundidad muestreada (25 cm).

La densidad aparente del suelo fue estimada mediante las siguientes ecuaciones de pedotransferencia desarrolladas por NEIKER-Tecnalia para suelos forestales, a partir del análisis de 300 muestras de la Red BASONET:

- En suelos con un contenido de arcilla (clasificación USDA) inferior o igual al 45%:

$$D_{\text{aparente}} = -0.2135 * \ln(\text{MO}) + 1.3185$$

- En suelos con un contenido de arcilla (clasificación USDA) superior al 45%:

$$D_{\text{aparente}} = -0.1741 * \ln(\text{MO}) + 1.247$$

- En suelos cuya textura se desconocía:

$$D_{\text{aparente}} = -0.2066 * \ln(\text{MO}) + 1.3062$$

Donde,

$D_{\text{aparente}}$ : densidad aparente, en  $\text{g cm}^{-3}$  ó  $\text{Mg m}^{-3}$ .

MO: contenido en materia orgánica, en porcentaje.

Una vez determinado el stock de carbono de las muestras analizadas y clasificadas según su estado de masa, se utilizó el Inventario Forestal Nacional de 2005 (IF-2005) para poder distribuir geográficamente los valores de materia orgánica a toda la zona de estudio.

---

## 2. APROXIMACIÓN A LA FIJACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS SUELOS DE LA CAPV: ANÁLISIS DE SUELOS

### 2.1. Existencias de carbono de los suelos forestales y no-forestales de la CAPV

Las existencias de carbono de los suelos de la CAPV, ya fueran forestales o no, se obtuvieron a partir de las determinaciones de materia orgánica de un total de 8800 muestras aproximadamente de suelo analizadas hacia el año 1995 y hacia el año 2006. Las cantidades de carbono orgánico de los primeros 30 cm de suelo de estos puntos de muestreo fueron interpoladas mediante Sistemas de Información Geográfica para obtener un mapa de carbono.

En este apartado se describen aspectos metodológicos considerados para obtener información sobre las existencias de carbono a partir de estos numerosos análisis de suelo.

#### 2.1.1. Fuentes de información, ámbito geográfico y usos del suelo

En el estudio se recopilaron 8801 datos de suelo de todo el territorio de la CAPV. Por un lado, se recopilaron 7211 datos (922 en torno al año 1995 y 6289 en torno al año 2006) que pudieron ser localizados mediante coordenadas geográficas (UTMs). Y por otro lado, también se recopilaron otros 1590 datos de fechas próximas al año 1995 que no se pudieron ubicar por UTM, pero sí por municipios (por tanto, un total de 2512 datos).

Se trató de asociar todos estos datos a usos de la tierra similares a los propuestos por el IPCC (ver capítulo 2), de manera que finalmente se obtuvieron los siguientes usos del suelo, a partir del mapa de vegetación del Gobierno Vasco del año 2005:

- FC: Tierras forestales con especies coníferas
- F: Tierras forestales con especies frondosas
- M-P: matorrales, pastizales de altura y herbazales.
- G: pastos, en general, incluyendo prados y praderas, pero excluyendo los M-P.
- C: tierras de cultivo, incluyendo cultivos extensivos y huertas y excluyendo frutales y viñedos.
- frut: tierras con árboles frutales, distintos a los viñedos.
- V: tierras con viñedos.

### 2.1.2. Fechas de muestreo

Se recopilaron 8801 datos sobre análisis de suelos de distintas fuentes y se agruparon por fechas en torno a dos años: 1995 y 2006 (Figura 6).

La mitad de los datos agrupados en torno al año 1995 (mediana: mayo de 1995), eran anteriores a mayo de 1995 (1977-1995) y la otra mitad posteriores (1995-2003). El 50% de los datos se concentraba en el período 1991-2001.

En cuanto a los datos agrupados en torno al año 2006, la mitad de los datos eran del período 2001-2006 y la otra mitad del período 2006-2010 (mediana: marzo de 2006); la mitad de los datos se encontraba aglutinado en el período 2005-2008.

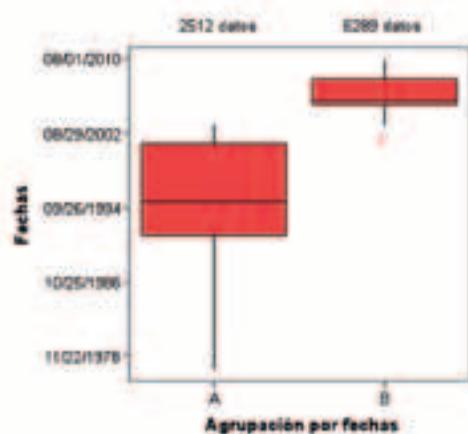


Figura 6. Agrupación de datos de análisis de carbono en suelo en torno a dos años: 1995 y 2006. En el *boxplot* se representan: número de muestras (arriba), percentil 50 (línea central del rectángulo), percentiles 25 y 75 (límites del rectángulo), máximo y mínimo excluyendo *outliers* (barras del rectángulo), *outliers* o valores entre 1.5 y 3 veces superiores a la longitud del rectángulo (círculos) y valores extremos o más de 3 veces superiores a la longitud del rectángulo (no hay).

### 2.1.3. Método de determinación de materia orgánica

A pesar de la diversidad de procedencia de los datos recopilados, todas las determinaciones de carbono orgánico de los suelos se realizaron mediante digestión por vía húmeda, utilizando un exceso de dicromato potásico en medio ácido y aporte de calor. El exceso de dicromato se valoró con sal de Mohr. Al ser una valoración redox, el método determina equivalentes de carbono y, asumiendo que la materia orgánica tiene un estado de oxidación de 0, se pasan los equivalentes de carbono a gramos de carbono. Además, el resultado final de contenido de carbono se transforma a contenido de materia orgánica, asumiendo que el 58% de la materia orgánica está constituida por carbono.

Por medio de este método no se oxida totalmente el carbono orgánico; a menudo, la fracción de carbono no oxidable con dicromato corresponde a formas carbonizadas.

#### **2.1.4. Densidad aparente: transformación del porcentaje de carbono en cantidad por unidad de superficie**

Para transformar los porcentajes de carbono de las muestras de suelo en cantidades de carbono por unidad de superficie ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), se utilizó la densidad aparente del suelo:

$$C (\text{Mg ha}^{-1}) = C (\%) * D (\text{Mg m}^{-3}) * \text{Profundidad (m)} * 100$$

Donde,

C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ): cantidad de carbono contenida por unidad de superficie (en  $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

C (%): contenido de carbono de la muestra de suelo, en %.

D ( $\text{Mg m}^{-3}$ ): densidad aparente del suelo, en  $\text{Mg m}^{-3}$ .

Profundidad (m): profundidad de muestreo, en metros.

No siempre se dispuso del dato de densidad aparente, ni de textura, por lo que se emplearon funciones de pedotransferencia desarrolladas en NEIKER-Tecnalia que permitían estimar la densidad aparente de un suelo a partir de su contenido en materia orgánica (ver el apartado anterior de este mismo Anexo).

#### **2.1.5. Distribución del carbono en profundidad del perfil de suelo hasta 30 cm de profundidad**

Se decidió determinar la cantidad de carbono en los 30 cm superiores de suelo, ya que el IPCC (IPCC, 2006) asume que es la profundidad sobre la que más fácilmente pueden influir las actividades antrópicas.

Sin embargo, en algunos casos, no se disponía del contenido de carbono de los primeros 30 cm de profundidad del suelo. En los casos en los que se habían analizado varios horizontes que iban más allá de los 30 cm, se ponderaron sus contenidos en carbono para obtener sólo la cantidad presente en los primeros 30 cm.

En los casos en los que se analizó una profundidad menor de 30 cm, se estimó la distribución del carbono hasta los 30 cm, de acuerdo a los perfiles de suelo de la CAPV que se disponían. A partir del estudio de estos perfiles, se utilizaron las siguientes aproximaciones:

Cuando sólo se disponía de los 10 primeros centímetros de profundidad:

$$C_{0-30\text{cm}} = C_{0-10\text{cm}} * 1.7$$

Cuando sólo se disponía de los 15 primeros centímetros de profundidad:

$$C_{0-30\text{cm}} = C_{0-15\text{cm}} * 1.3$$

Cuando sólo se disponía de los 25 primeros centímetros de profundidad:

$$C_{0-30\text{cm}} = C_{0-25\text{cm}} * 1.06$$

Donde,

$C_{0-30\text{cm}}$ : cantidad de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los primeros 30 cm del perfil del suelo.

$C_{0-10\text{cm}}$ : cantidad de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los primeros 10 cm del perfil del suelo.

$C_{0-15\text{cm}}$ : cantidad de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los primeros 15 cm del perfil del suelo.

$C_{0-25\text{cm}}$ : cantidad de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los primeros 25 cm del perfil del suelo.

Si bien se han considerado la densidad aparente y la profundidad de muestreo, otras características como las existencias de carbono en el mantillo o el volumen de elementos gruesos no se han tenido en cuenta.

### 2.1.6. Interpolación espacial del carbono del suelo

Una vez, realizadas las conversiones necesarias para obtener la cantidad de carbono por unidad de superficie presente en los 30 cm superiores de suelo ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), se localizaron geográficamente los puntos de muestreo mediante un SIG (Sistema de Información Geográfica). El SIG empleado fue ArcMap 10.0 (©Esri) que dispone de varios métodos para poder realizar la interpolación de datos en función de su localización espacial.

El método de interpolación empleado fue el "IDW" ("Inverse Distance Weighted"-Distancia inversa Ponderada), que es, junto con el "Kriging" uno de los más utilizados en los estudios de análisis de la variación espacial. El primero es un método determinístico, mientras que el segundo es un método probabilístico (interpolador geoestadístico).

El método IDW utiliza un algoritmo simple basado en distancias, asumiendo que las predicciones para un determinado punto geográfico son una combinación lineal de los datos y dando más peso a los valores que se encuentran espacialmente cercanos a dicho punto geográfico (Johnston *et al.*, 2001).

Kravchenko (2003), recomienda el IDW para bases de datos pequeñas, en donde los parámetros del variograma no son conocidos, también cuando la distancia de muestreo es muy grande e inclu-

so para cuando la distancia de muestreo es mayor al rango de la correlación espacial. Con relación a esto es importante mencionar que la precisión de las estimaciones es influenciada por la varianza aleatoria, la estructura de variación, y por la intensidad de muestreo (Lozano *et al.* 2004).

Para aquellos usos de suelo para los que se dispuso de muchos puntos de muestreo (coníferas, frondosas, pastos, conjunto de cultivos-huertos-frutales de la vertiente mediterránea y viñedos de la vertiente mediterránea), se realizaron interpolaciones separadas para cada uso. En el caso de los usos de suelo con menos abundancia de datos de muestreo, se asignó la concentración media del uso (para los viñedos, cultivos, huertos y frutales de la vertiente atlántica) o se realizó la interpolación con todos los datos de usos similares (en el caso de los matorrales-pastizales, se interpolaron conjuntamente los datos de muestreo de suelos con coníferas, frondosas y matorrales).

Finalmente, se combinaron los resultados de carbono obtenidos en cada uso, para dar lugar a un único mapa de carbono orgánico en suelo.



**ANEXO V.**  
**MEDIDAS CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TIERRAS**  
**FORESTALES, DE PASTO Y DE CULTIVO**

## 1. MEDIDAS EN TIERRAS FORESTALES

Las medidas u opciones silviculturales<sup>1</sup> a adoptar para secuestrar más carbono en los suelos forestales podrían ser:

- **Forestación/reforestación:** forestación/reforestación de tierras abandonadas, marginales, degradadas o con riesgo de degradación para aumentar la superficie forestal sin comprometer otros usos como la agricultura y la ganadería. Las posibilidades de forestación/reforestación en la CAPV son limitadas, sobre todo en la vertiente cantábrica, debido a que la superficie forestal actual es ya considerable teniendo en cuenta los requerimientos socio-económicos de los distintos sectores de producción primaria. No obstante, uno de los compromisos dentro de la Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible (2002-2020) era aumentar para el año 2012 la superficie de bosque autóctono en un 10% con respecto a la superficie del año 2001 y un 20% para el año 2020.

En general, se debería favorecer un mosaico de aprovechamientos forestales, pascícolas, y agrícolas que tenga en cuenta clima, pendiente, riesgo de erosión, tipo de suelo, necesidad de protección de grandes reservorios de agua, etc.

Las **replantaciones/regeneraciones** forestales tienen, en principio, un menor potencial para secuestrar carbono orgánico en suelos que las forestaciones/reforestaciones. Sin embargo, al igual que en estas últimas, existe el potencial de acumular carbono orgánico en la biomasa forestal. En el caso de llevar a cabo **repoblaciones** forestales en montes desarbolados se aconseja que éstas se realicen cuando la fertilidad del suelo de estos montes sea demasiado baja para dedicarlos a pastos o donde haya una pendiente excesiva para tal fin (>30% pendiente).

**Selección de especies:** elección de especies y procedencias forestales que presenten un correcto desarrollo en las condiciones edafoclimáticas actuales y futuras<sup>2</sup> (derivadas del cambio climático), junto con las características deseadas de productividad y calidad de la madera, sin comprometer otras funciones como el mantenimiento de la biodiversidad. Recordemos que la diversidad biológica está directamente relacionada con el tipo y características de la vegetación y fauna que la conforma y con la función fundamental de cada área caracterizada entre otros aspectos mediante la variedad de especies.

---

<sup>1</sup> Medidas basadas en el informe interno "NEIKER-IHOBE, 2004. Estudio sobre la potencialidad de los suelos y la biomasa de zonas agrícolas, pascícolas y forestales de la CAPV como sumideros de carbono".

<sup>2</sup> Se puede consultar el impacto del cambio climático en la distribución potencial futura en varias de las especies forestales presentes actualmente en la CAPV a través de las modelizaciones que se están llevando a cabo mediante modelos de simulación de nicho ecológico en el marco del proyecto K-egokitzen (<http://www.neiker.net/k-egokitzen/inicio.html>).

La selección de especies no debe comprometer la conservación de los recursos genéticos que garanticen la diversidad genética forestal. Es decir, que la utilización de material forestal reproductivo selecto debe compaginarse con la conservación de suficiente material de base catalogado para todas las categorías autorizadas de las especies forestales empleadas en repoblaciones.

También se podrían seleccionar especies forestales en función de la cantidad de humus que generan. De hecho, en sistemas agroforestales, se ha llegado a proponer como medida para aumentar el stock de carbono orgánico del suelo, la adición de tejidos leñosos recalcitrantes y de hojarasca con elevadas relaciones C:N y elevado contenido de lignina (Paustian *et al.*, 1997)<sup>3</sup>.

**Aclareos y claras:** aplicar tratamientos silvícolas adecuados y a tiempo para que las masas crezcan saludables y con vigor incorporando parte de los restos de las claras al suelo para el mantenimiento del ciclo de carbono .

• **Cosecha y preparación del terreno:** utilización adecuada de maquinaria adaptada a las condiciones del terreno para minimizar las pérdidas de suelo (erosión), su desestructuración y compactación y favorecer el incremento del espesor de los horizontes humíferos. Por otro lado, habría que evitar la cosecha de árbol completo e incorporar parte de los restos de cosecha al suelo para el mantenimiento adecuado del ciclo de carbono<sup>4</sup>.

• **Fertilización<sup>5</sup>:** aplicación de fertilizantes tradicionales para aumentar el vigor de las masas y su capacidad de secuestro de carbono y aplicación de fuentes de carbono exógenas de calidad para aumentar las existencias de carbono tanto en la parte aérea como en la parte subterránea.

---

<sup>3</sup> Los residuos vegetales varían en su inherente facilidad para descomponerse debido a sus diferentes características físico-químicas. Así, la hojarasca del eucalipto se caracteriza por ser más fácilmente descomponible, aunque este efecto menos favorable sobre el secuestro de carbono en suelos de esta especie, con respecto a otras especies forestales, puede verse compensado por un elevado secuestro de carbono en la biomasa, debido a su rápido crecimiento. Diversos estudios indican que especies fijadoras de N<sub>2</sub> (aliso, acacia, Robinia pseudoacacia, etc.) tienden a acumular un 20-50% más de carbono orgánico en suelos que las especies no fijadoras (Bernhard-Reversat, 1987; 1993; Boring *et al.*, 1988; Resh *et al.*, 2002). Sin embargo, no se dispone de datos que indiquen si ese incremento de fijación de carbono compensa el posible incremento de las emisiones de los óxidos de nitrógeno, por lo que esta opción debería investigarse en profundidad antes de tomar decisiones a gran escala, además de tener en cuenta el carácter invasor de algunas de estas especies.

<sup>4</sup> En general, no es recomendable utilizar técnicas de laboreo intensivas que aireen o expongan los horizontes de suelo superficiales a la luz solar demasiado tiempo, para evitar la oxidación y mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, en suelos delgados, el limitante del crecimiento radicular es muchas veces la presencia de un contacto lítico en cuyo caso un laboreo que permita una ampliación del volumen a explorar por las raíces se convierte en un mayor espesor efectivo del suelo y, por lo tanto, en una mayor profundidad del sumidero. Si no se producen efectos negativos sobre el suelo, todas aquellas labores silvícolas que supongan una regeneración, aumento de la vitalidad y de vigor vegetativo en las masas arbóreas, incrementando su producción, llevarán emparejado un incremento de la fijación de carbono.

<sup>5</sup> En este sentido, la Confederación de Forestalistas del País Vasco y NEIKER-Tecnalia desarrollaron un proyecto de investigación (1999-2001) en la CAPV titulado "Diagnóstico Nutritivo y necesidades de fertilización de las plantaciones de pino radiata de Bizkaia y Álava". De este trabajo surgió el artículo "Estado nutritivo y recomendaciones de fertilización para el pino radiata" (revista Euskadi Forestal n.º 61, junio 2001).

- **Modificación de la silvicultura:** aumento de los turnos y alternativamente aplicación de una silvicultura más cercana a la naturaleza, intentando copiar las funciones y procesos naturales de un bosque.

La silvicultura intensiva<sup>6</sup> es más adecuada para conseguir el potencial completo de crecimiento del lugar y para rehabilitar suelos degradados, por lo que puede contribuir significativamente a la sostenibilidad global en un mundo exigente de recursos. Sin embargo, este tipo de silvicultura reduce las existencias de carbono en el suelo (Nambiar, 1996). El aprovechamiento intensivo podría acarrear un empobrecimiento paulatino de nutrientes en el suelo que no sólo afectaría a la producción inmediata sino también a los propios componentes del ecosistema forestal (Basalde, 2009). Por tanto, hay que buscar una gestión que posibilite el máximo secuestro de carbono en los ecosistemas forestales atendiendo al equilibrio entre el crecimiento de biomasa forestal (gestión más intensiva) y la acumulación de carbono en suelo (gestión menos intensiva).

Teniendo en cuenta que gran parte de la superficie forestal de la CAPV es de propiedad privada, habrá que hacer hincapié en la planificación y ordenación de los montes, para buscar un equilibrio entre la superficie de espacios naturales o seminaturales y los espacios gestionados más intensivamente. Los espacios forestales que requieren una gestión más natural serán aquéllos cuya funcionalidad (bosques con carácter protector más que productivo) o cuyas características ecológicas particulares (alta diversidad, especial vulnerabilidad, representatividad, presencia de especies endémicas, raras, protegidas o amenazadas, reservas genéticas, etc.) los convierten en hábitats singulares y motivan su conservación, exista o no normativa específica que así lo determine. En general, los planes de gestión forestal deberán ser compatibles con los planes de conservación (especies amenazadas, espacios naturales protegidos, etc.).

- **Daños forestales:** integración, en la gestión forestal, de medidas para minimizar los riesgos de degradación y daños en el ecosistema. Se trataría de medidas para minimizar la degradación del suelo y biomasa forestal debidos a causas abióticas (incendios, tormentas, viento, nieve, sequía, movimiento de tierras y avalanchas), bióticas (plagas, enfermedades, especies cinegéticas y ganado extensivo) y de origen antrópico (daños originados durante el aprovechamiento y las operaciones forestales, el desarrollo de la actividad ganadera extensiva y cinegética y daños causados por el turismo intensivo y las actividades recreativas, incluyendo la gestión de residuos no forestales). Estas medidas incluyen el uso adecuado de las estructuras y procesos naturales para aumentar la vitalidad y resistencia de la masa, y la aplicación de prácticas de gestión apropiadas, así como una adecuada ejecución de los trabajos forestales y, en general, de todas las actividades desarrolladas en el monte (Basalde, 2009).

---

<sup>6</sup> Las mayores diferencias de la silvicultura intensiva respecto a una silvicultura cercana a la naturaleza son: i) cortas a hecho frente a cosechas parciales, ii) preparación del terreno y plantación frente a regeneración natural, iii) aplicación de fertilizantes y herbicidas en la silvicultura intensiva y iv) monocultivos de especies exóticas/genéticamente mejoradas frente a rodales mixtos con especies nativas (Martínez de Arano *et al.*, 2007).

---

---

En algunos casos, hay que buscar el equilibrio entre el secuestro de carbono y el riesgo que ello implica. Por ejemplo, el mantenimiento de madera muerta en los bosques es un elemento que puede contribuir a incrementar el secuestro de carbono o al aumento de la biodiversidad. Sin embargo, su presencia en exceso puede favorecer incendios o plagas o conllevar peligro de caída de ramas o árboles en caso de montes muy frecuentados, factores que pueden motivar su extracción puntual. En consecuencia, se deberá promover la presencia de madera muerta en cantidad, dimensiones y distribución adecuadas a las directrices y avances científicos, salvo excepciones justificadas por incendios, plagas o usos del monte. De hecho, las recomendaciones en la CAPV en cuanto a la madera muerta, es de aumentar la madera muerta en los bosques naturales o seminaturales, para favorecer el buen funcionamiento del ecosistema forestal, siempre y cuando no desencadene riesgos fitosanitarios o de incendios (Basalde, 2009).

- **Erosión:** cuando las actividades de manejo antrópicas impliquen actuaciones potencialmente erosivas y la pérdida consiguiente de carbono del suelo, se deberán adoptar medidas preventivas y, si a pesar de ellas, se produce erosión, deberán realizarse las medidas correctoras pertinentes, adecuadamente documentadas, considerando en todo caso los efectos a medio y largo plazo (Basalde, 2009).

- **Control del ciclo hidrológico:** la gestión forestal debe prevenir los efectos adversos sobre la calidad de las aguas, contribuyendo a la regulación del ciclo hidrológico, la estabilización de cauces, la protección de riberas, etc.

- **Vías de acceso a los bosques:** es necesario mantener y adecuar las vías de acceso, así como buscar una densidad de vías adecuada, puesto que facilitan la realización de los trabajos forestales y la defensa del monte, pero también implican la pérdida de carbono del suelo para su construcción.

- **Gestión forestal tendente a generar productos de prolongado ciclo de vida (“productos recolectados o cosechados de la madera”) o sustitutivos de otros productos más contaminantes:** Este tipo de gestión incrementaría la capacidad de fijar carbono de las masas forestales (Basalde, 2009). Hay que tener en cuenta que para obtener madera de calidad (densidad, rectitud de fibra, propiedades físico-mecánicas, trabajabilidad, carencia de nudos, dimensiones aserrables y debobinables, etc. que la hacen apta para su utilización como productos de madera de vida larga) es necesario elegir especies forestales adecuadas (roble, cerezo, fresno, castaño, nogal, etc.).

- **Fomento del uso de la madera frente a materiales (de construcción, fabricación de mobiliario, etc.) y fuentes energéticas (combustibles fósiles) más contaminantes:** En este sentido, en la Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible (2002-2020) se propone fomentar los usos imperecederos de la madera (entre ellos el uso para la construcción de edificios públicos) y desarrollar campañas de promoción de estos usos de la madera con certificación de gestión forestal sostenible.

- **Divulgación y transmisión del conocimiento sobre prácticas forestales apropiadas para la CAPV que contemplen su capacidad de fijación de carbono:** Como parte de las medidas que

permitirían secuestrar mayor cantidad de carbono en los sistemas forestales, se podría incluir la elaboración de manuales o guías sobre prácticas de manejo forestal adecuadas, como la Guía de Buenas Prácticas en el Sector Forestal y de la Transformación de la madera (2007).

• **Capitalización:** avanzar en la valoración o capitalización de todos los bienes y servicios que los bosques producen, incluyendo el secuestro de carbono como uno de estos servicios (junto con prevención de inundaciones, calidad del agua, conservación de biodiversidad, etc.), ya que se requieren fondos para cubrir los gastos que genera la producción de estos servicios que mejoran la calidad de vida de la sociedad.

El productor de los bienes y servicios del bosque debe ver compensados sus esfuerzos e inversiones. Actualmente, las inversiones forestales realizadas por propietarios privados cuentan con distintos porcentajes de subvención según el tipo de trabajo del que se trate. Cada Diputación Foral determina dichos porcentajes y los requisitos de percepción a través de sus correspondientes Normativas de Planes de Ayudas (Basalde, 2009). Estas Normativas de cada territorio histórico deben contemplar y valorar económicamente el secuestro de carbono como uno de los servicios ofrecidos por los bosques.

## 2. MEDIDAS EN TIERRAS DE PASTO

El contenido de carbono orgánico total presente en un ecosistema de **pastos herbáceos**, considerando conjuntamente el suelo y la biomasa, es menor que en un ecosistema forestal, aunque el contenido de carbono orgánico presente en el suelo puede llegar a ser mayor (Tate *et al.*, 2000) debido a (i) la elevada densidad de raicillas de las especies herbáceas presentes, cuyos detritos favorecen la acumulación de carbono orgánico en el suelo, al contener compuestos (pe., lignina y polifenoles) recalcitrantes a la degradación, (ii) la liberación de gran cantidad de compuestos orgánicos mediante la rizodeposición, como son los polisacáridos, que favorecen la estabilización de los agregados del suelo con lo que queda parte de la materia orgánica protegida frente a la descomposición (Balesdent *et al.*, 2000), y (iii) una elevada producción de microporos en el suelo, con lo que se favorece la retención de agua en el perfil y se ralentiza la descomposición de la materia orgánica.

En cuanto a las medidas posibles para incrementar la fijación de carbono en suelos de pastos, podemos indicar las siguientes<sup>7</sup>:

- **Promover la máxima biomasa herbácea mediante un manejo apropiado:** se recomienda realizar una mejora de la gestión de pastos (aporte de fertilizantes orgánicos de buena calidad, re-siembra sin levantar las praderas, etc.), cuando los factores climáticos, topográficos, edáficos e hidrológicos sean favorables para este uso.

En relación al manejo de pastos son particularmente importantes la fertilización y la elección de especies herbáceas de las praderas. Uno de los principales factores limitantes para el crecimiento de las praderas es la deficiencia nutricional, sobre todo de fósforo en suelos ácidos. Una opción ecológica y sostenible es la introducción de especies fijadoras de nitrógeno, conjuntamente con una fertilización fosfatada. Con ello se incrementa el crecimiento de las leguminosas y, por tanto, la fijación de nitrógeno. Con la modificación de la calidad de las especies a introducir también se consigue una mayor producción (Lal, 2001). Así, los mayores stocks de carbono orgánico en las praderas se logran con mezclas de gramíneas y leguminosas (INRA, 2002), que en el caso de las praderas de la CAPV se puede conseguir con una siembra con *Lolium multiflorum*, *Lolium repens*, y *Trifolium repens*, que al cabo de 3-4 años evolucionan a las especies herbáceas naturales.

---

<sup>7</sup> Medidas basadas en el informe interno titulado "NEIKER-IHOBE, 2004. Estudio sobre la potencialidad de los suelos y la biomasa de zonas agrícolas, pascícolas y forestales de la CAPV como sumideros de carbono."

Con la **aplicación de fertilizantes**, hay que tener en cuenta que, si bien una mayor fertilización induce un aumento de la producción de las praderas, también tiene lugar una aceleración de la mineralización y de la degradación de la materia orgánica (Sagar *et al.*, 1997; 1999). Por lo tanto, la optimización de la acumulación de carbono en suelos viene a ser un compromiso entre estos procesos, y ello se consigue en las praderas medianamente ricas. Según Soussana *et al.*, (2004), en Francia se pueden obtener incrementos de 0.2 a 0.5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> mediante una serie de medidas de gestión de praderas y prados como son: (i) la reducción de la fertilización nitrogenada en praderas muy fertilizadas, (ii) un aumento de la duración de las praderas anuales, (iii) la conversión de praderas anuales a praderas plurianuales con mezclas de gramíneas y leguminosas o a prados permanentes, y (iv) una intensificación moderada de los prados permanentes pobres en nutrientes. Por otro lado, conviene recordar que, con la fertilización nitrogenada y la presencia de leguminosas, se estimula la producción de N<sub>2</sub>O, por lo que habrá que tener en cuenta las emisiones de este gas a la hora de realizar los balances de GEI.

La **aplicación de estiércoles y purines** contribuye al mantenimiento del carbono orgánico del suelo, al mismo tiempo que produce un aporte de nutrientes importante, con el que se compensan las exportaciones que tienen lugar en las praderas con siegas o con el pastoreo. También existe la posibilidad de aplicar otros subproductos orgánicos exógenos, como p.e. compost. El efecto de estos subproductos orgánicos sobre los niveles de carbono orgánico de los suelos es mayor si la materia orgánica presente en éstos ha sido previamente estabilizada (p.e., mediante procesos de compostaje). En el caso de la aplicación de cualquier subproducto orgánico debe garantizarse su inocuidad, de modo que sus componentes se integren en los respectivos ciclos biogeoquímicos superficiales de forma sanitaria y ambientalmente correcta.

- **Intercalar especies arbóreas o arbustivas:** es conveniente intercalar fajas o hileras de arbolado de especies caducifolias autóctonas, aprovechando bordes de caminos y lindes, para evitar la monotonía y fragilidad de manchas extensas de cultivo. La implantación de bandas arboladas estrechas induce un secuestro adicional de carbono, pero éste puede ser muy variable según las características del seto (longitud, altura, etc.)<sup>8</sup>.

- **Evitar factores que pueden reducir el carbono orgánico en suelo, como quemas:** Entre los factores responsables del empobrecimiento de materia orgánica de los suelos de pastos herbáceos

---

<sup>8</sup> El INRA (2002) estima unos flujos de acumulación de carbono de 0.1 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> por 100 m lineales de seto por ha, y Lal *et al.* (1998) de 0.5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Se está reconsiderando la implantación de setos por su interés medioambiental en (i) la lucha contra la erosión (los setos paralelos a las curvas de nivel evitan mayores exportaciones de materia orgánica al retener la tierra erosionada), (ii) los efectos positivos sobre la biodiversidad y el desarrollo de la fauna auxiliar en protección integrada, (iii) la protección del ganado de pastoreo, interés paisajístico, etc. Sin embargo, los costes de implantación y de mantenimiento limitan su establecimiento.

de la CAPV encontramos los siguientes: (i) las características topográficas, con elevadas pendientes en los montes de la vertiente cantábrica, en los que se encuentran la mayoría de los pastos herbáceos de la CAPV, que favorecen los procesos erosivos, (ii) la explotación intensiva de praderas, (iii) el sobrepastoreo en prados que provoca una disminución de la cubierta vegetal y aumenta, a su vez, los riesgos de erosión; (iv) la práctica de las quemas utilizada para controlar las especies leñosas que conlleva la pérdida de carbono orgánico como  $\text{CO}_2$ , y (v) la implantación a partir de la década de los 50 del uso de fertilizantes químicos y la mecanización, con el abandono de la práctica del esquilme realizada desde la antigüedad (que consistía en la utilización del helecho y del tojo como camas del ganado que, una vez mezclados con las deyecciones animales, se utilizaba como fertilizante de praderas y cultivos).

La práctica de las quemas se utiliza para controlar las especies leñosas en pastos herbáceos. Ello conlleva la pérdida de carbono orgánico como  $\text{CO}_2$ , si bien, por otro lado, con las quemas se forma carbón, una forma de carbono muy recalcitrante que puede llegar a representar un importante porcentaje del carbono total presente en el suelo.

• **Evitar factores que pueden reducir el carbono orgánico en suelo, como el sobrepastoreo y la erosión:** Desde el punto de vista de los stocks de carbono en los suelos se está proponiendo una cierta extensificación de los sistemas de pastoreo (INRA, 2002; Soussana *et al.*, 2004). Con ello se aumentaría la proporción de hierba en la dieta animal, lo que conllevaría una transformación de las tierras con cultivos forrajeros a pastos anuales, y de los pastos anuales a plurianuales o permanentes. Esta extensificación iría acompañada de una reducción de las emisiones de  $\text{CH}_4$  (debido a una menor carga animal) y de  $\text{N}_2\text{O}$  (debido a unas menores aportaciones de nitrógeno) por unidad de superficie, aunque en este último caso convendría tener en cuenta un coeficiente de emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  asociado a la fijación simbiótica de  $\text{N}_2$  por parte de las leguminosas<sup>9</sup>.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los pastos productivos que son gestionados con bajas cargas ganaderas tienen una elevada diversidad vegetal (Baritz, 1989; van Wieren, 1995). Así, en pastos de zonas templadas, el pastoreo extensivo compatibiliza objetivos económicos y conserva-

---

<sup>9</sup> La fijación biológica del nitrógeno se ha quitado como fuente directa de  $\text{N}_2\text{O}$  dada la falta de pruebas de emisiones significativas causadas por el proceso de fijación en sí (Rochette y Janzen, 2005). Estos autores llegaron a la conclusión de que las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  inducidas por el crecimiento de los cultivos leguminosos/forrajes solamente puede estimarse en función de los ingresos de nitrógeno aéreo y subterráneo de residuos de cultivos/forraje (el N de residuos de forraje sólo se contabiliza durante la renovación de las pasturas). Por el contrario, la liberación de N por mineralización de la materia orgánica del suelo a resultados de cambios en el uso o la gestión de la tierras se incluye ahora como fuente adicional. Hay ajustes significativos a la metodología descrita previamente en las Directrices del IPCC de 1996.

cionistas, siempre que se controle la invasión de las especies arbustivas (pérdida del estrato herbáceo y su diversidad) y de especies foráneas y típicamente de baja palatabilidad. En ocasiones, para un mejor aprovechamiento de los distintos estratos y de los recursos de los pastos herbáceos, se realiza una explotación con un pastoreo mixto, basado en la presencia de distintos herbívoros en un mismo territorio. Así, con una mezcla de ganado bovino y ovino, el primero realiza un primer aprovechamiento de los brotes de gramíneas altas y de calidad, quedando el rebrote y las hojas de poca altura para las ovejas, las cuales realizan además una gran función de limpieza pastando los rebrotes del matorral. Este tipo de pastoreo está considerado como el más eficiente para el aprovechamiento de pastos heterogéneos (Nolan and Conelly, 1988) porque diversifica la producción animal y controla mejor especies no deseadas (Osoro *et al.*, 2000; Viterbi *et al.*, 2002).

En cualquier caso, es importante que la explotación sea equilibrada, y no se produzca sobrepastoreo, con lo que se incrementarían los riesgos de erosión, ni una explotación con poca carga animal, con lo que se propiciaría el crecimiento de arbustos, con el consiguiente riesgo de incendios con el aumento de biomasa. Además, es importante llevar a cabo unas prácticas de gestión de pastos herbáceos que minimicen la erosión ( $<10 \text{ t suelo ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), minimicen la emisión de contaminantes a cursos de agua (p.e. nitratos), ajustándose a los objetivos de potabilidad del Gobierno Vasco, y que se ajusten a la normativa recogida en la Red Natura (según el Plan de Gestión de estos hábitats).

En cuanto al tema de los pastos de puerto sería deseable realizar estudios de carga adecuada a cada zona, junto con una infraestructura de vallado que proporcionara un pastoreo controlado. Estos pastos, se encuentran incluidos en los Espacios Naturales Protegidos, juegan una importante función a la hora de proveer a la sociedad de servicios y bienes relevantes para la conservación de la fauna y flora silvestres y las actividades recreativas de los habitantes de las poblaciones circundantes. El creciente uso para el recreo, la demanda para la conservación y para la producción, evidencian la problemática de usos que dificulta el desarrollo y la aplicación de herramientas para una gestión sostenible.

• **Cambio de uso, ordenación del territorio:** la acumulación de carbono orgánico tras la conversión de tierras labradas a pastos herbáceos es mucho más lenta que la pérdida de carbono orgánico que tienen lugar con el proceso inverso (Soussana *et al.*, 2004). El incremento de carbono orgánico en suelos tras la conversión de tierras labradas a prados permanentes se estima en  $0.49 \pm 0.26 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  por un período de 20 años (INRA, 2002). El IPCC (2000) indica un valor similar ( $0.5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con un rango de  $0.3\text{-}0.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), aunque por un período de tiempo de 50 años.

Se aconseja la transformación de montes desarbolados a pastos herbáceos cuando la fertilidad del suelo sea suficiente para dedicarlos a estos fines y siempre que la pendiente del terreno sea inferior al 30%. El aprovechamiento por esta vía de terrenos hoy improductivos podría resultar en una gestión de la cabaña ganadera más extensiva, si bien requeriría más mano de obra y más cuidados. Desde el punto de vista del carbono orgánico del suelo, es posible que esta transformación no conlleve incrementos en los stocks de carbono orgánico del suelo.

### 3. MEDIDAS EN TIERRAS DE CULTIVO

En la CAPV, los **cultivos extensivos** y los viñedos se encuentran, mayoritariamente, en el territorio histórico de Álava. Los cultivos extensivos se suceden según unas rotaciones establecidas que están determinadas por la aptitud de los terrenos. Las rotaciones más comunes son: (i) cereal tras cereal (trigo – cebada – avena), (ii) cereal con cultivo alternativo (trigo, 1 ó 2 años de cebada y un cultivo distinto a cereal), y (iii) cereal con cultivo de regadío (trigo, cebada, y un cultivo de regadío extensivo como patata, remolacha, judía verde o maíz). La gestión de estas tierras de cultivo debe orientarse de modo que los suelos agrícolas puedan actuar como sumidero de CO<sub>2</sub>. Para ello es necesario promover técnicas agrícolas que favorezcan la conservación y aumento del carbono -siempre que sean compatibles con las condiciones edafoclimáticas y necesidades de los cultivos, así como con los condicionantes socio-económicos. Las prácticas de gestión agrícola favorables a una acumulación de carbono orgánico en los suelos son aquellas que (i) incrementan la entrada de materia orgánica al suelo, y/o (ii) disminuyen la velocidad de degradación de la materia orgánica.

A continuación se describen una serie de prácticas de gestión de tierras agrícolas que pueden favorecer la acumulación de carbono orgánico en los suelos agrícolas<sup>10</sup>:

- **Laboreo y erosión:** el objetivo del laboreo es principalmente la aireación del suelo y el control de malas hierbas. Sin embargo, con el laboreo también se producen una serie de procesos que deterioran la calidad de los suelos. Así, con el aumento de la aireación del suelo y la disrupción de los agregados se produce una importante pérdida de materia orgánica por (i) descomposición microbiana, al quedar expuesta al ataque de éstos, y por (ii) oxidación química y fotoquímica de la materia orgánica favorecidas por un incremento de las fluctuaciones de temperatura y de la superficie expuesta a la luz, respectivamente. Por otro lado, con la progresiva pérdida de estructura del suelo y eliminación de la cubierta vegetal que protege el suelo, se produce una importante pérdida de materia orgánica por erosión que puede llegar a representar el 40-50% de las pérdidas totales de materia orgánica del suelo.

Los sedimentos erosionados se encuentran enriquecidos en materia orgánica debido a que (i) la baja interacción de la materia orgánica presente en superficie con la fracción mineral del suelo, y (ii) la baja densidad de la materia orgánica (0.1-0.5 g cm<sup>-3</sup>, comparada con los valores de la fracción mineral: 2.6-2.7 g cm<sup>-3</sup>) favorecen una mayor movilización de ésta frente a la fracción mineral del suelo. Parte de la materia orgánica transportada por procesos erosivos puede mineralizarse durante el transporte, especialmente cuando no está protegida físicamente.

---

<sup>10</sup> Medidas basadas en el informe interno titulado “NEIKER-IHOBE, 2004. Estudio sobre la potencialidad de los suelos y la biomasa de zonas agrícolas, pascícolas y forestales de la CAPV como sumideros de carbono.”

El laboreo de conservación (“conservation tillage”) es una práctica basada en la reducción del número de operaciones de laboreo, con lo que se incrementa la cantidad de residuo que queda en la superficie del suelo, se produce una menor alteración de la estructura del suelo, y un mayor mantenimiento de la humedad del mismo. Además, con esta práctica generalmente se consigue reducir la erosión. Por lo tanto, el laboreo de conservación favorece la acumulación de materia orgánica en el suelo. El laboreo de conservación incluye el mínimo laboreo (“reduced tillage”) y el no laboreo (“no till”). En mínimo laboreo, los residuos del cultivo deben cubrir al menos el 30% de la superficie del suelo, mientras que el no laboreo consiste en la siembra directa del cultivo sobre los residuos del cultivo anterior<sup>11</sup>.

Con la adopción del laboreo de conservación se produce también un ahorro energético asociado a un menor uso de maquinaria<sup>12</sup>. Además, se favorece el funcionamiento biológico del suelo, con un aumento de la fauna y de la microflora del suelo. Sin embargo, presenta también efectos negativos como son: (i) la proliferación de malas hierbas (por ello a veces lo agricultores alternan el laboreo con la siembra directa), (ii) el aumento del uso de herbicidas por el mismo motivo, (iii) una mayor susceptibilidad a la compactación (especialmente en suelos arcillosos), (iv) el coste de equipamientos específicos, (v) un mayor riesgo de un insuficiente establecimiento del cultivo al inicio de la transformación, (vi) el tiempo de espera que debe transcurrir hasta que el agricultor detecte mejoras visibles en el suelo, y (vii) la resistencia cultural al cambio. Además, algunos estudios indican también un incremento de las emisiones de N<sub>2</sub>O.

• **Utilización de cultivos cuyos residuos tengan una elevada fracción de compuestos recalcitrantes a la degradación:** los residuos vegetales varían en su inherente facilidad para descomponerse debido a sus diferentes características físico-químicas, por lo que la elección de un determinado cultivo u otro representa un control potencial de la descomposición. Sin embargo, en el caso de los cultivos convencionales, esta opción no es posiblemente la más adecuada ya que la mayoría de ellos no difieren mucho en su contenido relativo de sustancias recalcitrantes. Así, la mayoría de residuos de forrajes y cultivos anuales tienen unos contenidos de lignina que oscilan entre el 5 y el 15% (Theander y Åman, 1984).

---

<sup>11</sup> Las estimaciones de los incrementos de carbono orgánico del suelo que tienen lugar tras la conversión de un sistema de laboreo convencional a un no laboreo obtenidas en un estudio realizado sobre los suelos agrícolas de EEUU (Eve *et al.*, 2002), oscilan entre 0.04 a 1.05 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que los correspondientes a la conversión de laboreo convencional a mínimo laboreo y a la conversión de mínimo laboreo a no laboreo se estiman en un 50% del valor de los anteriores. Kimble *et al.* (2002) consideran como más realistas unos incrementos de carbono orgánico en suelos asociados a la conversión del laboreo convencional al laboreo de conservación de 0.3 a 0.5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por otro lado, el INRA (2002) estima que con la supresión del laboreo en suelos de cultivo franceses se produce un incremento del stock de carbono orgánico del orden de 0.20 ± 0.13 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y Baritz *et al.* (2004) en la Estrategia Temática de Suelos proponen un valor de 0.39 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

<sup>12</sup> Así, se estima que con el no laboreo se consumen 29 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en carburantes (para el uso de maquinaria y producción de herbicidas), mientras que el consumo en mínimo laboreo y en laboreo convencional es de 45 y 53 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (Kern and Johnson, 1993).

Además de técnicas para favorecer la acumulación de carbono orgánico en los suelos agrícolas, también existen **técnicas para disminuir la velocidad de degradación de la materia orgánica**, como:

• **Biomasa de los cultivos en relación a cierto grado de desintensificación de los sistemas de cultivo intensivos:** un aumento de la biomasa de los cultivos puede incrementar las entradas de materia orgánica al suelo. Esto se puede conseguir mediante (i) la introducción de nuevas variedades, (ii) una correcta gestión de los nutrientes, especialmente nitrógeno<sup>13</sup>, (iii) la rotación de cultivos, y (iv) una correcta gestión del agua. Por otro lado, un aumento en el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, debido al cambio climático, puede tener un efecto fertilizante similar (Bazzaz and Sombroek, 1996). La magnitud con la que el aumento de la productividad influye sobre el retorno del residuo del cultivo depende de (i) las prácticas de gestión de los residuos vegetales, y (ii) el patrón de distribución del carbono de dicho cultivo. La utilización de especies con sistemas radiculares profundos favorecerá la acumulación de carbono orgánico en profundidad.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la fertilización y el riego, además de aumentar la biomasa de las cosechas, influyen sobre la velocidad de degradación de los residuos (Andrén *et al.*, 1993), por lo que la relación entre la gestión agronómica para un aumento de la biomasa de los cultivos y el contenido de materia orgánica del suelo es compleja (Paustian *et al.*, 1997). En general, la fertilización nitrogenada conlleva un incremento de los stocks de carbono orgánico del suelo, y este incremento es mayor que el carbono consumido en la fabricación, transporte y aplicación del fertilizante nitrogenado<sup>14</sup> aunque por otro lado la adición de nitrógeno al suelo favorece un incremento de las emisiones de óxido nitroso<sup>15</sup>.

El informe del INRA (2002) no incluye, como prácticas aconsejables para incrementar las existencias de carbono orgánico del suelo, a aquellas prácticas que dan lugar a un aumento de la producción primaria por intensificación (aumento de la fertilización o riego), dadas las débiles ganancias que pueden darse en sistemas que ya son de por sí muy intensivos y por los efectos secundarios de tal estrategia tendría sobre el balance de gases de efecto invernadero (p.e., emisiones de N<sub>2</sub>O) y sobre el medio ambiente (lixiviación de nitratos). Tampoco se ha tenido en cuenta la mejora genética, ya que ésta tiene como objetivo principal aumentar la producción cosechada pero no la parte restituida al suelo. Por el contrario, en el informe del INRA (2002) se propone una cierta desintensificación de los sistemas de cultivo intensivos, con una reducción de los aportes de fertilización

---

<sup>13</sup>Se estima que son necesarios entre 70 y 100 kg de nitrógeno para fijar 1 t de carbono (FAO, 2001).

<sup>14</sup>1 kg de N utilizado como fertilizante requiere 0.86 kg de C en energía equivalente necesaria para fabricar, transportar y aplicar el fertilizante (IPCC, 1996a).

<sup>15</sup>El valor del factor de emisión "EF1" ha cambiado de 1.25% a 1%, con relación a las Directrices del IPCC de 1996, debido al análisis de nuevos datos experimentales (Bouwman *et al.*, 2002a,b; Stehfest and Bowman, 2006; Novoa and Tejeda, 2006). El nuevo valor medio para emisiones inducidas por fertilizantes y estiércol se aproxima al 0,9%; aunque dadas las incertidumbres relacionadas con este valor y la inclusión en el cálculo del inventario de otros aportes al agregado de nitrógeno (p.e. de residuos agrícolas y de la mineralización de materia orgánica del suelo), el valor redondeado del 1% resulta apropiado.

nitrogenada (con la consiguiente disminución de las emisiones de  $N_2O$ ) y del consumo energético. De forma similar, Smith *et al.* (1997) proponen la utilización de la superficie agrícola europea de forma menos intensiva (pasando de un sistema de cultivo a una rotación cultivo-pradera, con dos años de esta última en un total de 6), con lo cual se conseguiría aumentar los stocks de carbono de los suelos y, además, solucionar el problema de los excedentes agrícolas de la UE. Experimentos realizados en Europa con la introducción de praderas plurianuales en las rotaciones indican aumentos en los contenidos de carbono orgánico del suelo de hasta el 25% (van Dick, 1982; Nilsson, 1986). En este sentido, la Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible (2002-2020) propone alcanzar un aprovechamiento extensivo del suelo agrícola del 15% para el año 2012 y del 25% para el año 2020.

• **Gestión/incorporación al suelo de residuos de cosecha** (FCR<sup>16</sup>-"crop residue"<sup>16</sup>): generalmente hay una relación lineal entre la cantidad de materia orgánica presente en los primeros centímetros del suelo y la cantidad de residuo que queda tras la cosecha (Lal and Kimble, 1997). Los residuos incorporados en el horizonte superficial del suelo mediante laboreo se descomponen más rápidamente que aquéllos que se mantienen en la superficie del suelo, debido a que con el laboreo se destruyen agregados, aumenta la temperatura y disminuye la humedad del suelo. Sin embargo, si la incorporación de residuos es en profundidad (p.e. 30-50 cm), lo que se denomina "mulching vertical", favorece el secuestro, se favorece el secuestro de carbono ya que a esa profundidad los residuos no están tan expuestos a la influencia del clima (Lal and Kimble, 1997). Evidentemente, existen diferencias cualitativas entre los residuos que afectan a la descomposición y acumulación de materia orgánica en el suelo. También existen diferencias cuantitativas, relacionadas con la cantidad de residuo que queda tras la cosecha. Así, los rastrojos de los cereales aportan más carbono ( $0.15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  por cada 7 t de paja) que los residuos de las patatas o de remolacha (cultivos que incluso producen una emisión neta de  $CO_2$ ) (INRA, 2002). En la CAPV se estiman

---

<sup>16</sup> FCR = cantidad anual de nitrógeno en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de nitrógeno y la renovación de forraje/pasto, que se devuelven a los suelos,  $\text{kg N año}^{-1}$ . La ecuación para estimar FCR se ha modificado respecto a la de las previas Directrices del IPCC de 1996 para dar cuenta del aporte del nitrógeno subterráneo al ingreso total de nitrógeno de los residuos agrícolas, lo que previamente se había omitido en la estimación del FCR. Consecuentemente, ahora, FCR representa una estimación más exacta de la cantidad de ingreso de nitrógeno de los residuos agrícolas, lo que hace posible evaluar la contribución al nitrógeno de residuos que surge del crecimiento de las leguminosas usadas para forraje, como la alfalfa, en las que se cosecha casi toda la materia seca aérea, lo que resulta en que no haya residuos significativos a excepción del sistema radicular. El factor de emisión "EF1" es del 1% ( $1 \text{ kg N-N}_2\text{O}$  emitido por 100 kg de nitrógeno aportado) para aportes de nitrógeno de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y nitrógeno mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo.

unas producciones de paja de 6-8 t ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, en el caso de utilizar la paja para fines energéticos se produciría un ahorro de emisiones de combustibles fósiles de 2.25 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, aunque esta opción conllevaría efectos perjudiciales a los suelos, al producirse un empobrecimiento de los contenidos de carbono orgánico con el tiempo (INRA, 2002). Finalmente, cabe mencionar que las quemaduras de los rastrojos realizadas *in situ* por los agricultores inducen pérdidas de carbono orgánico en el suelo, a pesar de la formación de formas de carbono más estables, como el carbón.

• **“Mulch”, cultivos de cobertera y barbechos con vegetación:** son prácticas de gestión agrícola que protegen al suelo de la erosión, aumentan la capacidad de retención de agua, y aportan residuos vegetales al suelo. Además, disminuyen la temperatura del suelo y, por tanto, la velocidad de mineralización de la materia orgánica. Para ser completamente efectivas, estas prácticas tienen que llevarse a cabo en combinación con un laboreo de conservación. El incremento de carbono orgánico que se produce en el suelo con la práctica del mulch varía dependiendo de la zona climática y de la cantidad y la calidad de los residuos aportados<sup>17</sup>.

• **Presencia de vegetación herbácea entre filas de frutales y viñedos (cubiertas vegetales):** esta práctica, generalizada en producción frutícola integrada, induciría un incremento adicional de carbono casi equivalente al inducido por la conversión de un suelo con laboreo a pasto permanente, de alrededor de 0.4 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (INRA, 2002). Se recomienda siempre y cuando la alimentación hídrica no sea muy deficitaria, ya que minimiza el uso de herbicidas, protege al suelo frente a la erosión y a la compactación, y tiene efectos positivos sobre la biodiversidad, si bien puede tener efectos negativos en cuanto a posibles enfermedades y plagas. Las cubiertas vegetales se han utilizado tradicionalmente sólo en zonas en las que la pluviometría es alta. Éste es el caso de las explotaciones de txakoli y de frutales de Gipuzkoa y Bizkaia. En zonas áridas, existe la posibilidad de su implantación en zonas en las que se puede disponer de agua de riego con cierta garantía (Santesteban and Royo, 2004). En el caso de los suelos de viñedos de la Rioja Alavesa convendría estudiar los impactos de la vegetación herbácea sobre la calidad del vino<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Lal (1997) estima que son necesarias varias docenas de t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para aportar al suelo alrededor de 0.1 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por otro lado, los cultivos de cobertera tienen efectos similares e incluso pueden ser más efectivos al producirse la aportación de materia orgánica tanto en superficie como en profundidad (raíces). Además, existen estudios que indican que el control de malas hierbas es posiblemente más efectivo en sistemas de cultivos con una cobertera muerta en superficie debido a la existencia de efectos alelopáticos (Al-Khatib and Boydston, 1999). El estudio del INRA (2002) estima que, con la práctica de cultivos de cobertera durante intercultivos suficientemente largos, se producen unos incrementos de carbono en el suelo de 0.15 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Su adopción en los sistemas de cultivos actuales no debería representar grandes complicaciones para el agricultor, siempre que se gestionen correctamente el nitrógeno, las reservas de agua del suelo y el calendario de trabajo, aunque queda por conocer de forma precisa los efectos a largo plazo sobre la mineralización y gestión del nitrógeno y sobre las enfermedades y plagas (INRA, 2002). En zonas áridas y semiáridas, el uso de estas prácticas es muy aconsejable para suprimir el barbecho desnudo, o mejorarlo, ya que con el barbecho desnudo se inducen unas pérdidas de carbono del orden de  $-0.6 \pm 0.2$  t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (INRA, 2002).

<sup>18</sup> Consultar los resultados obtenidos en el marco del proyecto K-Egokitzen (<http://www.neiker.net/k-egokitzen/inicio.html>).

• **Adición de materia orgánica exógena de calidad, sin que implique riesgos para la salud humana o animal ni para el medio ambiente:** la adición de estiércol es un método efectivo para incrementar los niveles de carbono orgánico de los suelos agrícolas (Jenkinson and Rayner, 1977). Estos residuos tienen una elevada proporción de materiales recalcitrantes ya que los compuestos lábiles ya han sido utilizados en el proceso digestivo. Sin embargo, no toda la ganancia de carbono que se produce en el suelo con la aplicación de estiércol representa un secuestro neto de carbono, al resultar un balance negativo en las correspondientes parcelas de praderas de siega. Además, en la actualidad ya se están incorporando este tipo de residuos en los suelos de huertas e invernadero de la CAPV, mientras que en las praderas se echa purín, por lo que no va a suponer un nuevo mecanismo de secuestro de carbono. El uso de lodos de depuradora u otros residuos orgánicos urbanos como práctica para aumentar el secuestro de carbono en suelos es menos efectivo que el uso de estiércol, a no ser que estén compostados<sup>19</sup>. De acuerdo con la Estrategia Temática de Suelos (Baritz *et al.*, 2004) se recomienda la aplicación de residuos orgánicos (exógenos), siempre y cuando se tengan en cuenta los límites que establece la legislación ambiental para proteger la calidad de las aguas y los suelos. Además, recomienda establecer una clara distinción de este tipo de residuos según la calidad de los mismos.

• **Utilización de cultivos energéticos, evaluando su competencia con los cultivos destinados a la alimentación:** la implantación de cultivos para la obtención de energía es una solución duradera al problema de las emisiones de CO<sub>2</sub>, a diferencia de las estrategias que tienen como objetivo la acumulación de carbono orgánico en el suelo. Consiste en cultivos de plantas de crecimiento rápido destinadas únicamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles. El desarrollo de estos cultivos debe ir acompañado por el desarrollo paralelo de la correspondiente industria de transformación. Entre los cultivos energéticos destinados a la producción de biomasa se suelen distinguir: (i) los cultivos productores de biomasa lignocelulósica, apropiados para producir calor mediante combustión directa en calderas, y (ii) los cultivos de semillas oleaginosas, destinados a la obtención de aceites vegetales aptos para ser usados en el sector de la automoción (biocarburantes). Dentro de los primeros se encuentran los cultivos de especies leñosas, como chopos o eucaliptos, cultivadas en turnos de rotación cortos y en marcos de plantación densos, y los cultivos de especies herbáceas, como el cardo (*Cynara cardunculus*). Los cultivos de semillas oleaginosas incluyen básicamente cultivos de colza, soja, y girasoles. Se estiman unos flujos de secuestro neto de carbono de 3.2-3.7 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, asumiendo que la combustión de esta biomasa compensa hasta el 65-75% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen con la utilización de combustibles fósiles (<http://www.epa.gov/sequestration/rates.html>).

---

<sup>19</sup> Cuando están compostados la capacidad de secuestro puede ser relativamente elevada (de entre 0.2 a 0.5 t C por cada 20 t de compost por ha) (FAO, 2001). Los flujos de secuestro de carbono que proponen Baritz *et al.* (2004) son de 0.38 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para compost y estiércol, y de 0.26 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los lodos de depuradora.

La implantación de cultivos energéticos puede ser una alternativa a considerar en la recuperación de zonas degradadas. Ensayos realizados en escombreras de minas de lignito de Galicia en procesos de recuperación han puesto de manifiesto que, incluso en los primeros años, puede obtenerse una elevada tasa de fijación cuando las especies son de elevada productividad y se plantan muy densamente<sup>20</sup>. Por otro lado, aunque este tipo de cultivos se utiliza esencialmente para la sustitución de combustibles fósiles, también tienen un efecto positivo sobre la materia orgánica del suelo. Con el uso de este tipo de cultivos se estima un potencial de secuestro de carbono en suelos de  $0.62 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Smith *et al.*, 2000).

Por último, en el caso de que se establezcan plantaciones de cultivos energéticos en zonas fértiles aptas para la producción de cultivos alimentarios, hay que tener en cuenta las repercusiones sociales y económicas que conllevaría este cambio de uso. Además, la superficie de cultivo de la CAPV es reducida, por lo que la competencia entre los cultivos energéticos y alimentarios se acentuaría.

---

<sup>20</sup> Así, en plantaciones de *Eucalyptus globulus* con marcos de plantación de  $0.5 \times 0.5 \text{ m}$  se han obtenido unos flujos de acumulación de carbono de  $40 \text{ t C ha}^{-1}$  a los 30 meses de realizada la plantación (Gil Bueno *et al.*, 2000; Macías *et al.*, 2001).

---

## 4. MEDIDAS APLICABLES EN OTROS TIPOS DE USO DE LA TIERRA

También existen otras medidas posibles no específicas para tierras forestales, de pastos o de cultivo, como las indicadas a continuación<sup>21</sup>:

- **Desarrollar normas de protección y políticas para incrementar el espesor de suelos de carácter orgánico:** en cuanto a suelos que poseen alta capacidad de retención de carbono orgánico (turberas, marismas, suelos hidromorfos, suelos desarrollados sobre materiales volcánicos), es importante desarrollar normas de protección y políticas de gestión que, además de conservar los suelos, también favorezcan el aumento de su espesor y contenido de carbono almacenado (p.e. protección del suelo contra la erosión y medidas que aceleren la formación de suelos en áreas con predominio de suelos con poco espesor, áreas degradadas, o áreas contaminadas).

- **Realizar estudios que avancen en la cuantificación de las fijaciones de carbono que se pueden obtener, bajo la aplicación de distintas prácticas de gestión antrópica:** estos estudios se deben desarrollar para biomasa forestal y, en particular, para los suelos, profundizando sobre el funcionamiento de la materia orgánica de los suelos y la influencia que los diversos sistemas de utilización antrópica producen en las variaciones de cantidad y calidad de la materia orgánica: en una misma región climática pueden originarse suelos con capacidades de secuestro de carbono muy diferentes, dependiendo de la naturaleza de los procesos edáficos, la presencia o ausencia de determinados componentes estabilizantes, la influencia humana, la erosión y otros factores. En la mayoría de casos, los niveles de carbono orgánico de suelos –incluso bajo condiciones de manejo adecuadas- difícilmente van a conseguir recuperar niveles de carbono orgánico por encima de su condición natural. Sin embargo, existen algunas excepciones, en las que la actividad humana ha llegado a producir suelos con mayores niveles de carbono orgánico que los suelos naturales presentes en las mismas condiciones climáticas (*Plaggen soils* en las zonas costeras del centro y del norte de Europa, o *Terra Preta-do-Indio* en Brasil) (Sombroek *et al.*, 1993). Aquí, en la CAPV se da una situación similar en los suelos de invernaderos, en los que se han producido acumulaciones importantes de materia orgánica tras adiciones continuadas de estiércol.

---

<sup>21</sup>Medidas basadas en el informe interno titulado “NEIKER-IHOBE, 2004. Estudio sobre la potencialidad de los suelos y la biomasa de zonas agrícolas, pascícolas y forestales de la CAPV como sumideros de carbono.”