



Sumideros forestales sostenibles en España (*)

FERNANDO PRIETO DEL CAMPO

Doctor en Ecología por la Universidad Autónoma de Madrid.

SUMARIO

En el presente artículo se describen las principales tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero en España, el desglose de estas emisiones por sectores y por Comunidades Autónomas, la posición de la Administración central respecto a los compromisos adquiridos por el Protocolo de Kioto y la respuesta de los principales sectores y empresas responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero en España.

Por otra parte se calcula, a partir de la bibliografía existente, el efecto sumidero de algunas Comunidades Autónomas donde se ha finalizado el III Inventario Forestal Nacional y las emisiones, con modelos propios, que han causado los incendios forestales en los últimos treinta años.

Finalmente se proponen utilizar los mecanismos de desarrollo limpio contemplados en el Protocolo de Kioto para que parte de estas emisiones se compensen o se secuestren por parte de los ecosistemas forestales en los que se practique una gestión forestal sostenible.

Palabras clave: Emisiones de gases efecto invernadero, Protocolo de Kioto, respuesta de la industria, gestión forestal sostenible, efecto sumidero de los bosques, incendios forestales, España, prospectiva.

INTRODUCCIÓN

Las emisiones totales de España se han incrementado hasta el año 2004 en un 40 por ciento según distintas estimaciones desde la década de los noventa aun cuando el objetivo firmado por España correspondía a unas emisiones del 15 por ciento. Actualmente, España ocupa el penúltimo lugar de toda la Unión Europea respecto al cumplimiento de las obligaciones adquiridas por el Protocolo de Kioto. Las emisiones de gases de efecto invernadero están actualmente acopladas al incremento del PIB, hecho que no sucede en muchos otros países de la Unión Europea, donde se produce crecimiento del PIB, pero no de las emisiones.

El conjunto de los países de nuestro entorno están tomando medidas para reducir las emisiones de una forma importante, destacando Francia, Inglaterra y Alemania. Las actuales

(*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la FUNDACIÓN MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 2003 a raíz de la beca concedida por la FUNDACIÓN MAPFRE en la convocatoria 2002/2003.

medidas legislativas tomadas por España, tales como la Estrategia de Cambio Climático y la Eficiencia, no son suficientes para cambiar la tendencia de aumento de las emisiones de estos gases y, mucho menos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en España.

La actividad forestal es de vital importancia en la estrategia global de mitigación del cambio climático en su función de sumideros de CO₂.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de Naciones Unidas, integrado por 2.000 científicos de más de cien países, reconoce esta actividad como de vital importancia en la estrategia global de mitigación de cambio climático y recomienda su utilización en el cumplimiento de la normativa.

Los ecosistemas forestales actúan como sumideros de CO₂, y en el caso de España presentan una gran diversidad, una gran importancia para fijar el suelo, contribuir al ciclo del agua y desarrollar otras funciones ecológicas. Además, los productos obtenidos a partir del bosque almacenan el CO₂. Los ecosistemas forestales españoles han presentado históricamente un importante riesgo de incendio y por ello de devolver este carbono fijado a la atmósfera. Los incendios, además, provocan riesgos de erosión y una dismi-

Las emisiones totales de España se han incrementado hasta el año 2004 en un 40 por ciento según distintas estimaciones desde la década de los noventa aun cuando el objetivo firmado por España correspondía a unas emisiones del 15 por ciento. Actualmente España ocupa el penúltimo lugar de toda la Unión Europea respecto al cumplimiento de las obligaciones adquiridas por el Protocolo de Kioto.

nución de la diversidad y madurez de los ecosistemas forestales.

La elevada biodiversidad de los ecosistemas forestales y las importantes superficies forestales protegidas, además de las elevadas tasas de incendio presentadas por las masas fo-

restales mono-específicas y los cultivos forestales, indican que debe realizarse una gestión forestal sostenible con sus correspondientes criterios e indicadores para que los ecosistemas forestales permanezcan en el tiempo y en el espacio y puedan realizar sus funciones de sumideros de carbono. Si bien es complicado establecer el balance de las emisiones-inmisiones del sector forestal y sus productos, toda la literatura científica consultada concluye que los productos madereros suponen un almacén de carbono que debe computarse como tal en el balance.

En la fecha de finalización de este informe (marzo 2004) todavía no está presentado el Plan Nacional de Asignación de emisiones que determinará las emisiones asignadas a cada sector, ni existe un borrador con un mínimo rigor que permita este reparto.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han consultado las bases de datos existentes sobre emisiones de gases de efecto invernadero realizadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Eurostat, además de las estimaciones realizadas por el World Watch Institute, las estadísticas de incendios



forestales del Ministerio de Medio Ambiente, los datos de los tres Inventarios Forestales Nacionales.

Por otra parte se han consultado los informes internacionales sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente los de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Asimismo se han tenido en cuenta los estudios disponibles sobre las implicaciones económicas que tiene la aplicación de Kioto sobre la economía española, en particular, los de Coopers, los de CCOO. y los de distintas asociaciones empresariales, como Oficemen, y los de Arcelor, etc.

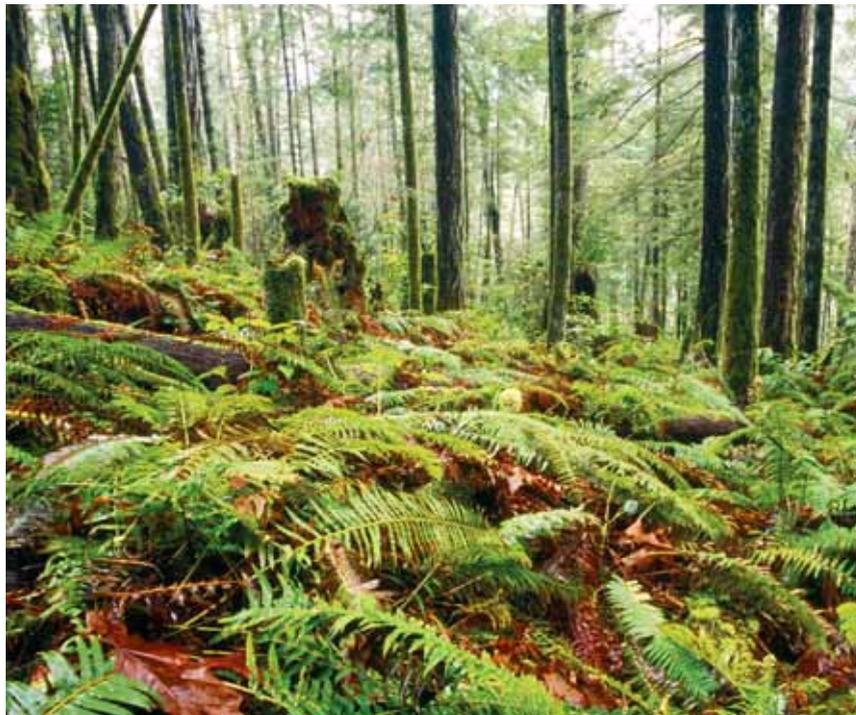
También se han consultado las referencias científicas y las fuentes bibliográficas sobre sumideros forestales y emisiones procedentes del sector forestal.

Durante la realización del estudio se envió una encuesta a distintos sectores y empresas con el fin de recabar información sobre la aplicación de programas de reducción de gases de efecto invernadero y estrategias que aplican las empresas. No hubo respuestas sobre el citado cuestionario; por ello, para conocer la respuesta de las empresas, se han estudiado las referencias en prensa de las declaraciones de los distintos sectores industriales

En el presente trabajo se cuantifican las emisiones de GEI a partir de los datos existentes de volumen de madera afectada en los incendios forestales. No se toman en cuenta los matorrales ni las especies herbáceas quemadas por falta de datos para estimar de forma mínimamente precisa su biomasa. Los datos se desagregan por Comunidades Autónomas para observar la distribución espacial de los mismos. Por otra parte, para ver la evolución temporal se recogen las series temporales más amplias disponibles con el objeto de presentar las tendencias existentes. Se utilizan las estadísticas de incendios forestales producidas por la DGCONA del Ministerio de Medio Ambiente de España (DGM, 1960-1969; MMA, 1970-2003) y se utilizan los factores de emisión del IPCC (IPCC, 1996) y una serie de ratios aparecidos en la literatura científica en los últimos años respecto a densidades de carbono en distintos tipos de madera (Rodríguez Murillo, 1999).

Cálculo de las emisiones inmediatas de CO₂

Para el cálculo de las emisiones inmediatas de CO₂ se han utilizado los datos de los volúmenes afectados



Los ecosistemas forestales actúan como sumideros de CO₂, y en el caso de España presentan una gran diversidad, una gran importancia para fijar el suelo, contribuir al ciclo del agua y desarrollar otras funciones ecológicas. Además, los productos obtenidos a partir del bosque almacenan el CO₂. Los ecosistemas forestales españoles han presentado históricamente un importante riesgo de incendio y, por ello, de devolver este carbono fijado a la atmósfera.

desglosados en coníferas y frondosas. Se considera que sólo se afectan directamente por los incendios los troncos, ramas y follaje de los árboles. La cantidad de carbono en estas partes de los árboles se calcula con el anterior volumen afectado y las relaciones alométricas correspondientes entre volumen de madera en fuste, las ramas y las raíces, multiplicando des-

pues por las densidades de carbono de la madera (Rodríguez Murillo, 1994). Las emisiones de carbono se calculan entonces como el 20 por ciento de la cantidad total de carbono en ramas, follaje y tronco (Crutzen y Andreae, 1990). Incidentalmente, la relación de madera recuperada a quemada en los últimos veinticinco años es de casi el 80 por ciento, lo que está cercano a la «eficacia de quemado» tomada. Este cálculo se ha realizado con las series completas temporales disponibles para toda España de volúmenes de madera (1970-2001).

Se utilizan los factores de emisión del IPCC correspondientes para el cálculo de emisiones de otros gases de invernadero procedentes de los incendios, como el CH₄, CO, N₂O y NO_x (IPCC, 1996).

Cálculo de las emisiones diferidas de CO₂

Las emisiones de GEI que se producen en el curso de la combustión de las masas forestales no son sino una parte de las que podemos atribuir a dichos incendios. En efecto, los incendios afectan a una cantidad determinada de biomasa forestal, fundamentalmente follaje, ramas y tronco. En el incendio sólo una pequeña parte de esta biomasa se quema, dando lugar a las emisiones inmediatas (EPA, 1977). El resto permanece afectada en mayor o menor medida; en la mayoría de los casos los árboles mueren

o bien son cortados. La biomasa de estos árboles experimenta diversos procesos de oxidación *in situ* (si es abandonada como residuo en el bosque) o en forma de productos forestales, si es aprovechada como leña, para fabricar pasta de papel o para madera (Rodríguez Murillo 1994), emitiendo a la atmósfera dióxido de carbono y otros GEI. Una estimación de estas emisiones diferidas necesita un modelo del ciclo del carbono forestal, donde se cuantifican los diversos depósitos y flujos de carbono en los que se encuentra la biomasa forestal (*ibid.* Rodríguez Murillo, 1997). Se analiza en el modelo el conjunto de la serie temporal de las emisiones totales procedentes de los depósitos de carbono; de ellas se pueden atribuir a los incendios las emisiones diferidas de la parte del carbono en los depósitos procedente de los incendios.

Una estimación provisional puede hacerse determinando con dicho modelo la relación entre emisiones diferidas e inmediatas para el conjunto del Estado (calculadas con el modelo) y aplicando esta relación a las emisiones inmediatas, calculadas como se acaba de explicar. El total de las emisiones diferidas así estimado para el período 1970-2001 es, como media, 3,8 veces superior a las emisiones inmediatas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

España y Kioto

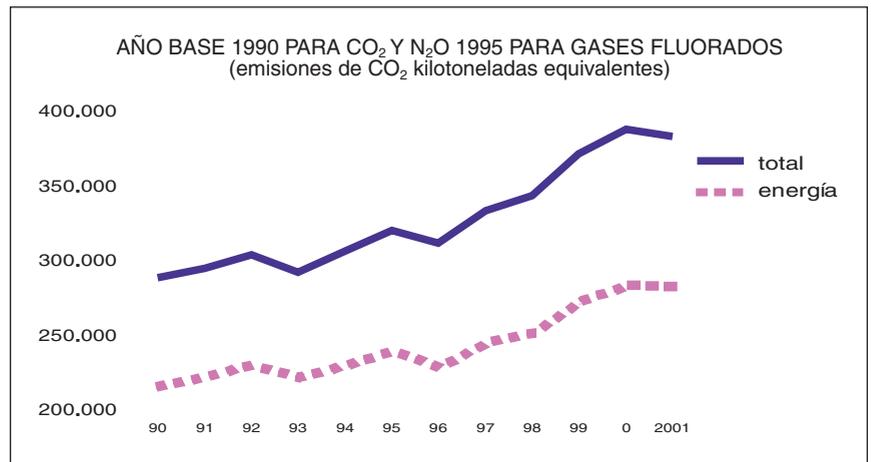
Las emisiones de gases de efecto invernadero se visualizan a continuación; se observa el importante incremento de las emisiones de estos gases y la importancia del sector energético en el mismo y la fuerte correlación entre estas emisiones y las totales.

Una importante característica de estas emisiones es que están relacionadas con el incremento del PIB, de tal forma que es imprescindible desacoplar este incremento de las emisiones del crecimiento económico.

Por sectores, se comprueba el importante peso del sector del procesamiento de la energía seguido de la agricultura y de los procesos industriales.

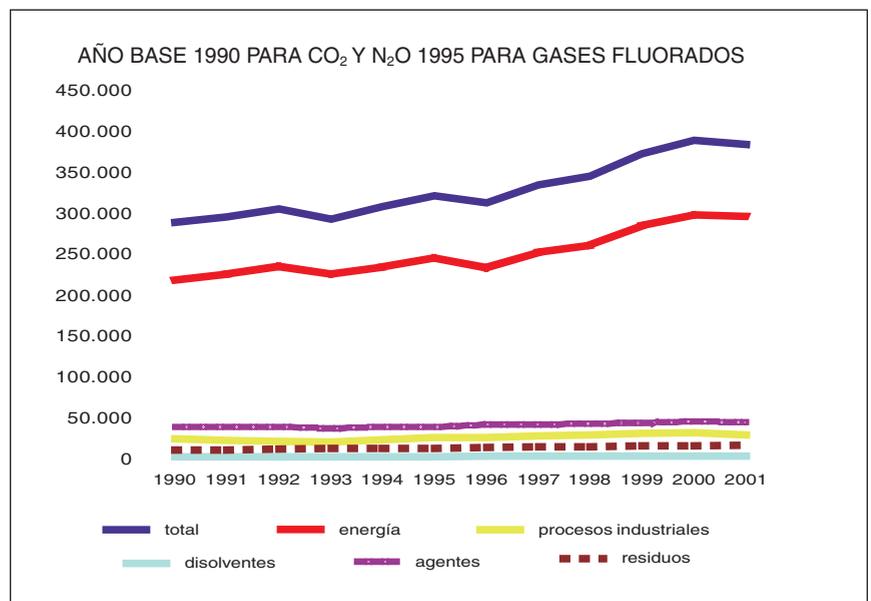
El sector energético, las cementeras, la siderurgia y las refinerías, producen una parte muy importante de las emisiones de CO₂ en España y están sujetas a cumplir con la directiva europea citada anteriormente. Al Gobierno español le es más sencillo controlar las emisiones de gases de apenas unas 1.500 industrias que es-

FIGURA 1. Evolución emisiones gases efecto invernadero. Por categoría de actividad.



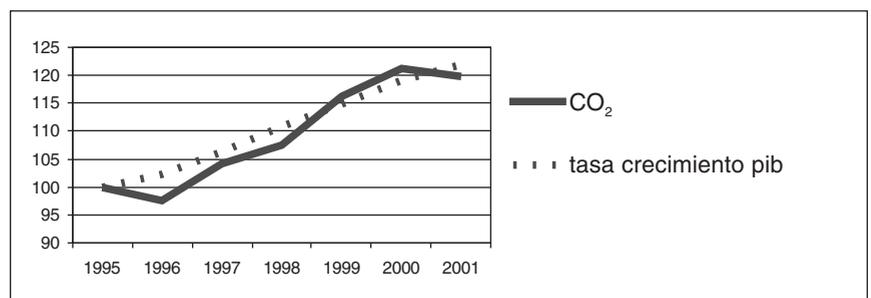
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2003.

FIGURA 2. Evolución emisiones gases efecto invernadero por categoría de actividad.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2003.

FIGURA 3. Acoplamiento entre gases de efecto invernadero y PIB.



Fuente: Elaboración propia.

tablecer una «persecución» casa por casa y coche por coche.

Respecto a otros países del mundo también se observa el importante incremento relativo de las emisiones de nuestro país respecto a otros:

El Protocolo de Kioto y su aplicación a España por la Unión Europea implica que las emisiones se deben reducir a un 15 por ciento de las emisiones de 1990. Respecto a los países de nuestro entorno, se observa cómo el incumplimiento de España es el segundo de todos los países de la Unión Europea.

CUADRO 1. Emisiones de CO₂ equivalente.

Gases de efecto invernadero	Total	%
Categorías de actividad		
Total emisiones	382.789	100,00
1. Procesado de la energía	295.177	77,11
2. Procesados industriales	27.850	7,28
3. Uso de disolventes y otros productos	1.628	0,43
4. Agricultura	42.998	11,23
5. Cambios de uso del suelo y silvicultura		0,00
6. Tratamiento y eliminación de residuos	15.147	3,96
7. Otros	0	0,00

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 2. Emisiones de gases efecto invernadero en distintos países.

	1996	1998	1999	2000	Tasas de crecimiento desde 1990
Australia	454.887	481.078	491.078	502.408	18,2
Unión Europea	4.120.048	4.066.333	4.068.333	4.067.787	-3,5
España	341.930	370.920	370.920	385.987	34,8
Alemania	1.026.475	993.819	993.819	991.421	-18,8
Reino Unido	882.687	646.514	646.514	649.106	-12,8
Japón	1.353.887	13.73.473	13.73.473	1.388.308	11,2
Rusia	—	—	—	—	-38,4
Estados Unidos	6.756.190	6.829.488	6.829.488	7.001.225	14,2

Unidades: Miles de toneladas equivalentes de CO₂.

(-) Sin datos.

Fuente: Naciones Unidas.

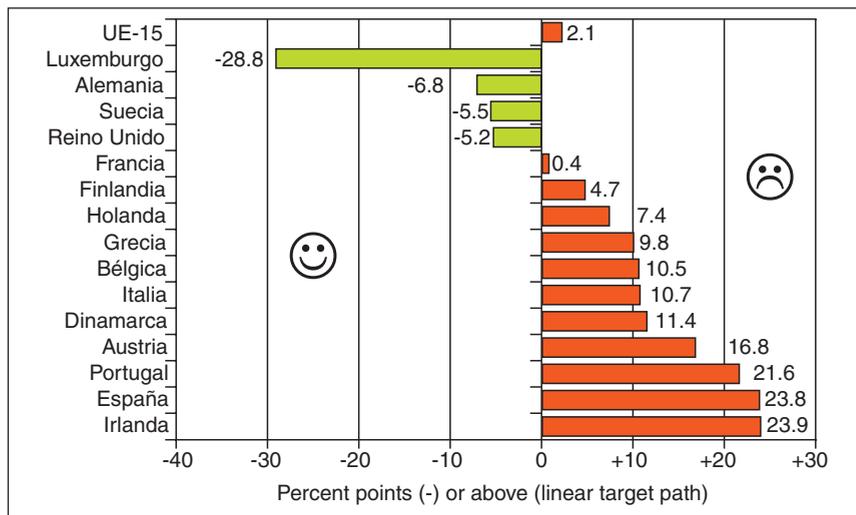
Para ello se ha aplicado la Directiva de comercio de emisiones, que establece un mercado de emisiones y que seis sectores —eléctrico, petrolero, cemento, cerámico-azulejero, papelero y siderúrgico— deben determinar cuotas de emisión para realizar un Plan Nacional de Asignación de Emisiones. Este Plan debía estar aprobado el 31 de marzo del año 2004, pero aún no ha sido presentado.

Estrategias de las empresas y una estimación de costes.

Se pueden observar tres estrategias distintas en las empresas que componen el tejido industrial para reducir las emisiones de España: la primera estrategia, intentando que, o no se aplique el Protocolo, o se retrase al máximo la toma de medidas, o el estado asuma todos los costes; la segunda estrategia la componen las empresas que prefieren cumplir la legalidad, y una tercera que contempla soluciones pro-activas que se intentan adaptar a la normativa con antelación.

En el sector energético se puede decir que están representados los dos

FIGURA 4. Distancia al objetivo entre las emisiones de cada país y los objetivos marcados.



Fuente: Environmental issue report 36
Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2003
Summary Tracking progress by the EU and acceding and candidate countries towards achieving their Kyoto Protocol targets.

primeros grupos de empresas. Las principales eléctricas están actualmente enfrentadas por las estrategias para la reducción de las emisiones. Por un lado, Endesa, Unión Fenosa, Viesgo e Hidrocantábrico sostienen

que el sector eléctrico tenga los suficientes derechos de emisión para mantener sus centrales de carbón a la vez que construyen centrales de ciclo combinado y parques eólicos para satisfacer el aumento de demanda. Por



otra parte, Iberdrola sostiene la capacidad y la obligación de cumplir los objetivos de Kioto. Ésta es partidaria de un cambio radical, con la sustitución de buena parte del parque de carbón por tecnologías menos contaminantes, lo que permitiría que otros sectores industriales no tuvieran que asumir el esfuerzo de reducir emisiones. Endesa, Hidrocantábrico y Viesgo sostienen que la propuesta de Iberdrola sobre Kioto podría provocar el cierre de centrales de carbón con 5.700 megavatios de potencia y un fuerte aumento del precio de la luz. Iberdrola sostiene que su plan permitirá la subsistencia del carbón producido en España. Gas Natural mantiene una postura diríase «imparcial» frente a las de Endesa e Iberdrola.

Otros sectores contaminantes, como el sector azulejero, la industria cementera, la del papel y la siderurgia, también presentan graves problemas para el cumplimiento de Kioto.

Respecto a los costes de la aplicación de Kioto, la consultora PricewaterhouseCoopers estima que supondrá un coste «mínimo» de 19.213 millones de euros en el período 2008-2012, -unos 2.400 millones de euros al año por los derechos de emisiones y de su efecto multiplicador sobre el

El Protocolo de Kioto prevé, para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por cada parte, una serie de medidas o mecanismos «amortiguadores»: la contabilización de los sumideros en el balance de emisiones y la utilización de tres mecanismos flexibles, tales como aplicación conjunta, o Join Implementation (de países industrializados con economías en transición) y desarrollo limpio CMD, mecanismos de desarrollo limpio (con proyectos con países en desarrollo) y comercio de emisiones.

conjunto de la economía-. Por otra parte, establece que la aplicación de la Directiva también provocará un incremento adicional de la inflación del 2,7 por ciento en el año de su puesta en marcha. Según el informe, España deberá financiar la emisión de 123 millones de toneladas de gases de efecto invernadero, que superarán el umbral comprometido en el año 2010. Además, se ha advertido que en estos cálculos no se incluye la pérdida de competitividad que podrían sufrir las empresas españolas, que se traduciría en un menor volumen de exportaciones y en un mayor impacto sobre el Producto Interior Bruto (PIB).

PricewaterhouseCoopers calcula que en el año 2010 España habrá superado en un 66 por ciento el nivel de emisiones del año 1990, cuando su compromiso era de no rebasarlo en más de un 15 por ciento. El sector más perjudicado por la aplicación de la Directiva será el del transporte, que necesitará adquirir derechos para emitir anualmente 58,2 millones de toneladas de gases de efecto invernadero, seguido del eléctrico y del cementero, que en 2010 producirán 12,2 y 9,7 millones de toneladas, respectivamente, por encima del umbral establecido para 2010.

Los expertos de la consultora consideran que España se encuentra en esta situación a pesar de los «grandes esfuerzos» que han realizado los sectores regulados -eléctrico, petrolero, cementero, cerámico-azulejero, papero y siderúrgico- para reducir sus emisiones. Así, en el período 1990-2010, el sector eléctrico habrá aumentado su producción un 87 por ciento, mientras que las emisiones sólo habrán crecido el 34 por ciento, unos porcentajes que son muy similares en el caso del papero. Los expertos de PricewaterhouseCoopers indican que el encarecimiento de los costes de producción por el pago de derechos de emisión puede provocar la deslocalización (fuga de empresas) de la industria europea en algunos países de la UE, entre ellos España, así como dificultar el asentamiento en la región de multinacionales de otras zonas, como Estados Unidos.

Señalan que la deslocalización de estas industrias hacia países con una producción menos eficiente y sin controles puede tener como consecuencia un aumento neto de las emisiones a nivel global, en contra de los principios de la propia Directiva europea. También advierten que la compra de derechos de emisión por parte de países, como España, Portugal, Grecia e Italia, a otros más eficientes y capaces de cumplir con creces sus compromisos, como Alemania, Reino Unido y Francia, puede suponer una transferencia de renta en la UE de los países menos avanzados a los más ricos, lo que dificultaría su convergencia económica.

Evolución del sumidero forestal en algunas Comunidades Autónomas de España

Se estima el sumidero de carbono reciente en los bosques de siete Comunidades Autónomas del Estado español por comparación entre datos de inventarios forestales, utilizando un modelo del ciclo del carbono forestal que tiene en cuenta el carbono en la biomasa viva, residuos forestales, carbono edáfico y productos forestales. En el caso del Estado español, se ha estimado que podría haber unos 300 Tg de carbono en su biomasa viva (Rodríguez Murillo, 1994) en los años setenta, y del orden del triple en los suelos forestales (Rodríguez Murillo, 2001).

La relación entre las emisiones observadas de los diferentes sectores y las inmisiones o el efecto sumidero de los ecosistemas forestales indica que

existe potencialidad de que los sistemas forestales supongan un porcentaje significativo de estas emisiones.

El aumento generalizado del sumidero de carbono en los bosques de las Comunidades: Baleares, Asturias, Cantabria, La Rioja, Murcia y Galicia, estudiadas entre 1974-1987 y 1990-1998 es consecuencia del aumento de las superficies forestales arboladas entre dichos períodos, que se pueden estimar en un factor 100 a un factor 139 (a pesar de que ha habido un ligero cambio en las definiciones de superficie forestal entre unos y otros inventarios).

Los sumideros son aquellos mecanismos que reducen las emisiones de CO₂, como, por ejemplo, reforestaciones. «Descuentan», por expresarlo de alguna forma, de las emisiones nacionales, que tendrán que cumplir con una cantidad de emisiones netas «X», descontados los efectos sumidero. El efecto de este mecanismo ha sido valorado entre un 4 por ciento y un 6 por ciento de las emisiones totales.

Comparando los períodos 1974-1987 y 1990-1998 se observa cómo la acumulación de carbono se produce de forma creciente en la biomasa forestal, aunque la acumulación en «productos forestales» (CP) sigue siendo importante en Galicia. Esto se

explica a *grosso modo* por la estabilización o disminución del volumen de madera cortado en todas las Comunidades Autónomas, excepto en Galicia, donde sigue creciendo.

La acumulación de C por hectárea también crece entre los dos períodos considerados, excepto en Cantabria y en las tres Comunidades de bosques (predominantemente) atlánticos (Galicia, Asturias y Cantabria) alcanza valores verdaderamente notables si los comparamos con los valores medios que se deducen del trabajo de Goodale *et al.* (0,94 ton C/ha/año para EE UU y 0,72 para Europa a principios de los años noventa). En las tres Comunidades de bosque mediterráneo, la acumulación de carbono es menos de la mitad de la que se da en las comunidades «atlánticas». La Rioja presenta un valor intermedio de esta magnitud.

El aumento del sumidero de carbono en las últimas décadas se corresponde, en general, con el crecimiento de las superficies repobladas desde los años cuarenta (repoblaciones que, en muchos casos, están aún en pleno período de aumento de sus densidades de masa), con la menor extracción de leñas, la disminución del pastoreo en amplias zonas y con el fenómeno de sucesión natural de los bosques de invadir tierras agrícolas marginales.

Incendios forestales y emisiones de GEI

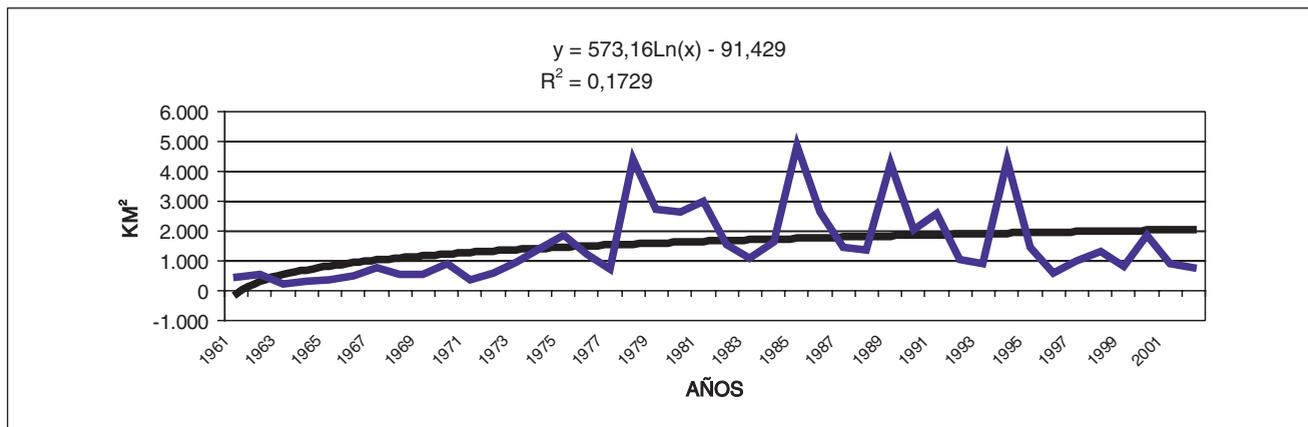
Los incendios forestales son la principal perturbación de los ecosistemas forestales mediterráneos, con graves efectos ecológicos, sociales y económicos. Los incendios se han cuantificado en España desde principios de la década de los sesenta, indicando una tendencia creciente (aunque muy variable) desde esa fecha. Variables tales como frecuencia, duración, extensión e intensidad han aumentado desde la citada década, si bien en los últimos años se aprecia una estabilización en la magnitud de las superficies afectadas.

CUADRO 3. Evolución superficie forestal en las Comunidades Autónomas que hay tres inventarios forestales nacionales. Datos en miles de ha; Índice datos 1 IFN=100

IF1	IF2	IF3	Incremento
2141,39 100	2214,6	2981,1 139,213315	839,71

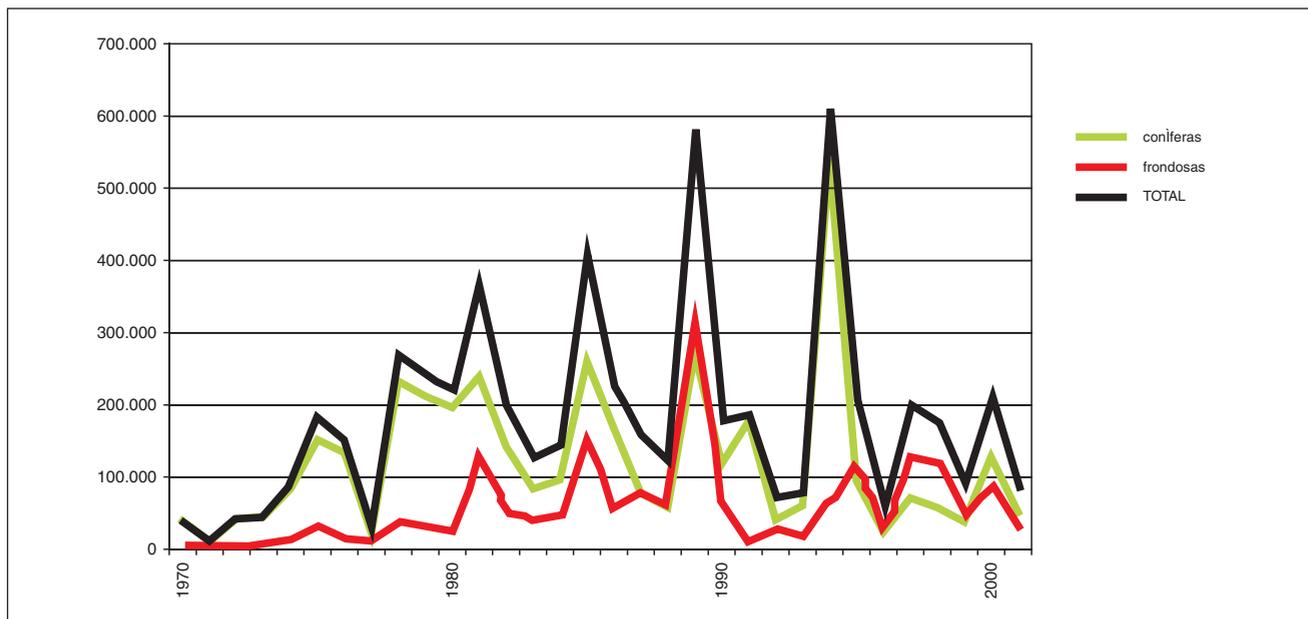
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 5. Superficie total quemada en España 1961-2002. (DGM, 1960-1969; MMA, 1970-2003).



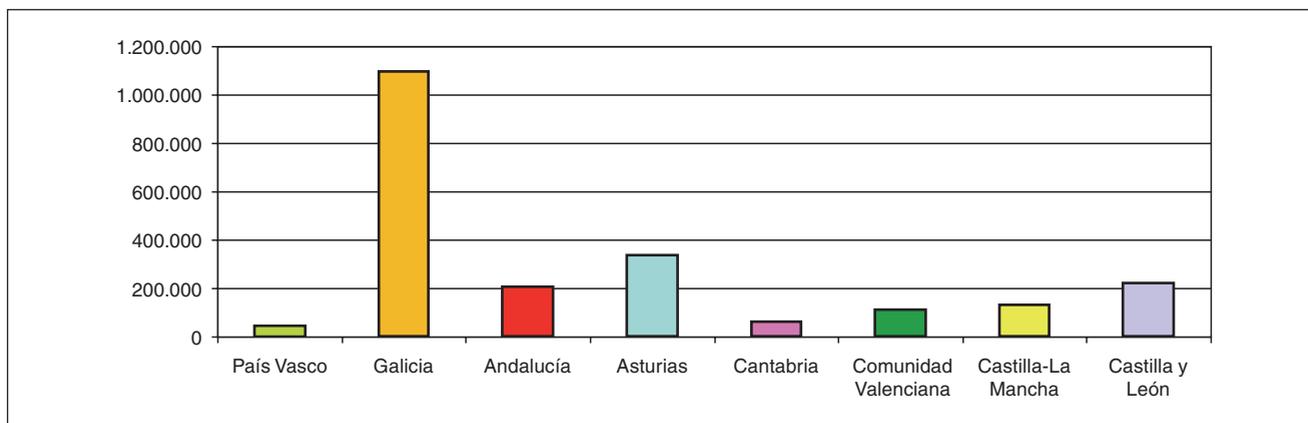
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6. Tendencia de las emisiones inmediatas de CO₂ En España procedentes de incendios forestales en masas arboladas. Período 1970-2001. (Toneladas de carbono).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7. Emisiones totales inmediatas por incendios forestales en algunas Comunidades Autónomas, período 1988-2001. (Toneladas de carbono).



Fuente: Elaboración propia.

La metodología anteriormente expuesta produce los siguientes resultados:

Se observa en la serie temporal los importantes picos de emisiones procedentes de incendios acaecidos en los años 1989 y 1994. El total de las emisiones inmediatas de CO₂ en el período considerado (1970-2001) es de 21,5 X 10⁶ toneladas en el conjunto del Estado español.

Respecto a la distribución en el espacio de las emisiones, sólo se ha calculado en las Comunidades Autónomas que disponían de series temporales completas, es decir, País Vasco, Galicia, Andalucía, Asturias, Cantabria, Comunidad Valenciana, Castilla-La Mancha y Castilla y León, que tienen datos comprendidos entre 1988-2001.

CUADRO 4. Emisiones de gases de efecto invernadero, período 1970-2001 (Toneladas de cada gas).

Emisiones en masa			
	CO ₂	CH ₄	CO
TOTAL	21.522.424	93.196	821.765
MEDIA	672.576	2.935	25.680

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en Galicia es donde se producen las mayores emisiones de GEI como consecuencia de ser la Comunidad Autónoma con mayores volúmenes de madera quemados en ese período histórico. Otras Comunidades Autónomas, como la Comunidad Valenciana, poseen escasas emisiones, a pesar de haber muchos incendios en ese territorio, por tener menor volumen de madera afectado por los fuegos.

Diversos trabajos científicos analizan el papel de los fuegos en las emisiones totales de GEI y su relación con los ecosistemas terrestres (Page *et al.*, 2002; Langenfelds *et al.*, 2002). Page y colaboradores relacionan directamente los importantes fuegos acaecidos en Indonesia en 1997-1998 con un aumento de los niveles de fondo de CO₂ atmosférico. Las

CUADRO 5. Emisiones de GEI nitrogenados, período 1970-2001 (Toneladas de cada gas).

	N ₂ O	NO _x
TOTAL	645,67	23.336,46
MEDIA	20,18	729,26

Fuente: Elaboración propia.

emisiones consideradas en esos fuegos se estimaron en 0,8-2,6 X 10¹⁵ gigatoneladas de carbono. Las emisiones procedentes de la combustión de la vegetación han tenido, como puede verse, efectos sobre los ciclos biogeoquímicos (Langenfelds, 2002). Las citadas emisiones de Indonesia también tuvieron, según los autores citados, repercusiones sobre los fenómenos atmosféricos de «El Niño» de ese año. Estas afecciones puntuales de ecosistemas forestales han tenido repercusiones sobre el ciclo mundial del carbono, especialmente al haberse producido en áreas de alta densidad del mismo.

En Portugal se ha estimado que las emisiones de CO₂ procedentes de fuegos son del orden del 7 por ciento del total emitido, con unas estimacio-

nes medias de 1.000 km² anuales quemados (Miranda, 1994).

Respecto a los incendios, se cuantifican las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en España pro-

CUADRO 6. Distintos escenarios respecto a los incendios forestales en España 2003-2033.

	Número de incendios	Superficie afectada Kilómetros cuadrados		
		Arbolada	Desarbolada	Total
Actual	14.050	794	1.258	2.052
Pesimista	16.860	953	1.510	2.463
Optimista	11.240	635	1.007	1.642

Fuente: Elaboración propia.

cedentes de incendios forestales, tanto inmediatas como diferidas. Los gases considerados son CO₂, CH₄, CO, N₂O y NO_x. Se utilizan los datos existentes de volúmenes de madera afectados para estimar la cantidad de carbono en la biomasa afectada por los incendios. El total de las emisiones inmediatas de CO₂ en el período considerado (1970-2001) es de 21,5 X 10⁶ toneladas en el conjunto del Estado español; las emisiones diferidas son, en promedio, 3,8 veces superiores a

éstas. Se observa cómo Galicia es la Comunidad Autónoma que más contribuye a las emisiones totales de GEI como consecuencia de los incendios forestales. Los datos calculados de las emisiones totales de CO₂ procedentes de incendios forestales suponen del orden del 1 por ciento del total de las emisiones estimadas en el nuestro país de dicho gas.

El total de las emisiones inmediatas de CO₂ en el período considerado (1970-2001) es de 21,5 X 10⁶ toneladas en el conjunto del Estado español. Se observan en la serie temporal los importantes picos de emisiones procedentes de incendios acaecidos en los años 1989 y 1994.

Emisiones diferidas

El total de las emisiones diferidas en España entre 1970 y 2001 asciende a 81,7 millones de toneladas de carbono. La relación entre las emisiones inmediatas procedentes de incendios forestales y las totales estimadas en España es de un 0,218 por ciento como media del período 1990-2000. Si nos fijamos en las emisiones totales de los incendios forestales (diferidas e inmediatas), éstas alcanzan el 1 por ciento aproximado de las emisiones totales en nuestro país. Hay que señalar que la estimación de las emisiones de GEI procedentes de los incendios lleva asociada una incertidumbre muy superior a la correspondiente a las emisiones de origen in-

CUADRO 7. Estimación de las emisiones inmediatas y diferidas procedentes de incendios forestales en España en el año 2033.

	Toneladas de CO ₂
Actual	4.132.305
Pesimista	4.958.766
Optimista	3.305.844

Fuente: Elaboración propia.

dustrial, debido básicamente a la incertidumbre en la cuantía de los volúmenes maderables afectados, los factores alométricos y los factores de emisión.

Finalmente, la existencia de un Plan Forestal Nacional, con sus previsiones de plantación de árboles y el consiguiente posible incremento de incendios forestales, diseña un posible escenario con mayores emisiones de gases de efecto invernadero debidas a los incendios forestales.

Escenarios de emisiones futuras

Los escenarios previsibles en España de nuevas repoblaciones a partir del Plan Forestal Nacional y de aumento medio de las temperaturas y menores precipitaciones por el cambio climático hacen prever un aumento del riesgo de incendios y de las emisiones por este factor. Se pueden suponer tres escenarios de superficies quemadas utilizando las tendencias de lo quemado y emitido en los últimos veinticinco años. El primer escenario es que siga la situación actual, ardiendo una media anual del orden de 2.052 km², de los cuales 1.258 km² son de superficie no arbolada y 794 km² de arbolada, con una media de unos 14.050 incendios anuales. Otra hipótesis más pesimista establece que podrían arder del orden de 2.463 km² anuales, y finalmente, la optimista, que podrían arder 1642 km² anuales como media.

Las emisiones en cada uno de estos casos, suponiendo ratios medios de densidad de madera y proporción similar a la actual entre coníferas y frondosas arrojan los siguientes datos de emisiones anuales de toneladas de CO₂.

CONCLUSIONES GENERALES: USO DE LOS MECANISMOS DE KIOTO

El Protocolo de Kioto prevé, para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por cada parte, una serie de medidas o mecanismos «amortiguadores»: la contabilización de los sumideros en el balance de emisiones y la utilización de tres mecanismos flexibles tales como la aplicación conjunta, o Joint Implementation (de países industrializados con economías en tran-

sición) y desarrollo limpio CMD, mecanismos de desarrollo limpio (con proyectos con países en desarrollo) y comercio de emisiones.

Estos mecanismos de flexibilidad podrían suponer entre el 4 y el 6 por ciento del total de las emisiones de la Unión Europea.

El uso de sumideros de carbono podría implicar para Europa en el período 2008-2012 alrededor de 10 millones de toneladas por año en actividades forestales y 3 millones de toneladas año en actividades agrícolas.

Los sumideros son aquellos mecanismos que reducen las emisiones de CO₂ como, por ejemplo, reforestaciones. «Descuentan», por expresarlo de alguna forma, de las emisiones nacionales, que tendrán que cumplir con una cantidad de emisiones netas «X», descontados los efectos sumidero. El efecto de este mecanismo ha sido valorado entre un 4% y un 6% de las emisiones totales.

El tema de los sumideros se relaciona básicamente con la política de reforestación, en sentido amplio, incluyendo la recuperación de la cubierta vegetal, así como con los cultivos arbóreos y la producción y utilización de biomasa.

Con objeto de incrementar el grado de homogeneidad y comparabilidad a nivel internacional, el IPCC¹ está elaborando una guía para medir e informar sobre los cambios en el carbono almacenado y en las emisiones por fuentes y absorciones por sumideros resultantes de actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.

Es necesario, pues, un mejor conocimiento de los procesos que controlan el papel de los ecosistemas en el ciclo del carbono u otros gases con efecto invernadero.

Uno de los puntos clave es, en consecuencia, el establecer en el marco de las Naciones Unidas, mapas de biomasa y mapas de CO₂ a través de la tecnología ya existente de los Sistemas de Información Geográfica a través de los satélites. Estos mapas deberían coordinarse con los trabajos que en este momento está realizando el INIA dentro del Ministerio de Agricultura.

La elaboración de estos mapas debería encargarse a grupos universitarios para que establecieran las metodologías de cálculo, y posteriormente a empresas con el fin de que realizaran el seguimiento y actualización de dichos mapas a lo largo de los años.

La fijación de carbono en biomasa no es fácil en gran parte del territorio, especialmente en la España mediterránea, en su conjunto, y excepto en pequeños enclaves asociados a zonas de elevada humedad no son aptas para el cultivo masivo de estas especies forestales, que presentan este elevado riesgo de incendio y, además unos valores de diversidad forestal muy elevados. Otros objetivos del sector forestal, tales como mantener unos valores de diversidad forestal, crear bosques con funciones protectoras, combatir contra la desertización, incrementar la superficie de las masas forestales, proteger contra los incendios forestales, evitar la degradación de los suelos, etc., también deben ser contemplados en la estrategia forestal, además de la fijación de carbono.

España tiene en sus manos definir medidas forestales de mitigación internacional y promover también el desarrollo de proyectos de prestación y reforestación en países en desarrollo, cuyas fijaciones de CO₂ sean verificables, de manera que permitan a nuestras empresas y a España alcanzar sus metas de reducción de reemisiones y cumplir con los cupos asignados a la hora de presentar sus balances anuales de emisiones.

Por ello se podría considerar en el momento de la elaboración del Plan Nacional de Asignación que se puede realizar una política de reforestación o de gestión forestal sostenible por parte de los sectores productivos como parte de la negociación de Kioto. Por ejemplo, en el Plan Nacional Austríaco de Asignación de emisiones se estima que Austria emitió en el año 2002 un total de 84,62 MtCO₂, sobre este total se deben reducir 17,07 MtCO₂. De éstas, 13,85 se llevan a cabo mediante un Plan Nacional de Asignación, y 3,22 (un 18,86% de la reducción) mediante la inversión en proyectos de CDM/JI (sumideros de carbono e implementación conjunta).

La fijación de carbono que puede realizar una planificación de especies de crecimiento rápido puede alcanzar 20 toneladas de CO₂ por hectárea y año, si bien, y dadas las particulares circunstancias de los ecosistemas forestales de España, será necesario contar con la variable diversidad para poder realizar una gestión forestal sostenible.

Para mitigar el cambio climático y ampliar la capacidad de utilizar los bosques como sumideros sería im-

(1) Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático, órgano científico de las Naciones Unidas que aglutina a más de mil investigadores de todo el mundo.

prescindible un mayor esfuerzo de gestión e inversión por parte de las Administraciones central y autonómica. Los sectores productivos desearían poder realizar reforestaciones o gestionar ecosistemas forestales que computen (descuenten) como derechos adicionales de emisión.

Los compromisos adquiridos en Kioto suponen un riesgo, es cierto, pero, también, una oportunidad de expansión, y en particular los sumideros pueden ser considerados como una oportunidad.

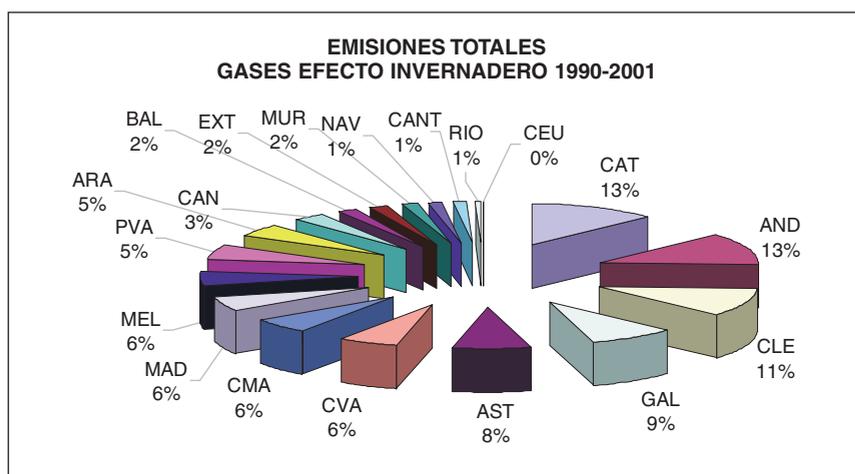
España tiene en sus manos definir medidas forestales de mitigación internacional y promover también el desarrollo de proyectos de prestación y reforestación en países en desarrollo cuyas fijaciones de CO₂ sean verificables, de manera que permitan a nuestras empresas y a España alcanzar sus metas de reducción de reemisiones y cumplir con los cupos asignados a la hora de presentar sus balances anuales de emisiones.

ANEXO 1

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GEI POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS. ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS

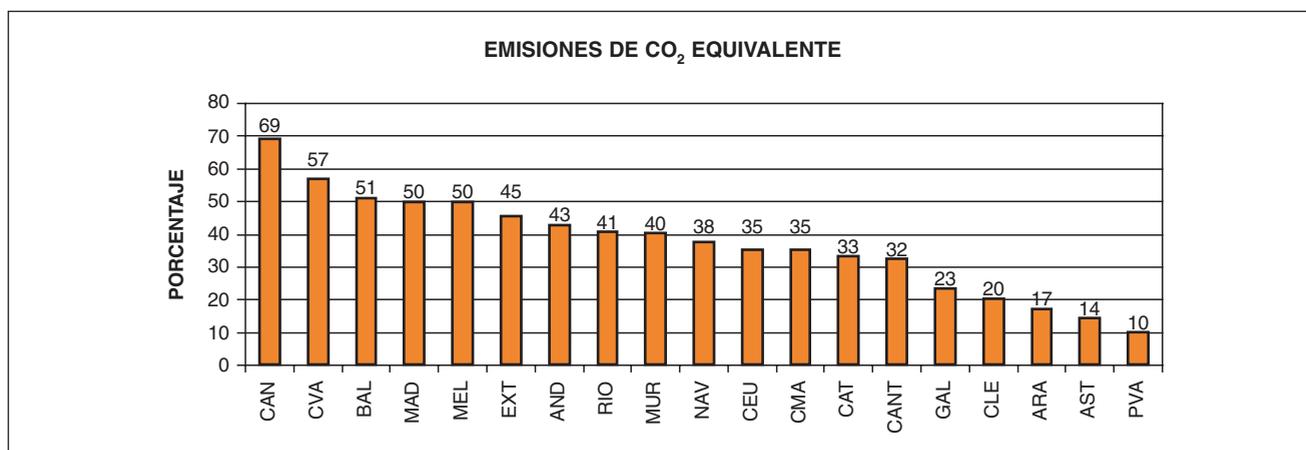
Los datos proceden de la Subdirección General de Calidad Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

1. INDICADOR DE RESPONSABILIDAD TOTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO.



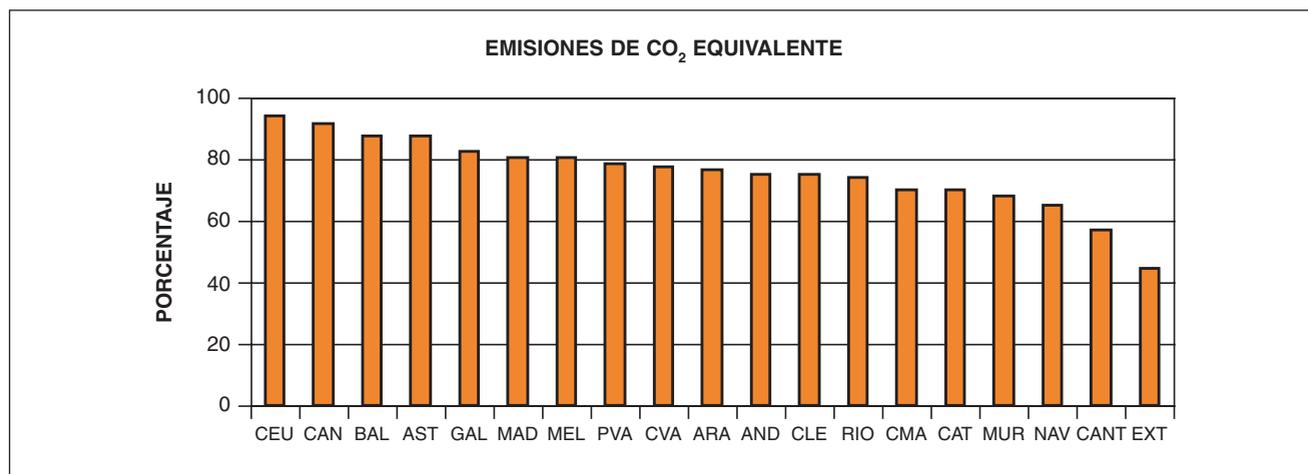
Los datos representan el total de las emisiones cambio climático producidas desde 1991 hasta el año 2001. Se observa cómo las mayores emisiones corresponden a Cataluña, Andalucía, Castilla y León, Galicia y Asturias. Representando estas Comunidades el 54% del total de las emisiones.

2. INDICADOR DE INCUMPLIMIENTO.



Representa el porcentaje de cambio desde los datos de 1990. Un valor mayor indica un mayor alejamiento de los valores de referencia del Protocolo de Kioto.

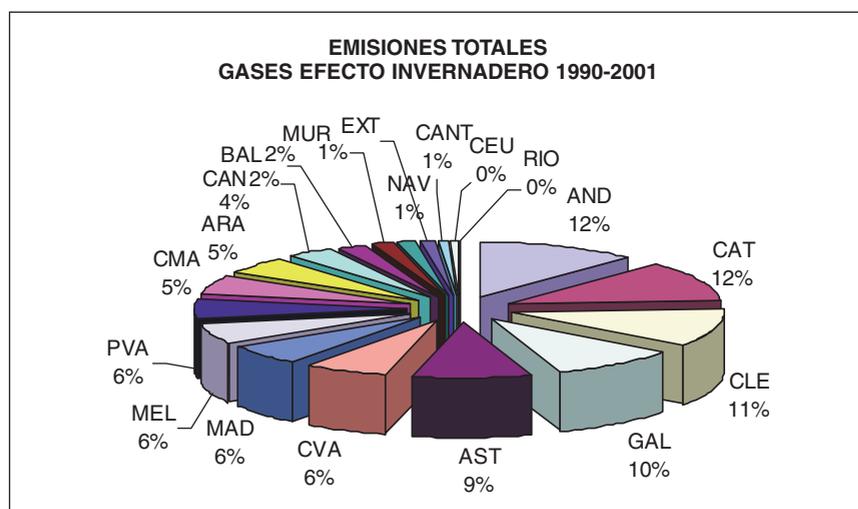
3. INDICADOR DE EMISIONES ENERGÉTICAS RESPECTO AL TOTAL DE LAS EMISIONES.



Se aprecia la importancia de las emisiones energéticas respecto al total de cada Comunidad Autónoma: y el elevado porcentaje en general de todas las Comunidades Autónomas y, en concreto, de Ceuta, Canarias, Baleares, Asturias y Galicia.

- <http://www.ree.es/ree-home.htm>
- <http://www.omel.com/>
- <http://www.mcyt.es/>
- http://europa.eu.int/pol/ener/index_es.htm
- <http://www.iea.org/>
- <http://www.weea.org/>
- <http://europa.eu.int/comm/eurostat/>
- <http://www.ine.es/>
- <http://www.fornuclear.org/>
- <http://www.ciemat.es>
- <http://www.cogen.org>
- <http://www.energias-renovables.com>
- <http://www.icaen.es>
- <http://www.ehn.es>
- <http://www.eufores.es>
- <http://www.gamesa.es>
- <http://www.isofoton.es>
- <http://www.bpsolar.com>

4 EMISIONES TOTALES ENERGÉTICAS POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS.



Se observa el conjunto de las emisiones en España discriminadas por Comunidades Autónomas y se comprueba que el mayor porcentaje corresponde a Andalucía, Cataluña y Castilla y León.

B) Revistas

- APPAINFO.*
- Lasenergías.com*
- Eficiencia Energética y Energías Renovables*, boletín del IDAE. Números 1, 2, 3, 4 y 5.
- Energías Renovables.*
- C.V. Revista internacional de energía y medio ambiente.*
- Energética XXI.*
- Era Solar.*
- Tecnoambiente.*
- Infopower.*
- Tecnoenergía*
- Energía. Ingeniería Energética y Medioambiental.*
- World Watch.*

C) Libros y artículos.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reporting Instructions*, Volume 1, Glossary.

ANEXO 2

ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO

REFERENCIAS

A) INTERNET:

- <http://www.unfccc.de>
- <http://www.ipcc.ch>
- <http://www.climnet.org>
- <http://www.iisd.ca>

- <http://www.greenpeace.org/climate/>
- <http://www.foei.org/campaigns/Climat>
- <http://www.appa.es>
- <http://www.idae.es>
- <http://www.unesa.es>
- <http://www.mineco.es/>
- <http://www.mma.es/>
- <http://www.cne.es/>
- <http://www.mundoenergia.com/>



- FAO. State of the World's Forests. Roma, 2002.
- Ministerio de Medio Ambiente: *Segunda comunicación nacional de España a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Madrid, 1997.
- MOPTMA: *Informe de España a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Madrid, 1994.
- Ministerio de Medio Ambiente: *Tercera comunicación nacional de España a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Madrid, 2002.
- MOPTMA: *Programa Nacional sobre el Clima*. Madrid, 1994.
- IPCC: *Climate Change 1995* (tres tomos que suman 1.898 páginas) y *Climate Change 1994. Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, 1996 y 1995. En 1995 se publicó un resumen titulado *Radiative Forcing of Climate Change*. WMO/UNEP. Geneva, 1995. Otros informes del IPCC son: *Scientific Assessment of Climate Change*. WMO/UNEP. Ginebra, 1990; *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, 1990; *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, 1992. El tercer informe del IPCC puede consultarse en Internet.
- Bustos, Manuel: *La directiva 2003/87/ce de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la UE. Guía básica. 50 preguntas y respuestas*. Barcelona, 2003.
- MIMAM: *Estrategia Española para el cumplimiento del Protocolo de Kioto (borrador)*. Madrid, 2002.
- Ministerio de Economía: *Planificación de las redes de transporte eléctrico y gasista 2002-2011*. Madrid, 2002.
- Ministerio de Economía: *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012*. Madrid, 2003
- Nieto, Joaquín y Santamarta, José: *Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2002)*. CCOO, Madrid, 2003.
- Grupo de Prospectiva IDAE/MINER/MEH (2000): *Perspectiva Energética y CO₂*. Madrid.
- IDAE (1999): *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*. Madrid.
- IDAE (2001): *Eficiencia energética y urbanismo*. Madrid.
- IDAE (2000): *Eficiencia energética y empleo*. Madrid.
- Ministerio de Economía. *Estadística de energía eléctrica*. Varios años.
- ANFTA (Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros) (2002): *Restos de madera: demasiado valiosos para ser quemados*. Madrid.
- BIBLIOGRAFÍA DE EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE INCENDIOS FORESTALES**
- CRUTZEN P. J., y MEINRAT, O. ANDREA (1990): «Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles», *Science* 250 1669-1678.
- DGM (*Memoria de la Dirección General de Montes*), 1960-1969. Ministerio de Agricultura, Madrid, España.
- EPA (1977): *Compilation of air pollutant emission factors*, Third Edition. EPA. Research, Triangle Park.
- IPCC (1996). *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*, vol.3.
- LANGENFELDS, R. L. *et al.* (2002): «Interannual growth rate variations of atmospheric CO₂ and its ¹³C, H₂, CH₄ and CO between 1992 and 1999 linked to biomass burning». *Global Biogeochemical Cycles*, 16: 1048.
- MIRANDA, A. I.; COUTINHO, M., y BORREGO, C. (1994): «Forest fire emissions in Portugal: A contribution to global warming?» *Environmental Pollution*, 83: 121-123.
- MMA (1970-2003): *Los incendios forestales en España* (anuarios de 1970 a 2000). Ministerio de Agricultura y Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. Datos 2001-2003 en Internet: www.incendiosforestales.org.
- Oficina Española de Cambio Climático: *Estrategia Española para el cumplimiento del protocolo de Kioto*. Ministerio de Medio Ambiente. 2003 (2º Borrador).
- Page, S.E., *et al.*, (2002): «The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997». *Nature*, 420: 61-65.
- PRIETO, F. (1995): *Incendios forestales*. Edita CCOO. Departamento Confederal de Ecología y Medio Ambiente. pp.205. Madrid, España.
- RODRÍGUEZ MURILLO, J.,C. (1994): «The carbon budget of the Spanish forests», *Biogeochemistry*, 25: 197-217.
- (1997): «Temporal variations in the carbon budget of forest ecosystems in Spain». *Ecological Applications*, 7: 461-469.
- (1999): «El ciclo mundial del carbono. Método de cálculo por los cambios de uso de la tierra. Balance de carbono en los bosques españoles». *El calentamiento global en España*, (ed. Hernández Álvarez).