

# **EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA. ESTADO DE SITUACIÓN**

**DOCUMENTO RESUMEN  
NOVIEMBRE DE 2007**



Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático







Tras la última Conferencia de presidentes autonómicos, celebrada el 11 de enero de 2007, el Presidente del Gobierno, D. José Luis Rodríguez Zapatero, solicitó la elaboración de un informe de referencia sobre el estado de situación del cambio climático en España.

Para la elaboración del informe se ha contado con distintos autores, seleccionados teniendo en cuenta, entre otras, la propuesta realizada por los miembros de la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático.

Todos los autores son expertos de reconocido prestigio y cuentan con un relevante currículo en las distintas materias del informe en las que han trabajado. Ello no obsta para que se deje constancia de la existencia de otros muchos prestigiosos autores con los que no ha sido posible colaborar para la preparación del informe.

Este informe presenta una aproximación actualizada a la situación del cambio climático en España. Aunque no analiza de forma exhaustiva todos los posibles aspectos relacionados con el cambio climático en nuestro país, sí facilita una visión de conjunto, sencilla y solvente, sobre las líneas de trabajo más importantes a seguir por las administraciones españolas en esta materia.

Los autores que han trabajado en la elaboración del informe son:

- Juan Carlos Abanades García  
(Autor contribuyente del IPCC-Investigador del CSIC)
- José María Cuadrat Prats  
Profesor del Departamento de Geografía (Universidad de Zaragoza)
- Manuel de Castro Muñoz de Lucas  
Catedrático de Física de la Tierra (Universidad de Castilla-La Mancha)
- Felipe Fernández García  
Catedrático de Geografía Física (Universidad Autónoma de Madrid)
- Carmen Gallastegui Zulaica  
Catedrática de Economía (Universidad del País Vasco)
- Luis Garrote de Marcos  
Catedrático de Ingeniería Hidráulica (Universidad Politécnica de Madrid)
- Luis M. Jiménez Herrero  
Director Ejecutivo del Observatorio de la Sostenibilidad
- Ramón Juliá Brugués  
Profesor de Investigación del CSIC – Instituto Jaume Almera
- Iñigo J. Losada Rodríguez  
Catedrático de Ingeniería Hidráulica (E.T.S. caminos Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria)
- Andrés Monzón de Cáceres  
Catedrático de Transportes (Universidad Politécnica de Madrid)
- José Manuel Moreno Rodríguez  
Catedrático de Ecología (Universidad de Castilla-La Mancha)

- José Ignacio Pérez Arriaga  
Profesor y Director de la Cátedra BP de Desarrollo Sostenible (Universidad Pontificia de Comillas)
- Valeriano Ruiz Hernández  
Catedrático de Termodinámica (E.S. Ingenieros de la Universidad de Sevilla)
- M<sup>a</sup> José Sanz Sánchez  
(Autor contribuyente del IPCC-Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo)
- Ramón Vallejo Calzada  
Profesor Titular del Departamento de Biología Vegetal (Universidad de Barcelona)

El apoyo técnico de la Administración General del Estado para contribuir en la elaboración del informe ha sido facilitado por D. Enrique Jiménez Larrea, Director General del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y por D<sup>a</sup> Teresa Ribera Rodríguez, Directora General de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC).

# Índice

---

I	EL CAMBIO CLIMÁTICO ES UN PROBLEMA GLOBAL QUE REQUIERE RESPUESTAS GLOBALES Y LOCALES .....	1
I.1	Presentación del problema .....	1
I.2	Objeto del informe.....	2
I.3	El contexto internacional.....	3
I.4	Los costes de la acción y de la inacción .....	4
I.4.1	Los costes de la acción.....	5
I.4.2	Los costes de la inacción.....	5
II	CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA. EVIDENCIAS DEL FENÓMENO .....	6
II.1	Los climas pasados en España .....	7
II.2	El clima actual y su tendencia.....	7
III	ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALIZADOS .....	8
III.1	Escenarios de temperaturas medias .....	9
III.2	Escenarios de precipitación .....	11
III.3	Escenarios de cambio de otras variables climáticas .....	11
III.4	Escenarios de cambio de eventos climáticos extremos.....	11
IV	IMPACTOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	12
IV.1	Evaluación general de los impactos, vulnerabilidades y medidas de adaptación al cambio climático. ....	13
IV.1.1	Ecosistemas y biodiversidad.....	13
IV.1.2	Recursos hídricos .....	14
IV.1.3	Zonas costeras.....	15
IV.1.4	El suelo y sus usos .....	17
IV.1.5	La producción de alimentos y fibras: agricultura, ganadería, pesca, bosques .....	18
IV.1.6	La salud humana.....	18
IV.1.7	Otros sectores productivos: energía, turismo y seguros.....	19
IV.2	Los riesgos naturales de origen climático: inundaciones, incendios, inestabilidad de laderas .....	20
IV.2.1	Inundaciones.....	20
IV.2.2	Incendios forestales .....	21
IV.2.3	Deslizamientos de laderas .....	22
V	EN BÚSQUEDA DE SOLUCIONES: LA SITUACIÓN ACTUAL, LAS CAUSAS DEL PROBLEMA Y LAS OPCIONES DE MITIGACIÓN .....	22
V.1	Las emisiones de gases de efecto invernadero en España .....	22
V.1.1	El inventario nacional de gases de efecto invernadero.....	22
V.1.2	Evolución de la economía – impacto en las emisiones.....	23
V.1.3	Población y hogares.....	24

# Índice

---

V.1.4	La importancia del sector energético .....	24
V.1.5	Movilidad y parque de vehículos.....	25
V.1.6	Hidraulicidad y energía eólica .....	25
V.2	Situación en los países de nuestro entorno .....	25
V.3	Las opciones de mitigación de las emisiones de GEI.....	26
V.3.1	La perspectiva temporal.....	28
V.3.2	La actual encrucijada energética .....	28
V.3.3	El caso español.....	29
V.3.4	Las grandes líneas de solución.....	29
V.3.5	Modelo competencial Estado-Comunidades Autónomas .....	30
VI	AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS CONSUMOS FINALES.....	30
VI.1	Consideraciones generales .....	30
VI.2	Sector transporte .....	31
VI.3	Sector residencial, comercial e institucional .....	31
VI.4	Sector industrial .....	32
VI.5	Otros sectores.....	32
VII	PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y DE COMBUSTIBLES Y OTRAS TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS .....	33
VII.1	La producción de electricidad y calor.....	33
VII.2	Generación eléctrica con energías renovables.....	33
VII.2.1	Energía hidráulica .....	33
VII.2.2	Energía eólica .....	33
VII.2.3	Energía solar.....	34
VII.2.4	Generación eléctrica y térmica con biomasa .....	35
VII.2.5	Otras energías renovables.....	36
VII.3	Centrales termoeléctricas de combustibles fósiles .....	36
VII.4	Energía nuclear.....	36
VII.5	Cogeneración.....	37
VII.6	Biocarburantes.....	37
VII.7	Captura y almacenamiento geológico de CO2 .....	38
VIII	OTROS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y OTROS SECTORES NO ENERGÉTICOS.....	39
VIII.1	Agricultura y ganadería .....	39
VIII.2	Los sumideros forestales .....	40
VIII.3	Residuos .....	41
VIII.4	Gases fluorados.....	42
IX	CONCLUSIÓN .....	42

# I EL CAMBIO CLIMÁTICO ES UN PROBLEMA GLOBAL QUE REQUIERE RESPUESTAS GLOBALES Y LOCALES

## I.1 Presentación del problema

El Cambio Climático es un hecho irrefutable, calificado de “inequívoco”, y con impactos que son ya importantes. Sabemos que un calentamiento global promedio en la superficie terrestre superior a los 2°C provocará muy probablemente efectos irreversibles en los ecosistemas, y por ende en las sociedades humanas, incluyendo la economía y la salud. Las proyecciones indican que es muy probable un calentamiento de por lo menos 0.2°C por década en el futuro cercano.

El cambio climático es un problema íntimamente ligado al desarrollo, asociado a nuestro modelo de crecimiento basado en la quema de combustibles fósiles y patrones de consumo y producción poco eficientes considerando un punto de vista energético. Constituye un reto sin precedentes por la dificultad que supone dar una respuesta eficaz a las causas que originan el problema, abordar con éxito la adaptación a los efectos que ocasiona y garantizar simultáneamente el derecho al desarrollo de los más pobres y vulnerables quienes, no habiendo contribuido a su aparición o habiéndolo hecho en mucha menor medida, se ven abocados a las indeseables consecuencias que acarrea. La magnitud del reto tanto desde la perspectiva económica como desde la perspectiva tecnológica y cultural no puede ser infravalorada. La era de utilización de los combustibles fósiles ha venido acompañada de tasas de crecimiento del PIB, y de los niveles de vida muy importantes y la aspiración de mantenimiento y generalización de altas cotas de bienestar debe hacerse compatible con la necesidad de reducir las emisiones de aquí a 2050 a un nivel compatible con el objetivo de no incrementar en más de 2°C la temperatura media de la superficie del Planeta. No es de extrañar, por tanto, que la pregunta acerca de cuáles van a ser las implicaciones económicas y sociales del cambio de modelo aparezca con fuerza en el debate actual.

Las fuentes de los gases de efecto invernadero (GEI) son múltiples: quema de combustibles para generación de electricidad, transporte, procesos industriales, agricultura, turismo, vivienda... Las emisiones de estos gases están profundamente ligadas a nuestro modelo de sociedad y nuestro consumo energético y no solemos ser conscientes de la multitud de actos cotidianos asociados a emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre las dificultades que comporta el hacer frente al cambio climático está su carácter global y la desconexión territorial entre emisiones e impactos. Los efectos de las emisiones sobre el sistema climático son independientes del país donde se encuentra la fuente emisora. O dicho con otras palabras, las emisiones de unos perjudican a todos, y las medidas de limitación de las emisiones benefician a todos, independientemente de quién haga el esfuerzo. Es imposible atajar el problema sin la participación de todos.

Por todo ello, resulta fundamental que todos los países se pongan de acuerdo y actúen de forma coordinada, cada cual conforme a sus circunstancias y responsabilidades. Sin embargo, la necesidad de disponer de un acuerdo multilateral no ha de ser un obstáculo para la acción nacional y local. Por el contrario, constituye una condición necesaria cuando los ámbitos de decisión están descentralizados.

A nivel nacional, el éxito de este ejercicio requiere sumar los esfuerzos destinados a un mejor conocimiento del problema, las causas que lo originan y sus consecuencias.

Los títulos competenciales afectados son muchos y muy variados, como lo son también las herramientas económicas y técnicas disponibles y las que resulta necesario promover de manera adicional. La preocupación por los impactos es ya una constante en la opinión pública. Superarlos con éxito, minimizando costes, requiere facilitar las medidas de adaptación tempranas y para ello debemos identificar con el mayor grado de precisión posible dónde y cómo podemos esperar alteraciones en el clima, así como sus consecuencias. Es también preciso elegir adecuadamente los instrumentos de actuación. Sería un terrible error no tener presente la necesidad de reducir los costes de la mitigación y de la adaptación.

La adopción de políticas frente al cambio climático, si están bien diseñadas, permite, además, alcanzar otros muchos objetivos de política ambiental, económica o de promoción de la competitividad de nuestras empresas y creación de nuevos puestos de trabajo. Un mejor conocimiento de los efectos, incrementa la solvencia de las decisiones sobre la gestión de los bosques, agricultura, recursos hídricos, el litoral y los ecosistemas, mejora la calidad y la fiabilidad de las infraestructuras o facilita el acierto de las decisiones económicas promoviendo la aparición de nuevas actividades y nuevos nichos de mercado en sectores muy diversos, incluido el energético. Los esfuerzos para reducir las emisiones mejoran la calidad del aire y de vida en nuestras ciudades, proporcionan ahorros en energía, facilitan la financiación de la transición tecnológica a una economía de baja intensidad en carbono, y pueden promover empresas más competitivas y con mayor potencial de exportación de bienes y servicios con alto contenido tecnológico. Entre los beneficios adicionales que cabe esperar se encuentran las nuevas oportunidades en el sector servicios y en la agricultura, asociados al cambio en los usos de la tierra que se convierte en un factor útil para producir, entre otras cosas, materias primas para el sector energético.

## **I.2 Objeto del informe**

Este documento aporta de manera concisa algunos de los elementos más relevantes que se han de tener en cuenta en el proceso de toma de decisión para enfrentarse al cambio climático, sus orígenes y consecuencias. En un primer bloque se resumen los conocimientos sobre el clima pasado, reciente, las tendencias actuales y las proyecciones futuras para España. Además, se analizan los principales impactos del cambio climático sobre los sistemas naturales y sus recursos, con particular atención a los recursos hídricos, o los servicios que éstos prestan; sobre sistemas clave, como el litoral o el suelo, incluyendo la desertificación u otros sectores productivos con vinculación directa con el clima.

En el segundo, se hace un balance de las emisiones de gases de efecto invernadero en España y su evolución; se introducen las principales fuentes de emisión, la evolución previsible a la vista de las medidas adoptadas y el potencial de reducción de distintas alternativas; prestando especial atención a las correspondientes a las energéticas que representan el volumen más importante de las emisiones.

El texto está, por tanto, centrado en la situación de España y orientado a facilitar el debate entre responsables de políticas públicas. No obstante, se tiene presente el contexto multilateral en el que es necesario adoptar soluciones a medio y largo plazo. Por ello, se consideran como referencia los objetivos asumidos por España en el actual marco jurídico internacional y los compromisos unilaterales anunciados por la Unión Europea en el horizonte de 2020.

### **I.3 El contexto internacional**

La comunidad internacional viene trabajando desde hace años en la elaboración de un marco que aborde la vertiente supranacional del cambio climático. A este respecto, y hasta la fecha presente, el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que entró en vigor en 1994, constituye la iniciativa de carácter multilateral más relevante.

El Convenio no atribuye obligaciones cuantificadas de limitación de las emisiones. En cambio, introduce la posibilidad de adoptar otros instrumentos jurídicos conexos. El instrumento que desarrolla el Convenio, estableciendo limitaciones a las emisiones de un grupo de países, y creando algunos mecanismos novedosos de reducción de las emisiones, es el Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto fue aprobado en el año 1997 durante la tercera Conferencia de las Partes del Convenio y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Mediante este acuerdo, los países desarrollados se comprometen a reducir colectivamente sus emisiones un 5% como media anual durante el período 2008-2012 con relación a las emisiones del año base (1990 en la mayoría de los casos). Los quince países que formaban parte de la Unión Europea cuando se adoptó y ratificó el Protocolo, de conformidad con las reglas en él establecidas, acordaron redistribuir el objetivo comunitario entre los Estados miembro. Como consecuencia de esta distribución (acuerdo de reparto de la carga) a España le corresponde limitar en un 15% el crecimiento de sus emisiones durante el período 2008-2012, como media anual, respecto al año base.

La existencia de compromisos cuantificados de limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero es la columna vertebral del Protocolo de Kioto, y aquello que lo hace único frente a otras iniciativas internacionales de lucha contra el cambio climático. Pero el Protocolo presenta otros elementos singulares que merecen al menos un breve comentario. El primero de estos elementos consiste en un conjunto de tres instrumentos de mercado concebidos para que las reducciones de emisiones se produzcan allí donde los costes de mitigación son menores. Son los llamados mecanismos de flexibilidad. El segundo elemento singular en el diseño del Protocolo de Kioto lo constituye la inclusión de las absorciones de carbono por los llamados sumideros biológicos en la contabilidad del balance de emisiones nacionales.

Los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto se han convertido en un elemento clave para facilitar la transición hacia un modelo de crecimiento económico a escala global menos dependiente de los combustibles fósiles, mediante la creación de un mercado de carbono mundial y el establecimiento, como consecuencia de ello, de un precio vinculado a sus emisiones. En particular, el denominado Mecanismo de Desarrollo Limpio se ha revelado como un instrumento eficaz para incentivar la transferencia de tecnología limpia a los países en vías de desarrollo y propiciar que su crecimiento económico vaya ajustándose a una senda de moderación en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero.

Pero, además, el Protocolo de Kioto y sus mecanismos de flexibilidad han inducido e inspirado la creación de un mercado de derechos de emisión de ámbito comunitario. Efectivamente, la Unión Europea puso en marcha el 1 de enero de 2005 el mercado de CO<sub>2</sub> más ambicioso hasta la fecha (Directiva 2003/87/CE). Este mercado cubre las emisiones de CO<sub>2</sub> de más de 10.000 instalaciones en los 27 Estados miembros, (en total más de 2.000 millones de toneladas); aproximadamente, el 45% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en la Unión. A su vez, el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión, junto con el mecanismo de desarrollo limpio del Protocolo de Kioto y otros instrumentos con menor impacto están actuando como

motor de un mercado global de carbono. La importancia de este mercado radica en que pone precio a la emisión de CO<sub>2</sub>, de forma que se crea un incentivo económico para evitar o reducir las emisiones allí donde sea económicamente más eficiente. A fecha de hoy, el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> (período 2008-2012) en el mercado comunitario se sitúa en torno a 20 euros.

El Protocolo de Kioto supone, sin lugar a dudas, un paso muy positivo en la lucha contra el cambio climático. Sin embargo, es inevitable plantearse si el Protocolo es un instrumento suficiente para que se alcance el objetivo último del Convenio y, en definitiva, para que se afronte con éxito el reto del cambio climático. La primera duda surge con la consideración del calendario de negociación y aplicación, que ha sido extremadamente prolongado. ¿Tenemos tanto tiempo? Por otro lado, aparecen limitaciones del Protocolo, referidas tanto a la falta de participación de dos grandes países industrializados: Australia y Estados Unidos, como al hecho de que los compromisos de limitación de las emisiones no afectan a los países en desarrollo, entre los que se encuentran algunos en rápido crecimiento económico y energético como son India, China, Sudáfrica, México y Brasil. Por último, no se puede obviar el hecho de que algunos países firmantes del Protocolo estamos todavía lejos de los objetivos de cumplimiento.

La ofensiva contra el cambio climático no ha hecho más que empezar. Las medidas adoptadas hasta ahora no son suficientes para frenarlo en el medio y largo plazo. Se necesitan políticas y cambios mucho más estrictos. Existe un consenso generalizado sobre la necesidad de que, para impedir aumentos de la temperatura global superiores a 2°C a finales del siglo XXI, va a ser necesario reducir un 50-85% las emisiones globales de CO<sub>2</sub> equivalente en el año 2050 respecto a las del año 2000. En un mundo con población tendente a alcanzar los 10000 Millones de personas, esto supone un objetivo de emisión per capita global, en el largo plazo, de entre 1,5-2,5 toneladas CO<sub>2</sub> equivalente por persona y año. Los datos recogidos en los últimos informes del IPCC indican claramente que, en la actualidad, la responsabilidad en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera sigue recayendo mayoritariamente en los ciudadanos de los países ricos, que emiten entre 5 y 10 veces más del valor deseable en el largo plazo. Es, por tanto, evidente que los países ricos, como España, deben profundizar rápidamente en una senda de reducción drástica de las emisiones.

La comunidad internacional debe acordar un régimen global de lucha contra el cambio climático para después del año 2012. La Unión Europea ha tomado la iniciativa de este proceso. En su reunión de marzo de 2007, el Consejo Europeo ha apoyado el objetivo de la UE de reducir un 30% las emisiones de gases de efecto invernadero de aquí a 2020 en relación a las de 1990, siempre que otros países desarrollados asuman reducciones equivalentes. Asimismo, se ha comprometido a transformar Europa en una economía de alta eficiencia energética y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, formulando un compromiso unilateral de lograr, al menos, una reducción del 20% de las emisiones de aquí a 2020 en comparación con 1990.

#### **I.4 Los costes de la acción y de la inacción**

Con los datos disponibles hasta la fecha, podemos decir que actuar frente al cambio climático es una inversión rentable, ya que los daños esperados superarán los costes de mitigación. Por cada euro invertido en actividades de mitigación podríamos ahorrar daños por valor de hasta 5 euros según el IPCC (Cuarto Informe de Evaluación IE4) y de hasta 20 euros, según el Informe Stern.

Un aspecto poco mencionado es que la lucha contra el cambio climático no sólo plantea restricciones, sino también oportunidades. La mitigación puede permitir a

España reducir su dependencia de los combustibles fósiles y mejorar otros problemas ambientales como la contaminación atmosférica de las ciudades. Es también una buena oportunidad, por ejemplo, para repensar la planificación del territorio, para canalizar las necesidades de movilidad hacia modos de transporte más limpios y para apostar por las nuevas tecnologías y la I+D+i. En este contexto, es cierto que muchas empresas tendrán que asumir costes, pero también podrán obtener beneficios y ser más competitivas si son capaces de ahorrar energía o de desarrollar productos bajos en carbono. El cambio climático también puede, por tanto, constituir una oportunidad para mejorar no tanto el nivel como la calidad de vida.

#### **1.4.1 Los costes de la acción**

Empezamos considerando los costes a corto plazo. En general, los costes totales para España de cumplimiento del Protocolo de Kioto serán mayores que los de la media europea ya que la distancia que nos separa de los objetivos fijados es más alta. Sin embargo, los costes unitarios de reducción (€/tCO<sub>2</sub>) son menores al existir posibilidades más baratas de reducir emisiones mediante cambios en el mix energético, mediante mejoras en la eficiencia energética o mediante una mejor planificación del sector del transporte.

Los costes de mitigación en el largo plazo son difíciles de estimar, ya que existen grandes incertidumbres. El impacto sobre el PIB mundial va a ser función del escenario de reducción de las emisiones y de cuál sea la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Según el IPCC, y como se recoge en la tabla siguiente, reducciones de emisiones coherentes con unas concentraciones en la atmósfera de 445-535 ppm (partes por millón) en 2030 supondrían una disminución del PIB mundial inferior al 3%, y mantener estas mismas concentraciones en 2050 supondría una pérdida inferior al 5,5%. Estas concentraciones permitirían mantener los incrementos de temperatura entre los 2 y 2,8 grados centígrados; si bien la Comisión Europea en su estrategia de cambio climático plantea como objetivo limitar los incrementos de temperatura por debajo de los dos grados centígrados.

*Tabla 1: Costes para diferentes escenarios de estabilización de concentraciones en la atmósfera (IPCC 2007)*

Concentraciones (ppm CO <sub>2</sub> -eq.)	Temperaturas (grados centígrados)	Reducción PIB mundial (%)	
		2030	2050
590-710	3,2-4,9	-0,6-1,2	-1-2
535-590	2-3,2	0,2-2,5	0-4
445-535	2-2,8	<3	<5,5

#### **1.4.2 Los costes de la inacción**

Los impactos del cambio climático serán muy diversos a escala mundial. Se estima que los incrementos de temperatura inferiores a los 2º C podrían generar beneficios en algunas regiones y sectores acompañados de impactos negativos en otros muchos. Incrementos superiores a 2-3º C supondrían pérdidas en casi todos los lugares.

El IE4 estima que las pérdidas para un aumento de temperatura de 4 °C podrían situarse entre un 1 y un 5% del PIB, aunque en algunos países estas reducciones podrían ser más elevadas. En estos cálculos se han incluido las pérdidas derivadas de la agricultura, el turismo, los desastres naturales o los costes de construcción de infraestructuras para la adaptación. El mundialmente conocido Informe Stern señala que estos daños podrían ser mayores y alcanzar entre un 5% y un 20% del PIB mundial.

## II CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA. EVIDENCIAS DEL FENÓMENO

Una de las características más evidentes del clima es su continuo estado cambiante a diferentes escalas espacio-temporales, que es lo que se denomina variabilidad natural del clima, sobre la que interviene de manera cada vez más activa el hombre con la modificación de la composición de la atmósfera. De hecho, el clima terrestre es el resultado de la evolución de los diferentes sistemas naturales durante millones de años; en este sentido, la reconstrucción histórica ayuda a comprender los factores que han intervenido en su configuración y a desarrollar herramientas para prever posibles tendencias futuras.

La comprensión y caracterización del comportamiento de los climas presentes y pasados en las diversas épocas históricas, con sus características y fluctuaciones, así como la influencia que éstas ejercen sobre los ecosistemas y las actividades humanas, es esencial para el conocimiento del sistema climático y de sus cambios. Por otra parte, no es suficiente describir el clima mediante los valores medios de los elementos climáticos, se requiere también conocer la oscilación entre los valores extremos, causantes de los eventos climáticos más catastróficos, lo que implica determinar la variabilidad natural del clima, es decir, descubrir entre qué valores se mueven las variables climáticas en cada período histórico.

Con la paleoclimatología se trata de estudiar cuáles han sido los climas pasados y su evolución a través de los tiempos, haciendo uso de las huellas de su influencia en los ecosistemas, tanto las que han quedado marcadas directamente en los propios ecosistemas como las que han sido reflejadas por el hombre en todo tipo de documentos escritos. En España se han realizado, y se siguen realizando, valiosos estudios paleoclimatológicos de suelos, fósiles, anillos de los árboles, polen, etc.

La detección y atribución de que el cambio climático es debido a causas antropogénicas es un tema capital y una de las principales preocupaciones a nivel mundial. En la actualidad, los responsables de planificar y establecer estrategias y políticas para la lucha contra los efectos y las causas del cambio climático necesitan disponer de herramientas de evaluación e información lo más precisas posibles sobre estos aspectos.

En este sentido, en el IE4 del IPCC se reconoce por primera vez que el calentamiento del sistema climático global es inequívoco y que es “muy probable” que este calentamiento sea debido en su mayor parte a causas antropogénicas. El IE4 también concluye que los datos disponibles disipan cualquier duda acerca de que el clima está cambiando. Las observaciones muestran un aumento de temperatura en el aire y en el océano, del ritmo de deshielo de los glaciares y capas de hielo y una elevación del nivel del mar. Durante los últimos 100 años, la superficie de la Tierra se ha calentado en un promedio de 0,74 °C, y el ritmo de calentamiento se ha acelerado desde la década de 1970. De hecho, los 15 años más cálidos registrados a escala global han tenido lugar durante los pasados 20 años y 11 ocurrieron desde 1995.

Europa se ha calentado en promedio aproximadamente 1 °C en el último siglo, a un ritmo mayor que el promedio global, y España se ha calentado en promedio más que el promedio europeo (entre 1.2 °C y 1.5 °C). Así, durante el siglo XX, y particularmente en su último tercio, las temperaturas en España han aumentado de forma general, siendo este efecto especialmente acusado en primavera y verano. Desde 1850 hasta 2003, los promedios anuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias han aumentado, respectivamente, a un ritmo de 0,12°C/década y 0,10°C/década.

A escala continental, regional, y de cuencas oceánicas, se han observado además numerosas alteraciones en el clima a largo plazo, incluyendo cambios generalizados

en las cantidades de precipitación, en la salinidad de los océanos, en los patrones de viento, y en aspectos de extremos atmosféricos, como la frecuencia de sequías, lluvias torrenciales y olas de calor, o la intensidad de los ciclones tropicales.

## **II.1 Los climas pasados en España**

El conocimiento de cómo ha variado el clima en España en épocas anteriores se basa en el análisis de descriptores relacionados con las condiciones climáticas, tales como los anillos de crecimiento de los árboles o dendroclimatología, los sedimentos de lagos o mares, los cambios de extensión de los glaciares y evidencias documentales.

Los datos existentes parecen indicar que, en las primeras eras geológicas, el comportamiento climático fue relativamente estable. Durante el Cuaternario, el clima ha estado marcado por una sucesión continua de fases frías de unos 100.000 años de duración, las eras glaciales, y unas breves recuperaciones de unos 10.000 años, las interglaciales.

En las fases postglaciales, como consecuencia de la retirada final de las capas de hielo que cubrían una buena parte de los continentes en Europa, Asia y América, el clima se suavizó con rapidez. Así se inició el último período interglacial del Cuaternario, que conocemos como Holoceno. Desde ese momento hasta la actualidad (los últimos 10.000 años) el clima ibérico se ha mantenido relativamente estable, sin cambios bruscos, salvo la tendencia de calentamiento que, cada vez más acusadamente, se está observando desde la época preindustrial.

## **II.2 El clima actual y su tendencia**

España por su ubicación geográfica tiene un clima de transición entre las latitudes templadas y las tórridas, con grandes contrastes térmicos y pluviométricos. El invierno es frío, o fresco, con bastantes similitudes con el clima del resto de Europa, mientras que el verano cálido o muy cálido es más parecido al del norte de África. Dicha ubicación geográfica y el carácter ondulatorio de la circulación global de la atmósfera determinan que las olas de frío y de calor se produzcan con cierta frecuencia. Las precipitaciones son escasas e irregulares en la mayor parte del territorio con períodos de sequías que se alternan con otros de abundantes precipitaciones.

Los registros fiables más antiguos de datos de temperatura y precipitación de que se dispone en España se remontan a la segunda mitad del siglo XIX. Del estudio y análisis de estas series históricas se ha observado que las temperaturas muestran una tendencia generalizada al alza en todo el territorio español con incrementos que oscilan entre 1 y 2 grados en el periodo comprendido entre 1850 y 2005. Esta tendencia no es homogénea, ni a escala temporal, ni espacial, de hecho:

- a lo largo del siglo XX se pueden diferenciar tres ciclos: uno de ascenso térmico, entre 1901 y 1949, un descenso desde esa fecha hasta 1972 y un aumento desde 1973 hasta nuestros días, siendo este último periodo el de más rápido incremento.
- el calentamiento ha sido más acusado en primavera y verano, y en las temperaturas máximas.
- por regiones, las más afectadas por el calentamiento son las situadas en la mitad oriental peninsular, cubriendo una amplia franja en torno al mediterráneo que se extiende desde Girona hasta Málaga, incluyendo Castelló, Valencia, Alicante, Murcia y el Sureste peninsular.

- en las Islas Canarias, los cambios en el comportamiento del clima son evidentes desde el punto de vista térmico, y similares a los observados en la Península.

Asimismo, se ha observado una disminución de los días fríos y un aumento de los cálidos por lo que, si se mantiene esta tendencia, es de prever un incremento de las olas de calor similares a la registrada en el verano del 2003. En la Figura 1 se muestra la tendencia acumulada de los días y noches cálidas y frías, desde 1850 y desde 1973. Como puede observarse, en estos últimos 30 años los cambios han sido similares o mayores a los registrados en los últimos 150 años, lo que da idea de la intensidad del calentamiento reciente.

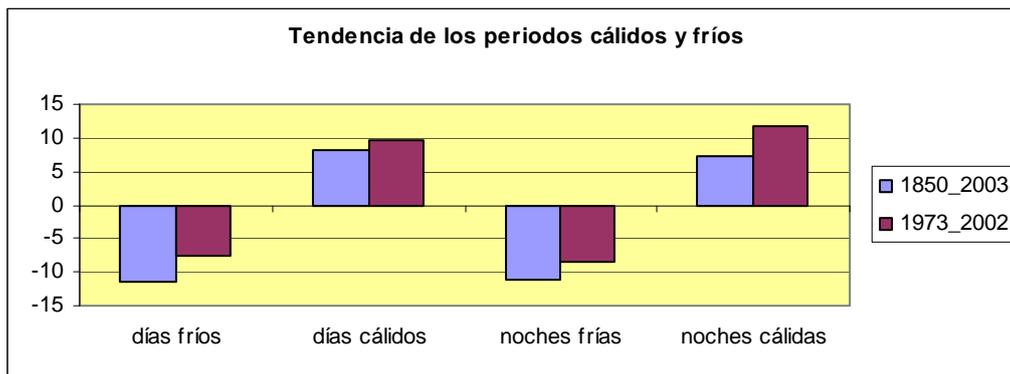


Figura 1 Evolución comparativa de los días y noches cálidos y fríos para los periodos 1850-2003 y 1973-2002

Respecto a la precipitación, las tendencias seculares y recientes no son tan fáciles de identificar dada la complejidad de la distribución espacial de las lluvias en España y su elevada variabilidad temporal. En el contexto de los últimos quinientos años, la reconstrucción del clima muestra la sucesión de periodos lluviosos y secos, de duración variable y sin cambios bruscos, tanto en el sur peninsular como en el norte. El comienzo del siglo XX fue de estabilidad climática, con sucesión de fases secas y húmedas de corta duración e intensidad, a las que siguieron marcados episodios de sequía (años 40, 50, 80 y 90) y otros de lluvias abundantes (años 60 y 70), pero sin una tendencia precisa. Por el contrario, en la segunda mitad del siglo XX, varios estudios realizados con datos de 1949 a 2005, revelan una tendencia claramente negativa de las lluvias en buena parte del territorio, en particular en el Cantábrico (disminuciones de 4,8 mm/año en Santander y 3,3 mm/año en Bilbao) y en el sureste peninsular.

### III ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALIZADOS

Para España es prioritario e imprescindible disponer de los mejores escenarios regionalizados posibles de cambio climático futuro, con objeto de poder realizar los análisis de riesgos y los impactos que podrían provocar en España, así como para determinar las posibles medidas de adaptación.

De hecho, los escenarios de cambio climático son el punto de partida para analizar los posibles impactos y evaluar estrategias de mitigación y de adaptación. Los escenarios de cambio climático deben ir siempre acompañados por una valoración objetiva de su grado de incertidumbre, que solo se puede deducir utilizando un conjunto de modelos climáticos.

Los modelos climáticos permiten realizar proyecciones del cambio climático relacionado con la creciente acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI) y de aerosoles emitidos por actividades humanas, y son la única herramienta de que se dispone para derivar objetivamente las futuras alteraciones del clima que podrían causar las emisiones antropogénicas de estos. Un modelo climático consiste en una representación matemática de los procesos que tienen lugar en el llamado "sistema climático", formado por cinco componentes: atmósfera, océanos, criosfera (hielo y nieve), suelos y biosfera. Entre tales componentes se producen enormes e incesantes interacciones mediante multitud de procesos físicos, químicos y biológicos, lo que hace que el sistema climático terrestre sea extremadamente complejo.

Además, para realizar proyecciones de cambio climático es preciso disponer de estimaciones plausibles de cómo podrían evolucionar las emisiones de GEIs y aerosoles por las actividades humanas en las próximas décadas (escenarios de emisiones).

Los escenarios regionalizados para España se han obtenido del conjunto de modelos climáticos europeos utilizados en el Proyecto PRUDENCE financiado por el 5º Programa Marco de I+D de la Comisión Europea, considerando los escenarios de emisiones que se describen en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones del IPCC. La base de datos generada en el proyecto PRUDENCE constituye la última y mejor información actualmente disponible sobre proyecciones de cambio climático en Europa con una resolución espacial relativamente alta (50×50 km<sup>2</sup>).

### **III.1 Escenarios de temperaturas medias**

Las proyecciones estimadas de la temperatura media a lo largo del siglo XXI, tal como se muestra en la Figura 2, indican que:

En todas las regiones se proyecta un incremento progresivo de la temperatura superficial a lo largo del siglo, que se acelera muy acusadamente a partir de mediados del siglo en el caso de los escenarios de emisiones globales más altas. En el período 2011-2040 apenas se aprecian diferencias en el cambio medio de temperatura entre los escenarios de emisiones mayores y menores. Sin embargo, en el último tercio de siglo, resultan muy notables las diferencias de calentamiento medio anual o estacional entre los diversos escenarios de emisiones.

No todas las regiones experimentarán el mismo grado de calentamiento medio, que será más notable en verano y menos acusado en invierno, dependiendo su magnitud críticamente del escenario de emisiones que se considere. Así, en el último tercio de siglo, el calentamiento proyectado en el escenario de emisiones altas (A1) es de unos 3º C mayor que en el de emisiones bajas (B1), lo que pone de manifiesto la importancia de las posibles medidas de mitigación que se acuerden a escala global en las próximas décadas. Por otra parte, mientras que el incremento térmico proyectado en invierno sería bastante similar en todas las regiones, las diferencias territoriales se acrecientan un tanto en las otras estaciones del año. En primavera el calentamiento tendería a ser algo mayor en la mitad sur de la Península, mientras que en otoño y verano sería más alto en las regiones del interior que en las áreas costeras.

En todas las regiones las temperaturas máximas diarias tienden a incrementarse algo más que las medias, y las mínimas algo menos. En los últimos 30 años del siglo y en el escenario A2 (emisiones medias-altas), los incrementos proyectados para las temperaturas máximas diarias son, generalmente, 0.5ºC superiores a los de las

temperaturas medias, mientras que los de las temperaturas mínimas diarias son unos 0.4°C inferiores. Puede decirse entonces que hay una tendencia a que la oscilación térmica diaria (diferencia entre temperatura máxima y mínima) se acreciente en los diversos escenarios de cambio climático, y más en los de emisiones altas. Dicha tendencia sería más suave en invierno en todas las regiones y más acusada en primavera en la mitad sur y en verano en el interior.

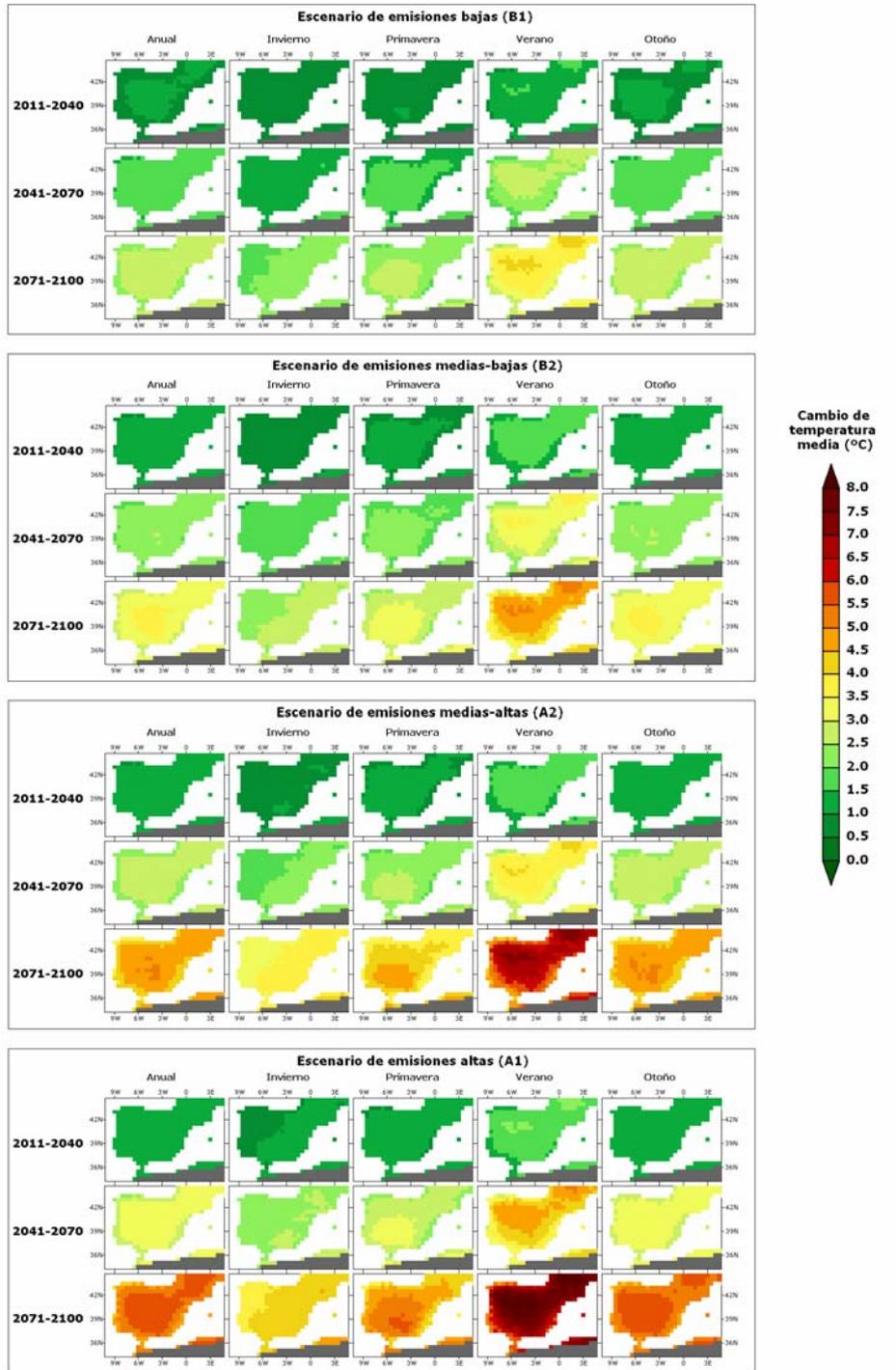


Figura 2: Proyecciones de los cambios del promedio anual y estacional de la temperatura superficial en cada periodo tridecenal del presente siglo con respecto al “clima actual” (1961-1990), para cuatro posibles escenarios de emisiones.

## **III.2 Escenarios de precipitación**

Los escenarios de cambio de la precipitación anual presentan, por lo general, un aspecto menos regular que los de temperatura. Así:

- En todas las regiones se proyecta una tendencia progresiva a la disminución, que será más acusada a partir de mitad de siglo y aún mayor en los escenarios de emisiones altas.
- En el período 2011-2040 se proyectan disminuciones del total anual de precipitación similares para los diversos escenarios de emisiones, con valores en torno al 5% en la mitad norte y Levante, y cercanos al 10% en el suroeste peninsular.
- En el último tercio del siglo (2070-2100) el contraste entre escenarios de emisiones bajas y altas es mucho mayor. En las regiones de la mitad norte se producirían reducciones en el promedio de precipitación anual de hasta el 25% en el escenario de emisiones altas (A1), manteniéndose por debajo del 15% en el escenario bajas (B1).
- En el tercio sur peninsular, las reducciones serían superiores al 30% en el escenario A1 y en torno al 20% en el B1. Esto pone de manifiesto, una vez más, la importancia de las medidas de control de emisiones de GEIs a escala global en las próximas tres décadas, de las que dependerán los niveles atmosféricos de estas sustancias que se lleguen a alcanzar en la segunda mitad del siglo.

## **III.3 Escenarios de cambio de otras variables climáticas**

Respecto a las proyecciones de cambio correspondientes a otras tres variables climáticas: humedad relativa, nubosidad y velocidad del viento, se obtiene que:

- Los valores medios estacionales de la humedad relativa tenderían a reducirse de forma general y en todas las estaciones del año, aunque con porcentajes mayores en verano que en invierno.
- La insolación media tendería a incrementarse en todas las regiones a causa de la menor nubosidad. En primavera y otoño los porcentajes de reducción de nubosidad son mayores en la mitad sur peninsular, mientras que en invierno variarían poco en relación al clima actual.
- No se proyectan cambios significativos en la intensidad del viento, salvo un ligero incremento relativo de las brisas en verano.

## **III.4 Escenarios de cambio de eventos climáticos extremos**

Otro aspecto muy importante de las proyecciones de clima futuro es la posible alteración en la intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos. El interés radica en que los impactos debidos a cambios en extremos climáticos son, por lo general, más severos que los asociados al cambio del clima promedio, pues aunque la frecuencia con que ocurren tales eventos es relativamente pequeña, los daños que producen sobre el medio ambiente, las actividades socio-económicas o la salud humana suelen ser muy notables.

A este respecto, todas las proyecciones indican que habrá un sensible incremento en la intensidad y frecuencia de eventos extremos relacionados con la temperatura en

todas las regiones españolas, que será significativamente mayor, en el caso de los escenarios de emisiones más altas.

Un caso de este tipo de eventos que merece una especial atención son los cambios que podría experimentar el número de olas de calor en el periodo estival, por sus consecuencias sobre los aspectos relacionados con la salud humana y las pérdidas de vidas humanas. A título de ejemplo, se puede decir que en el último tercio del siglo, si se cumpliera el escenario de emisiones medias-altas (A2), en más de la mitad de los días del periodo estival se podrían alcanzar temperaturas máximas diarias en el interior de la Península por encima de las que actualmente se consideran excepcionalmente altas.

Respecto a los cambios extremos de la precipitación, no se proyectan cambios significativos en la intensidad de eventos extremos de lluvia, pero variaría su frecuencia en diverso grado según las regiones y épocas del año. No obstante, se advierte que la incertidumbre en las proyecciones de cambios de eventos extremos de lluvia es más elevada que en el caso de los extremos de carácter térmico.

## **IV IMPACTOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Combatir el cambio climático no significa solo reducir o limitar las emisiones de los gases de efecto invernadero. Antes bien, la lucha contra el cambio climático requiere una perspectiva integrada, considerando tanto las actuaciones de mitigación como las de adaptación. La adaptación está adquiriendo un papel cada vez más relevante, por cuanto las acciones a tomar van a ser absolutamente necesarias, y complementarias a las acciones de mitigación, dado el inevitable cambio climático al que nos vamos a seguir enfrentando.

Es incuestionable que los recientes cambios del clima han influido ya en muchos sistemas físicos y biológicos, y que los riesgos proyectados del cambio climático irán en aumento y serán altos. Incluso con los esfuerzos mayores posibles dirigidos a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, se experimentarán impactos derivados del inevitable cambio climático, que sin duda acabarán afectando al desarrollo y al bienestar social de todos los países.

Los efectos del cambio climático variarán de unas zonas a otras y es muy probable que magnifiquen las diferencias regionales existentes en recursos y activos naturales. Los países en desarrollo, en especial los más pobres, son los que sufrirán desproporcionadamente los mayores impactos, al ser los más vulnerables al cambio climático. La principal amenaza a corto plazo es la intensificación de fenómenos extremos y los desastres naturales, dado su potencial para ocasionar numerosas pérdidas económicas y daños. Los impactos del cambio climático representan una barrera significativa para el desarrollo sostenible y para la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio; lo que hace indispensable integrar y reforzar la consideración de esta variable en las políticas de ayuda al desarrollo.

Por todo ello, las necesidades de adaptación, a corto y largo plazo, al cambio climático deben ser integradas en las políticas sectoriales. La diligencia con que se acometa una adaptación planificada es importante, pues puede disminuir significativamente la vulnerabilidad a los impactos, así como la reducción de los costes derivados.

España, por su situación geográfica y características socioeconómicas, es muy vulnerable al cambio climático y ya se está viendo ya afectada. Los impactos del cambio climático pueden tener consecuencias especialmente graves, entre otras, en lo referente a la disminución de los recursos hídricos y la regresión de la costa, a las pérdidas de la diversidad biológica y alteraciones en los ecosistemas naturales, a los

aumentos en los procesos de erosión del suelo y pérdidas de vidas y bienes derivadas de la intensificación de los sucesos adversos asociados a fenómenos climáticos extremos, tales como incendios forestales, olas de calor y eventuales inundaciones.

## **IV.1 Evaluación general de los impactos, vulnerabilidades y medidas de adaptación al cambio climático.**

### ***IV.1.1 Ecosistemas y biodiversidad***

El cambio climático dará lugar a un abanico de efectos directos e indirectos que se verán acentuados por su interacción con otros motores del cambio global (alteraciones en uso del suelo, contaminación, intercambio biótico). La “mediterraneización” del norte peninsular y la “aridización” del sur son algunas de las tendencias más significativas.

La biodiversidad española se verá muy afectada y estará sometida a variaciones en sus condiciones de tal magnitud, que muchas especies pueden verse en riesgo de extinción, al no poder desplazarse hacia zonas favorables para su desarrollo conforme el clima vaya cambiando. El peligro es tal que algunos trabajos indican que en Europa pueden verse afectados porcentajes muy importantes (de hasta la mitad o más) de las especies vegetales. En algunos grupos animales de los que hay información (reptiles, anfibios) el impacto puede ser incluso mayor (hasta el 97% de las especies pueden verse afectadas). La conservación de la biodiversidad será un reto, ya que el cambio climático mueve los cimientos de las bases actuales de la conservación.

Estudios realizados con un 10% de la flora de Europa muestra que el hábitat potencial de la mayoría de estas especies sufre un desplazamiento hacia el Norte y en altitud. En la eventualidad de que las especies no se pudiesen dispersar libremente, colonizando los nuevos hábitats potenciales, la mayoría de ellas verían reducido su hábitat, y más de la mitad podrían llegar a encontrarse en situaciones de vulnerabilidad, en peligro, críticamente en peligro o abocadas a la extinción.

Los ecosistemas terrestres se verán sometidos a un cambio en sus condiciones como no han sufrido en milenios, siendo muy probable que muchos de ellos se vean sensiblemente alterados en su composición, estructura, función y, con ello, en algunos de los servicios que prestan. Las zonas y sistemas más vulnerables serán las islas y los ecosistemas aislados (los ecosistemas de alta montaña, las islas edáficas) así como las zonas de transición entre ecosistemas.

La naturaleza de muchos de los ecosistemas acuáticos continentales se verá también modificada. Así, algunos de ellos pasarán de ser permanentes a estacionales y otros desaparecerán, y en todos los casos se reducirá su tamaño y se alterará su composición y funcionamiento. Los ecosistemas más afectados serán los ambientes endorreicos, lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1600-2500 m) y los ambientes dependientes de las aguas subterráneas. El ascenso del nivel del mar pondrá en peligro a los humedales costeros. En el medio marino, el aumento de la temperatura del agua, así como los cambios en la mezcla de éstas debido, entre otros, a los cambios en la circulación costera harán que disminuya productividad, y que haya cambios en las redes tróficas así como variaciones en la distribución de las especies.

Las posibilidades de adaptación de los ecosistemas son limitadas, dado que estos, inevitablemente, cambiarán conforme cambien las condiciones. Para reducir su vulnerabilidad es necesario disminuir otras presiones.

Así, por ejemplo, en los ecosistemas leñosos terrestres habrá que disminuir su peligrosidad, reduciendo las cargas de combustible, para evitar incendios catastróficos. En los ecosistemas herbáceos habrá que reducir la presión del ganado.

En los ecosistemas acuáticos continentales habría que reducir las extracciones de agua, y limitar la contaminación de las aguas, y en los ecosistemas marinos habría que reducir la presión sobre los mismos y aumentar las reservas.

Por otra parte, las áreas protegidas deben aumentarse, sobre todo incorporando manchas que sirvan para favorecer el trasiego de las especies. Los esquemas de conservación deben tener en cuenta que habrá cambios inevitables, y la conservación *in situ* habrá que complementarla con la *ex situ*.

#### **IV.1.2 Recursos hídricos**

España es un país con una amplia y larga experiencia en planificación y gestión hidrológica, consecuencia de la gran diversidad que existe entre las distintas cuencas en lo que a regímenes hídricos y demandas de agua se refiere. Nuestro país tiene una alta vulnerabilidad frente a posibles cambios climáticos.

Aunque a nivel nacional es difícil de detectar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos con las observaciones disponibles, a nivel regional europeo existen evidencias de alteraciones del régimen hidrológico, con incrementos de escorrentía en altas latitudes y disminuciones acusadas en el Sur de Europa. También se ha contrastado una intensificación de los fenómenos extremos (inundaciones y sequías).

A nivel global, los modelos de clima predicen una disminución drástica de escorrentía en la cuenca Mediterránea, siendo éste uno de los lugares del mundo donde se proyectan los impactos más intensos. En España se han realizado múltiples simulaciones, empleando distintas tipologías de modelos hidrológicos acoplados con varios escenarios climáticos, para estimar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos en nuestro país a lo largo del siglo XXI. Aunque existen diferencias en los resultados, todos coinciden cualitativamente en pronosticar una disminución muy significativa de las aportaciones, siendo el efecto especialmente acusado en las cuencas de la mitad sur peninsular.

Junto al impacto del cambio climático, los recursos hídricos se ven afectados por otros factores de presión tales como el aumento de la demanda urbana, agrícola e hidroeléctrica, la intensificación de ciertos procesos de deterioro de la calidad de agua y el incremento de la intervención humana.

Los impactos del cambio climático sobre las aportaciones en régimen natural se trasladarán a los usos del agua a través de los sistemas de explotación de recursos hídricos, que desempeñan funciones de regulación, transporte y distribución. Los sistemas de explotación –infraestructura hidráulica y reglas de gestión- admiten diferentes opciones de planificación y gestión que pueden actuar como barrera de amortiguación o amplificación de impactos.

Los recursos hídricos son un factor director que condiciona la planificación, gestión y desarrollo de muchos otros sectores y sistemas en España, entre los que hay que destacar la conservación de la biodiversidad (especialmente los ecosistemas acuáticos), la industria, la agricultura y el turismo.

En cuanto a las estrategias de adaptación en el sector, es necesario establecer políticas específicas en gestión de recursos hídricos que orienten la evolución del sector en función de las previsiones de cambio climático. Existe un gran potencial para orientar a largo plazo una adaptación racional al cambio climático en el sector de los recursos hídricos que minimice los impactos proyectados, pero esto ha de hacerse en un marco general de planificación territorial, que posibilite el establecimiento de prioridades en las políticas sectoriales para identificar y priorizar las demandas de agua y conseguir una gestión integrada de los sistemas de recursos hídricos.

La concienciación pública de los problemas asociados al cambio climático en el sector de los recursos hídricos puede contribuir a la solución de los mismos y a impulsar las medidas de adaptación.

Todo apunta a que a lo largo del siglo XXI las disponibilidades del recurso hídrico irán disminuyendo. Por este motivo, la Administración Hidráulica deberá ser el gestor público de la escasez. Se debe diversificar y flexibilizar el marco legal y normativo de la gestión hidrológica y potenciar las instituciones públicas de gestión, incorporando el efecto del cambio climático a los procesos de toma de decisiones en planificación hidrológica, revisando las técnicas y métodos de análisis y modificando los criterios de selección de la alternativa más adecuada.

En el camino hacia una adaptación al cambio climático, se deben intensificar las políticas ya en marcha de incremento de oferta de recursos y de gestión de la demanda de agua, potenciando los recursos no convencionales, el aprovechamiento conjunto de distintas fuentes de suministro, la mejora de la eficiencia y la racionalidad en la asignación del recurso. En el campo de la gestión de la demanda existe un amplio recorrido en los sectores agrícola y de abastecimiento urbano.

Asimismo, se debe fomentar la gestión integrada de los sistemas hidráulicos, agrupando las fuentes de suministro y las demandas de agua, creando un marco normativo apropiado para el intercambio de usos y densificando la red de infraestructuras de transporte y distribución de agua.

Un aspecto importante para fortalecer las medidas de adaptación es la necesidad de reforzar las redes de medida y potenciar las actividades de investigación, desarrollo y mejora tecnológica que proporcionarán las bases para el seguimiento de los impactos y la evaluación de las medidas adoptadas.

La adopción de medidas de adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos es necesaria y urgente, aplicando el principio de precaución y preparando un proceso de planificación, organización, esfuerzo y eficiencia que resultará muy rentable a largo plazo.

#### **IV.1.3 Zonas costeras**

La costa es una compleja zona muy dinámica donde suceden numerosos procesos físicos, químicos y biológicos e interactúan flujos provenientes de tierra, el océano y la atmósfera. El impacto del cambio climático sobre ella puede tener consecuencias de gran relevancia. En España, la costa alberga elevados valores ambientales y mantiene una serie de actividades económicas de notable importancia, entre las que destaca el sector turístico (en la actualidad, la franja costera recibe el 80% del turismo en España, lo que representa el 8% del PIB, aproximadamente 70.000 millones de euros) y el transporte marítimo, tanto sobre el medio natural como sobre diferentes sectores socioeconómicos.

Entre las presiones del cambio climático y sus posibles impactos en el medio físico costero pueden citarse las siguientes: un aumento del nivel del mar puede producir inundación, erosión costera, aumento de la intrusión salina y pérdida de humedales costeros; un aumento de la temperatura del agua del mar puede conducir a cambios en el sistema circulatorio y al aumento de las proliferaciones de algas; una variación en el oleaje puede dar lugar a importantes cambios en los procesos de erosión costera, formas de las playas o pérdida de la funcionalidad y estabilidad de obras marítimas.

En términos generales, el nivel del mar ha venido aumentando globalmente en el mundo entre 1961 y 2003 con una tasa media de  $1.8 \pm 0.5$  mm/año, aunque con importantes diferencias regionales. En España los datos disponibles indican que el

nivel del mar ha aumentado en el norte de la península, durante la segunda parte del siglo XX, entre 2 y 3 mm/año. Las tendencias observadas en el Mediterráneo son algo menores.

Las proyecciones futuras de elevación del nivel medio del mar en España, para el horizonte del año 2050, dan un valor mínimo de 15 cm., en consonancia con los órdenes de magnitud señalados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.

Además, se ha observado durante los últimos 50 años un aumento importante de la altura de ola en las fachadas cantábrica y gallega, cambios en la dirección del oleaje en parte de los archipiélagos y de forma muy marcada en el norte de Cataluña. El clima marítimo general tiende a suavizarse en la zona de Cádiz.

Del análisis realizado, se prevé para 2050 un aumento muy probable de la cota de inundación en toda España especialmente en la cornisa gallega y norte de Canarias con valores de hasta 35 cm y de 20 cm en el litoral mediterráneo, Figura 3 izquierda, conduciendo a un mayor riesgo de eventos de inundación. El aumento del nivel del mar producirá además un retroceso de las playas con valores probables de hasta 15 m en Canarias, Huelva y Cádiz, Figura 3 derecha. No obstante, los cambios observados en la dirección del oleaje pueden dar lugar a daños más severos sobre las playas especialmente en la Costa Brava, Islas Baleares y sur de Canarias donde pueden llegarse a alcanzar retrocesos de hasta 70 m.

En cuanto a la funcionalidad de las obras marítimas se ha obtenido que es extremadamente verosímil que el rebase del oleaje sobre la coronación de las obras marítimas aumente entre un 75 y un 100% con la consiguiente reducción de operatividad en algunos de los puertos. Análogamente, en la mayor parte del Cantábrico es probable que sea necesario aumentar el peso de las piezas que garantizan la estabilidad de los diques entre un 10 y un 25%. Este problema es especialmente relevante en parte de las islas Canarias.

A modo de ejemplo, los siguientes mapas recogen la variación anual de la cota de inundación y el retroceso de la línea de costa a lo largo de las costas españolas para el año 2050:

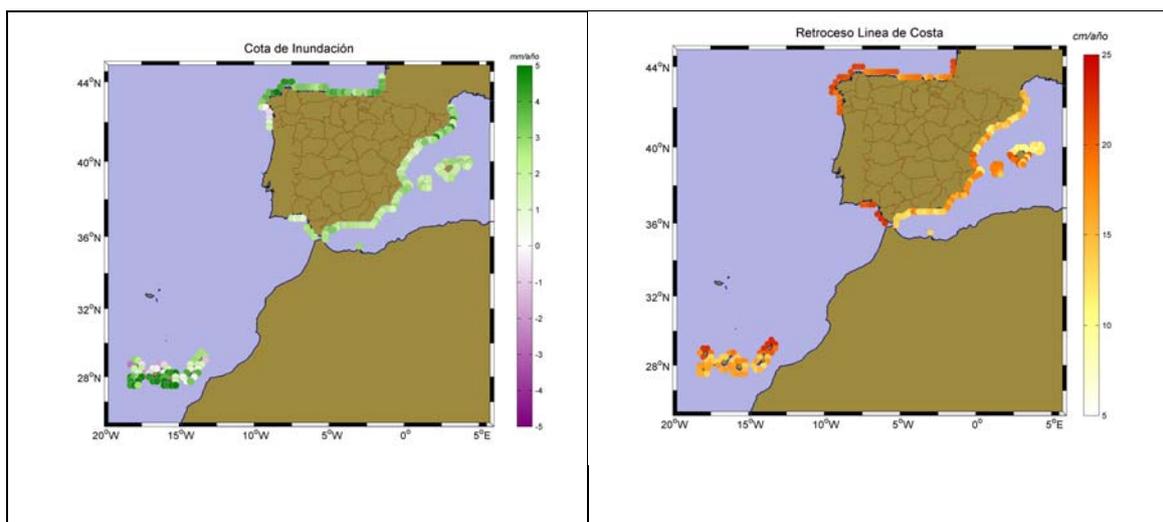


Figura 3: Izquierda: Variación anual en mm y probabilidad asociada de la cota de inundación en el litoral español hasta el año horizonte 2050. Derecha: Variación anual en cm y probabilidad asociada del retroceso de la línea de costa por aumento del nivel del mar en el litoral español hasta el año horizonte 2050.

---

Entre las acciones que se proponen para hacer frente al cambio climático se consideran: la evaluación detallada a escala local, cualitativa y cuantitativa, de la vulnerabilidad de las zonas costeras: las estrategias de retroceso (abandono de áreas altamente vulnerables, reubicación de las infraestructuras, cultivos, actividad industrial y población directamente afectada, etc.), de adaptación (conservación del ecosistema costero en consonancia con una ocupación y uso racional de áreas vulnerables) y de protección (defensa de áreas vulnerables basada en infraestructuras de defensa de tipologías rígidas y/o tipologías blandas). La aplicación de una gestión integrada de la zona costera que incluya de forma explícita el cambio climático es la mejor estrategia para hacer frente al mismo.

#### **IV.1.4 El suelo y sus usos**

El suelo es un recurso natural que caracteriza cualquier territorio. Constituye el soporte de la producción primaria, por lo tanto, es la base de la agricultura y condiciona la seguridad alimentaria en el mundo.

Las propiedades de los suelos son muy sensibles a los cambios de usos de suelos y con frecuencia se producen impactos manifiestos a corto plazo. Por lo tanto, las propuestas de gestión de los suelos para la adaptación y/o la mitigación del cambio climático deben considerar simultáneamente los usos de los suelos y sus posibles cambios.

Una parte importante de la superficie del territorio español está amenazada actualmente por procesos de desertificación, fomentados por las actividades humanas bajo condiciones de aridez. En el momento actual, se reconoce que un 31,5% de la superficie española está afectada gravemente por la desertificación (PAND, MMA).

Los dos componentes fundamentales de la desertificación son la erosión y la salinización del suelo. Las proyecciones del cambio climático agravarían dichos problemas de forma generalizada, es decir, los impactos previsibles del cambio climático afectarán especialmente a la salinización de los suelos de regadío y al riesgo de erosión de los suelos (en combinación con el previsible aumento de los incendios forestales). El impacto de la salinización se concentrará en las regiones españolas de clima más seco.

Los suelos pueden ser fuente y sumidero de carbono, por lo tanto, los suelos contribuyen a regular el ciclo del carbono y sus consecuencias en el cambio climático. Los usos del suelo y, especialmente, los cambios de uso del suelo, son la causa que determina si éste será fuente o sumidero de carbono. El cambio climático ejercerá una influencia sobre el contenido en carbono orgánico del suelo de manera directa, sobre los procesos de acumulación y mineralización, e indirectamente, a partir de su influencia sobre los cambios de uso del suelo. Los modelos del ciclo del carbono y los estudios de transectos climáticos sugieren una disminución generalizada del carbono orgánico del suelo como consecuencia del aumento de la temperatura y de la sequía proyectados por los modelos de cambio climático, lo cual aumentaría el riesgo de erosión y desertificación. Las zonas donde cabe esperar pérdidas mayores de carbono orgánico serían las más húmedas (Norte de España) y para los usos de suelos que comportan contenidos en carbono orgánico más elevados (prados y bosques). Además, el suelo influye sobre el cambio climático. La cantidad de carbono orgánico en el suelo tiene influencia directa en los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico, y los suelos encharcados de forma temporal, emiten CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O que contribuyen significativamente al efecto invernadero.

El adecuado manejo de las técnicas de cultivo, del laboreo, riego y gestión de las enmiendas orgánicas en cultivos, y la reforestación de yermos son medidas que permitirán la adaptación (y mitigación) a los impactos derivados del cambio climático. La Estrategia Europea de Conservación de Suelos, la Política Agraria Común, con sus medidas agro-ambientales, el Plan Forestal Español y la planificación de los usos de suelos a las diferentes escalas de gestión son instrumentos que deben permitir la conservación de los recursos edáficos y los ecosistemas asociados.

La gestión de los ecosistemas agrícolas y forestales ofrece, en el estado de conocimientos actual, alternativas viables de adaptación y mitigación, compatibles con el mantenimiento de la productividad y la conservación de los ecosistemas (biodiversidad). Las barreras a la aplicación de dichas medidas se sitúan sobre todo en la transferencia de las técnicas a los usuarios y en la predisposición de los gestores privados y públicos a su aplicación.

#### ***IV.1.5 La producción de alimentos y fibras: agricultura, ganadería, pesca, bosques***

La agricultura sufrirá cambios variados y no homogéneos a lo largo de nuestra geografía que, en todo caso, requerirá un ajuste de las cosechas a las condiciones nuevas conforme éstas vayan presentándose. La demanda de agua para el riego es muy probable que aumente aunque las productividades no tienen por qué verse comprometidas. La adaptación de la agricultura se basará en la adaptación de los cultivos a las nuevas situaciones, sobre todo el ajuste de los cultivos anuales

Por otra parte, la rentabilidad de las explotaciones ganaderas puede verse afectada por el efecto nocivo de las altas temperaturas sobre el ganado, así como por la disminución de la productividad de las zonas pascícolas. Las altas temperaturas afectarán a las plagas y enfermedades, tanto de los cultivos como del ganado, modificando la temporalidad, frecuencia e intensidad de las mismas. Parte de las medidas adaptativas en la ganadería irán orientadas a reducir las cargas pastantes para evitar la degradación de los pastos.

En el sector pesquero la productividad de las aguas costeras disminuirá debido al calentamiento, a la falta de mezcla, a la disminución de afloramientos, o a menores aportes de los ríos lo que afectará a algunas poblaciones de peces. En el Atlántico las aguas productivas se desplazarán hacia el Norte. Los cultivos marinos verán reducida su productividad y aumentados los costes operativos y los riesgos sanitarios. La pesca en la plataforma continental tendrá que adaptarse a un recurso más limitado.

Los bosques españoles es muy probable que se vean alterados por el cambio climático en su composición y estructura, aumentando las pérdidas por mortalidad de los individuos, disminuyendo su capacidad de fijación de C atmosférico o, su productividad con el tiempo. Algunas zonas forestales perderán esta condición. La gestión forestal debe contemplar medidas adaptativas, así las nuevas reforestaciones deberán tener en cuenta las condiciones futuras, así como el incremento de peligro de incendio, evitando los monocultivos de alto riesgo.

#### ***IV.1.6 La salud humana***

Las interacciones entre el cambio climático y la salud humana son múltiples y complejas. No obstante con un ánimo sintetizador podrían resumirse en: a) Cambios en la morbi-mortalidad en relación con la temperatura; b) Efectos relacionados con eventos meteorológicos extremos (precipitaciones extremas e inundaciones); c) Contaminación atmosférica y aumento de sus efectos sobre la salud; d) Enfermedades transmitidas por alimentos y el agua y e) Enfermedades transmitidas por vectores infecciosos.

La contaminación atmosférica representa un riesgo ambiental con consecuencias perjudiciales para la salud, dado que parte de las emisiones a la atmósfera relacionadas con el cambio climático, deterioran la calidad del aire y agravan los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos, no solo directamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos, sino, de manera inmediata, por los efectos directos de los contaminantes para la salud.

Por otra parte, en España podrían potenciarse las enfermedades ligadas a vectores de transmisión, por su proximidad con África y por las condiciones climáticas, cercanas a las de zonas donde hay este tipo de enfermedades. El posible riesgo vendría por extensión geográfica de vectores ya establecidos o por la importación e instalación de vectores sub-tropicales adaptados a sobrevivir en climas menos cálidos y más secos.

Sin embargo, posiblemente el mayor impacto para la salud será la importante incidencia en la morbi-mortalidad, que tendrán los cambios previstos en las temperaturas y en los eventos térmicos extremos, especialmente la intensificación de las olas de calor.

La alerta temprana frente a olas de calor u otros riesgos para la salud, así como planes preventivos son los elementos adaptativos principales. La ola de calor de 2003 fue un evento excepcional, fuera de lo esperable en el clima habitual. Sus más de 6500 muertes y la multitud de impactos pueden ser una muestra de lo que puede estar por venir.

#### ***IV.1.7 Otros sectores productivos: energía, turismo y seguros***

Previsiblemente, en el sector energético la producción de energía eléctrica en centrales hidráulicas disminuirá, en algunos casos de forma muy notable, así como el potencial para ciertos cultivos energéticos, mientras que otras fuentes de energía renovable se mantendrán (eólica) o aumentarán ligeramente (solar). La eficiencia de las instalaciones disminuirá con las altas temperaturas. Por otra parte, se espera que la demanda para calefacción disminuya, mientras que la correspondiente al aire acondicionado aumente. Los picos máximos de demanda pasarán de invierno a verano. La adaptación del sector energético requerirá disminuir la demanda y aumentar la eficiencia energética ante la necesidad de reducir las emisiones y enfrentarse a un recurso renovable más escaso.

Los impactos en el sector turismo pueden ser especialmente relevantes, si se tiene en cuenta que el turismo es una importante fuente de ingresos en la economía española. El cambio climático producirá efectos tanto en la estacionalidad del turismo como en las zonas de destino y de origen de los turistas. Por un lado, en los destinos, el cambio climático afectará al propio espacio geográfico-turístico: la elevación del nivel del mar amenazarán tanto al recurso físico (playas) como a algunas infraestructuras; la naturaleza de los entornos turísticos cambiará; el aumento de las temperaturas modificará las condiciones de confort. El índice de confort turístico, que es decisivo para las preferencias turísticas, excederá en verano los límites de lo deseable en muchas zonas de España. Estos cambios en el índice de confort pueden conducir a que los turistas prefieran otros destinos o épocas del año más favorables.

La adaptación del turismo de costa y playa incluye la posible compensación de pérdidas en verano con flujos en otras épocas del año, disminuyendo así la estacionalidad en el sector. Parte de los peligros sobre las infraestructuras pueden reducirse con medidas de ingeniería civil. La pérdida de atractivo natural en algunos casos puede compensarse favoreciendo el turismo basado en servicios y en recursos artificiales, que son menos vulnerables a los avatares climáticos que los naturales. La pérdida de nieve puede, temporalmente, compensarse con nieve artificial. No obstante

su alto coste ambiental hace que a la larga tengan que buscarse otras líneas de recreo, como el senderismo, etc.

En el sector asegurador los impactos vendrán especialmente marcados por el mayor riesgo que supone para el sector la intensificación tanto en frecuencia como en magnitud, de los sucesos extremos que tienen mayor coste, tales como inundaciones, o sequías, entre otros. Este impacto puede conducir a un incremento en las primas y a una reducción en los capitales cubiertos. Cuanto mayor sea la siniestralidad más posibilidades hay de que se reduzca la asegurabilidad de los capitales, y se ponga en riesgo los esquemas actuales del seguro. La falta de cobertura puede significar importantes costes económicos y sociales sobre todo para los grupos sociales menos favorecidos, que serán los primeros en no tener sus bienes y capitales a cubierto. La adaptación en el sector asegurador requerirá cambios en la valoración de los riesgos y extensión de la cultura preventiva

## **IV.2 Los riesgos naturales de origen climático: inundaciones, incendios, inestabilidad de laderas**

Un fenómeno natural se considera catastrófico cuando produce la pérdida de vidas humanas o tiene consecuencias económicas adversas graves. En muchas ocasiones los fenómenos climáticos producen efectos catastrófico no sólo por la intensidad, duración o violencia intrínseca del fenómeno; sino como consecuencia de su interacción con factores humanos, que van desde la planificación inadecuada al olvido de la existencia de estos fenómenos, que hacen que se potencie su acción devastadora.

En general, es bastante difícil cuantificar todos los daños que causa un desastre natural, ya que sus efectos pueden manifestarse varios años después de que se ha producido el fenómeno climático. A las pérdidas humanas y económicas directas ocasionadas por el fenómeno, hay que añadir la degradación del entorno natural que generalmente acompaña a los desastres naturales.

La mayor parte de estos fenómenos climáticos no se pueden evitar, al formar parte natural de los procesos que se producen dentro del sistema climático, pero sí se pueden prevenir, contribuyendo con ello a mitigar las catástrofes a que dan lugar. Por tanto, desde un punto de vista estratégico, no se trata únicamente de disponer de mecanismos de previsión y alerta, o de prever medidas de emergencia; sino también de conocer a fondo los fenómenos que se producen en cada zona geográfica, su magnitud, frecuencia, etc., y cómo éstos se verán afectados por el cambio climático. Esto permitirá que la planificación sectorial se haga de forma que se consiga la máxima eficacia en las medidas de preparación para afrontar los impactos y se aminore el riesgo de catástrofes. Asimismo, es importante señalar que debido a la gran interdependencia entre muchos de los fenómenos climáticos que pueden ser causa de desastres naturales, cualquier estrategia de actuación ha de concebirse y ponerse en práctica teniendo en cuenta las interrelaciones existentes.

### **IV.2.1 Inundaciones**

Las condiciones climáticas y de relieve de la Península Ibérica favorecen la generación de crecidas. En España, las inundaciones han producido históricamente fuertes impactos socioeconómicos y numerosas víctimas.

En las cuencas mediterráneas y del interior es probable que aumente la irregularidad de las crecidas y de las crecidas relámpago y, por tanto el riesgo de inundaciones. Las zonas más vulnerables a las crecidas se localizan en las proximidades de los núcleos urbanos y centros turísticos, especialmente en el Mediterráneo.

La adaptación a las crecidas de los ríos requiere una valoración del riesgo bajo los escenarios futuros, así como planes de mejora de pronóstico y de alerta temprana y de gestión del riesgo de inundación. Es importante también la implantación de códigos de buenas prácticas. Entre otros, estos códigos requieren planes integrados a nivel de cuenca, zonificación y planificación de los usos del suelo en función del riesgo, medidas estructurales para reducir o mitigar los impactos y participación ciudadana y sensibilización pública.

De cara al futuro es importante valorar el riesgo a la luz de las nuevas condiciones que incluyen cambios en el régimen de inundaciones, incluido, sobre todo, la alteración en la frecuencia de eventos con un periodo de retorno alto. Asimismo, deben evaluarse los impactos de las actividades humanas, al modificar las propiedades de las cuencas, sobre todo en lo que concierne a su impermeabilización, a los cambios de los usos del suelo, incluidos los derivados del cambio climático, o la ubicación de bienes y personas en zonas de riesgo, entre otros. La promoción de usos del suelo sostenibles, que aumente la retención de agua y el aumento de las aguas subterráneas son otras medidas adaptativas.

#### **IV.2.2 Incendios forestales**

Los incendios tienen una capacidad destructiva enorme en nuestro país, sobre todo, en las épocas de calor. El problema de los incendios forestales es complejo y de difícil solución por muy bien que se conozcan las causas climáticas que lo favorecen. Ello es debido, entre otras razones, a que la mayoría de los incendios son causados por las personas. Es importante tener en cuenta que el problema de los incendios forestales se agravará con las condiciones del cambio climático. Si la temperatura de la superficie es más alta, la humedad del suelo y del aire más baja, y se intensifican las olas de calor el resultado es que aumentarán de forma drástica las condiciones favorables para que éstos se produzcan.

En los últimos 30 años se han registrado en España unos 400.000 incendios, que han afectado a 6 Mha. Esto supone que, por ejemplo, para el periodo 1991-2002 cada año se quemó un 0,55 % de la superficie forestal. A ese ritmo, bastarían 183 años para que ardiese el equivalente a toda la superficie forestal española. Esta cifra global del periodo de retorno enmascara el hecho de que hay grandes diferencias entre zonas de España, pues en los últimos decenios algunas zonas han ardido varias veces, mientras que otras no lo han hecho.

El riesgo de incendios forestales aumentará tanto en lo referente a la duración, como a la severidad de la estación de incendios y con ello los incendios de mayor tamaño. Además, las situaciones de sequía recurrente pueden reducir la regeneración del sistema, acelerando el cambio en la vegetación

El aumento de los incendios forestales, como consecuencia del cambio climático, también puede llegar a producir pérdidas en el contenido de carbono orgánico del suelo, con un mayor impacto en los primeros centímetros del suelo, lo que produce pérdidas importantes de carbono en este horizonte, aunque si las condiciones son favorables, la recuperación de la vegetación puede restablecer el balance de carbono en corto-medio plazo.

Las políticas de ordenación territorial y forestal y de formación e información al público deberán ajustar las estrategias de lucha contra el fuego bajo situaciones de peligro extremo que es probable que vayamos a sufrir con frecuencia creciente. Para detectar los puntos más vulnerables a los incendios es fundamental disponer de una cartografía del riesgo bajo los nuevos escenarios climáticos. Por otra parte, la información y formación del gran público es imprescindible para que se evite la presión sobre los

responsables de la lucha contra el fuego cuando ésta haya de hacerse bajo condiciones extremas.

El aprovechamiento de la biomasa y el pastoreo son herramientas a considerar para reducir la peligrosidad de los montes. Los planes de conservación de la biodiversidad o de lucha contra la desertificación deberán incorporar los nuevos escenarios de peligro creciente. Asimismo, la gestión de los espacios públicos para su uso recreativo deberá tener en cuenta el peligro creciente que se avecina.

### **IV.2.3 Deslizamientos de laderas**

Los movimientos de ladera hasta ahora no han sido hasta ahora causa de grandes desastres en cuanto al número de víctimas mortales, pero si han sido la causa de pérdidas económicas importantes. La lluvia es el factor desencadenante más frecuente y extendido en España, ya que produce inestabilidad por infiltración del agua en la ladera, con el consiguiente riesgo de deslizamiento.

Como se ha señalado, las proyecciones de cambio climático hoy disponibles no apuntan con claridad si existe un riesgo significativo de aumento de la torrencialidad. Un eventual aumento de la torrencialidad haría que aumentasen los deslizamientos por inestabilidad de laderas, lo que originaría una mayor erosión en las laderas y la pérdida de calidad de las aguas superficiales. Las zonas más sensibles se concentran en las principales cordilleras montañosas, especialmente en los Pirineos, la Cordillera Cantábrica y las Cordilleras Béticas.

Frente a la inestabilidad de las laderas y los riesgos por deslizamiento, las mejores herramientas adaptativas son la planificación territorial y urbana. La cartografía de las zonas de riesgo y, en su caso, la valoración futura según la vegetación que sustenten, así como los cambios en los patrones de precipitación pueden hacer que se perciban mejor las zonas más peligrosas, evitando en ellas los asentamientos.

En todos los casos, el conocimiento preciso de la frecuencia y amplitud de estos fenómenos como los períodos en los que es probable que se den, así como sus efectos en cada región, es esencial para la planificación de las obras de infraestructura que permitan minimizar sus efectos.

## **V EN BÚSQUEDA DE SOLUCIONES: LA SITUACIÓN ACTUAL, LAS CAUSAS DEL PROBLEMA Y LAS OPCIONES DE MITIGACIÓN**

### **V.1 Las emisiones de gases de efecto invernadero en España**

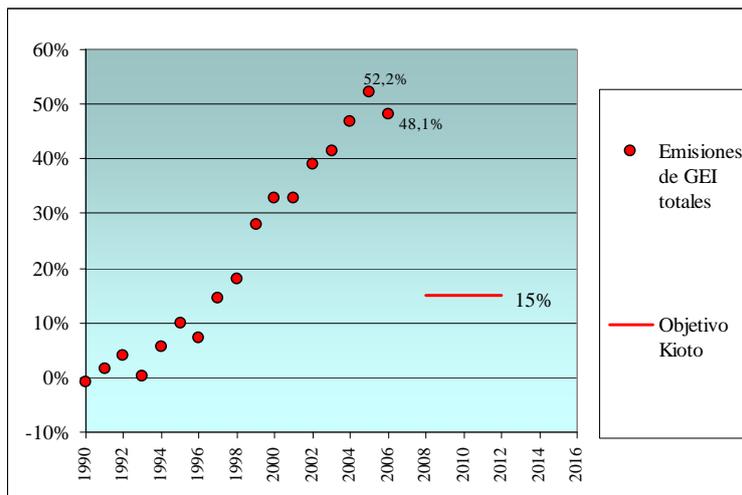
#### **V.1.1 El inventario nacional de gases de efecto invernadero**

España, en tanto que Parte del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y del Protocolo de Kioto, tiene la obligación de elaborar y presentar anualmente un inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El inventario nacional cubre todas las fuentes de emisión de GEI y recoge también la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de los sumideros forestales. Las principales categorías del inventario son: energía, procesos industriales, agricultura, residuos, y actividades forestales.

España tiene el perfil emisor típico de un país industrializado, donde dominan las emisiones procedentes del manejo de la energía, industria (en parte energía) y el transporte (también energía) en cuanto a sectores, y el CO2 en cuanto a gases. En 2006 el sector energético fue responsable del 78,5% de las emisiones de GEI, presentando un aumento del 60% respecto a las de 1990.

Las emisiones en España muestran una tendencia de crecimiento significativo desde el año 1990, con ligeros descensos puntuales para algunos años como el 1993 y 1996. Esto ha llevado a unas emisiones totales en CO2 equivalente de 440,7 Mt en 2005, frente a las 289,6 Mt de 1990 (un incremento del 52%).



*Figura 4: Evolución de las emisiones de GEI en España desde 1990 (2006 dato provisional).*

Antes de abordar las posibles estrategias de mitigación, conviene hacer un análisis del inventario español de emisiones de GEI: ¿por qué las emisiones han crecido tanto desde 1990? El fuerte desarrollo económico, aumento de la población, el incremento de la demanda energética y el crecimiento de la movilidad son factores clave.

### **V.1.2 Evolución de la economía – impacto en las emisiones**

Las emisiones de CO2 tienen obviamente lugar en el contexto económico general del país, que se ha caracterizado en los últimos años por un elevado crecimiento. Desde 1995 el crecimiento interanual del PIB español se mantiene por encima del de la media de la UE-15 (en el intervalo 2002-2006 los porcentajes han sido: 2,2, 2,5, 2,7, 3,4 y finalmente 3,8% en 2006, mientras que en 2005 y 2006 en la UE fueron 1,7 y 2,9%, respectivamente y en los doce países de la zona euro 1,4 y 2,7%). Mientras que en 1995 el PIB per cápita español estaba 13% por debajo de la media europea, en 2004 la diferencia ha sido solamente de un 2%.

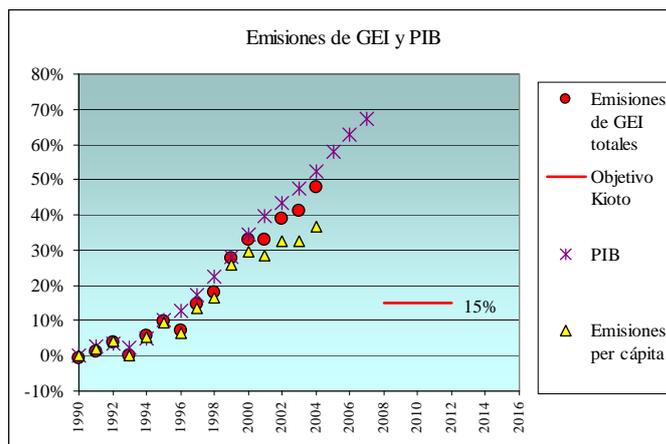


Figura 5: Evolución de las emisiones y del PIB en España.

El reto de la lucha contra el cambio climático en España es lograr desacoplar crecimiento económico y emisiones de GEI. Sólo en los últimos años (véase la Figura 5) parece observarse un desacoplamiento.

### V.1.3 Población y hogares

El reciente e intenso fenómeno inmigratorio en España ha dado lugar a un fuerte incremento de la población, aumentando también ligeramente la tasa de natalidad, aunque con menos de 1,3 hijos por mujer permanece muy por debajo de la media de los países de la UE-15 y UE-25. El crecimiento de la población española en el periodo 1980-2000 fue del 8,3%, es decir, un 0,4% interanual. Sin embargo, en los últimos años (2000-2006) y debido fundamentalmente a la inmigración, este crecimiento ha sido del 10,4%, es decir, un 1,7% interanual. En valores absolutos, la población española ha pasado de 40,5 millones en 2000 a 44,7 millones en 2006.

El número de hogares en España, el 1 de enero de 2006, era de 15.141.000 unidades, lo que supone un incremento del 34% desde 1990. La ocupación media de los hogares españoles en el periodo 1990-2005 se ha reducido en un 15%, desde un valor de 3,4 personas por hogar en 1990 hasta un valor de 2,9 en 2006.

### V.1.4 La importancia del sector energético

En España, casi el 80% de las emisiones de GEI tienen su origen en transformaciones energéticas intermedias, para producir electricidad o combustibles, o en los usos finales de la energía.

El crecimiento medio anual de la demanda de energía primaria nacional en el periodo 1990-2005 fue del 3,1%, mientras que en la Unión Europea (UE-15) en el mismo periodo la cifra se situó en el 1,1%. En el año 2006 la demanda de energía primaria española disminuyó en valor absoluto (es la primera vez que hay una disminución en 10 años) en un 1% aproximadamente.

El consumo de energía primaria per capita en 2005 en España, 3,2 tep/hab. y año, se encuentra aún por debajo de la media de los países de la OCDE (4,7 tep/hab. y año) y de la media de los países de la UE-25 (3,8 tep/hab. y año). El promedio mundial se sitúa en 1,8 tep/hab y año.

En lo que respecta a las fuentes energéticas con las que se ha suministrado la energía primaria en España, en 2006 el petróleo fue la fuente energética más demandada (48,5%), seguido por el gas natural (20,8%), el carbón (14,4%) y la energía nuclear (10,3%). Las energías renovables se sitúan a continuación con el 5,9% del total.

El precio de los productos energéticos finales es uno de los factores más determinantes de su consumo. En España los precios de los productos energéticos finales –electricidad, productos petrolíferos y gas natural, principalmente- han crecido en la última década en general por debajo del Índice de Precios de Consumo (IPC), por lo que su evolución en términos reales, esto es, descontando el efecto de la inflación, ha sido descendente.

Las tarifas españolas de electricidad para consumidores domésticos se encuentran en el entorno medio-bajo de los precios equivalentes en la UE, mientras que los precios para consumidores industriales están en el entorno de los valores medios europeos. El precio de los combustibles para automoción está entre los más bajos de la UE-15. Con los precios actuales de la energía en España es difícil que los consumidores adopten por sí mismos medidas de ahorro y eficiencia energética.

### **V.1.5 Movilidad y parque de vehículos**

La movilidad de personas y de mercancías en España se ha multiplicado por más de dos entre 1990 y 2005. Prevalece el transporte por carretera, con el 90% y el 85% de los viajeros-km y de las toneladas-km transportados, respectivamente, en 2005. Esto es consecuencia tanto del aumento de la actividad económica como del modelo de ocupación del territorio y del urbanismo que le sigue. En relación con el número de habitantes, España es el segundo país europeo con mayor densidad de red de autovías y autopistas.

El parque de vehículos se ha multiplicado por cuatro entre 1975 y 2005, siendo actualmente de los más antiguos de Europa: supera en más de un año la antigüedad media del parque europeo.

El modo de transporte que más ha incrementado sus emisiones es el de transporte por carretera, seguido por el transporte marítimo y fluvial. Las emisiones de la aviación presentan una tasa de crecimiento muy elevada en los últimos años. Las debidas al transporte por ferrocarril, en cambio, han disminuido notablemente desde 1990.

### **V.1.6 Hidraulicidad y energía eólica**

La hidraulicidad española es muy variable, lo que introduce un elemento importante de aleatoriedad en las estadísticas energéticas, y en el inventario nacional. La producción eólica total es fuertemente variable en el corto plazo, pero mucho más estable que la hidráulica en periodos anuales.

## **V.2 Situación en los países de nuestro entorno**

El principal emisor mundial de gases de efecto invernadero en 2004 es Estados Unidos, con el 22% de las emisiones globales. El siguiente es China, con el 17%. Estos dos países, que suman casi 40% de las emisiones globales no han asumido un compromiso de reducción o limitación de sus emisiones en el contexto del Protocolo de Kioto. Los siguientes grandes emisores son la Comunidad Europea, Rusia, Japón e India, el segundo país del ranking en cuanto a países en desarrollo. España ocupa el lugar número 18, con el 1,3% de las emisiones globales.

Si nos fijamos en las emisiones de CO<sub>2</sub><sup>1</sup> per cápita la imagen cambia notablemente. Estados Unidos presenta unas emisiones per cápita en torno a las 20 tCO<sub>2</sub>/persona.

---

<sup>1</sup> Con objeto de poder comparar con los datos disponibles para países en desarrollo, se incluyen únicamente las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético y del sector cementero del año 2003.

Sin embargo, para China e India los valores correspondientes son de 3,5 tCO<sub>2</sub>/persona y 1,1 tCO<sub>2</sub>/persona, respectivamente, muy lejos todavía de los valores típicos de los países desarrollados. España tenía en 2003 unas emisiones per cápita de 8,0 tCO<sub>2</sub>/persona, un valor moderado para tratarse de un país desarrollado.

La Figura 6 muestra la tasa media de crecimiento anual de las emisiones de GEI en los “seis grandes” y en España, a lo largo del período 1990-2003. Destaca el crecimiento de los dos grandes países en desarrollo, pero también el de España, muy por encima del de Estados Unidos, Japón o la Unión Europea. Por otro lado, el caso de Rusia pone de manifiesto el típico colapso económico, y de las emisiones, de los países de la antigua Unión Soviética.

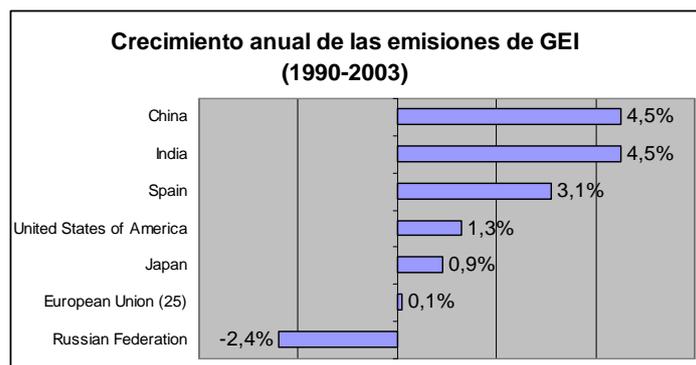


Figura 6: Tasa media anual de crecimiento de las emisiones de GEI en algunos países.

Finalmente conviene detenerse en el análisis de las emisiones per cápita españolas en el ámbito de la Unión Europea. La evolución de este parámetro se refleja en la Figura 7.

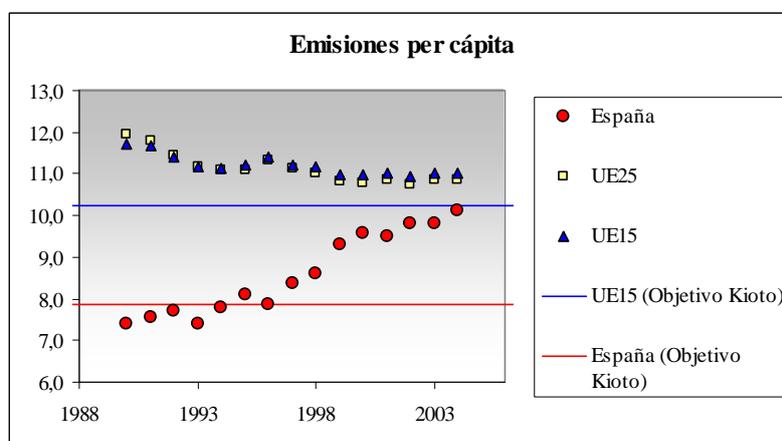


Figura 7: Emisiones per cápita en España y la UE.

Aquí volvemos a ver cómo las emisiones per cápita han aumentado en España en los últimos años, ahora en términos absolutos. Sin embargo, también se observa que todavía hoy las emisiones per cápita en España se han mantenido por debajo de la media Comunitaria.

### V.3 Las opciones de mitigación de las emisiones de GEI

Todos los datos que se vienen señalando ponen de manifiesto la tendencia preocupante de las emisiones de GEI en España, si bien es cierto que en los últimos años se observan indicios de un cambio de tendencia. El dato provisional de

emisiones del año 2006 es esperanzador. En ese año, las emisiones totales se han reducido en un 2,7% respecto al año anterior y en un 4,1% tomando como base las emisiones de 1990, situándose en un +48,1% en relación con el año base. Sin embargo, parece improbable que ese ritmo de reducción se pueda mantener si no se toman medidas adicionales.

En el marco de la elaboración del Plan Nacional de asignación de derechos de emisión 2008-2012 se diseñó un escenario de cumplimiento basado en la adopción de medidas adicionales, la utilización de los mecanismos flexibles, y la absorción de carbono por los sumideros:

- Medidas adicionales: El Gobierno se ha comprometido a adoptar medidas de reducción adicionales que limiten el crecimiento de las emisiones de los sectores que no participan en el comercio de emisiones al 37%. Esto equivale a reducciones de unos 37,6 Mt CO<sub>2</sub>-eq/año.
- Utilización de los mecanismos de flexibilidad: España hará uso de esta opción para cubrir el 20% de las emisiones esperadas en 2010. Esto supone unos 57,9 Mt CO<sub>2</sub>-eq/año. Este total se reparte entre el sector privado y el Gobierno. Al sector privado que participa en el comercio de emisiones se le transfiere un 45% de ese objetivo a través de una asignación restrictiva de derechos de emisión: 26,1 Mt de CO<sub>2</sub>-eq/año. El resto, 31,8 Mt de CO<sub>2</sub>-eq/año debe ser adquirido por el Gobierno en los mercados internacionales de carbono.
- Sumideros de carbono: se espera que puedan fijar CO<sub>2</sub> por un total equivalente al 2% de las emisiones totales del año base, lo que equivale a 5,8 Mt de CO<sub>2</sub>-eq/año.

Posteriormente a la elaboración de este escenario, con fecha 20 de julio de 2007, se aprobó un Plan de Medidas Urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia que recoge más de ochenta actuaciones. En conjunto, estas actuaciones suponen unas reducciones adicionales de 12,2 Mt CO<sub>2</sub>eq/año (61,1 Mt CO<sub>2</sub>eq en el periodo 2008-2012). Se estima que tras la adopción de este Plan serán todavía necesarias otras medidas adicionales que proporcionen reducciones de 15,03 Mt CO<sub>2</sub> equivalente/año. Las Comunidades Autónomas y las Entidades Locales son clave para identificar y poner en marcha medidas de mitigación en el ámbito de sus propias competencias para conseguirlo. Por otro lado, hay que señalar que reducciones adicionales aún más intensas que las señaladas serán necesarias más allá de 2012.

Más allá del período 2008-2012, el acuerdo del Consejo Europeo de reducir unilateralmente las emisiones de la Unión Europea en un 20% en 2020 respecto de 1990 supone un objetivo ambicioso, pero necesario para atacar con decisión el problema del cambio climático. Este objetivo está interrelacionado con otros adoptados específicamente en el área de energía, pero con evidentes implicaciones en materia de cambio climático. En primer lugar, debe incrementarse la eficiencia energética para lograr el objetivo de ahorrar un 20% del consumo de energía de la UE en comparación con los valores proyectados para 2020. En segundo lugar, la Unión Europea se compromete a alcanzar un 20% de energías renovables en el consumo total de energía de la UE en 2020. Por último, se establece un objetivo vinculante mínimo del 10%, para todos los Estados miembros, con relación al porcentaje de biocombustibles en el conjunto de los combustibles (gasóleo y gasolina) de transporte consumidos en la UE en 2020.

Los objetivos comunitarios en materia de emisiones de GEI, de eficiencia energética y de energías renovables requieren una distribución de la carga entre los Estados miembros. En este contexto se van a desarrollar negociaciones en las que

probablemente acabará emergiendo un sistema de reparto del esfuerzo diferente al que se estableció en 1997 para el período 2008-2012. Cabe esperar que criterios basados en las emisiones per cápita para los sectores difusos y en las emisiones específicas por unidad de producto para los sectores industriales deban desempeñar un papel mayor. Al margen de cuál sea el resultado de las negociaciones que se desarrollen en este contexto, la magnitud global de los objetivos hace prever que van a ser necesarios esfuerzos de reducción adicional muy significativos a medio y largo plazo.

### **V.3.1 La perspectiva temporal**

El planteamiento general de España ante el cambio climático debe ser consecuente con el actual conocimiento científico y con las mejores previsiones de los esfuerzos a largo plazo que la comunidad internacional habrá de acordar. Ya se sabe con claridad que se trata de un esfuerzo importante, sostenido y de muy largo plazo, que debe desembocar en una economía mundial muy baja en carbono.

Hay líneas de actuación que sólo tienen resultados significativos en el medio y largo plazo, como las reformas en profundidad de los modos de transporte, o del urbanismo de las ciudades, o de la estructura y el modo de operación del sistema eléctrico para acomodar ingentes cantidades de generación renovable de carácter intermitente, el diseño de un sistema de captura y almacenamiento del CO<sub>2</sub> a escala nacional o los cambios necesarios en el sector agrícola para lanzar un programa ambicioso de utilización energética de la biomasa.

Hay otras medidas, como fomentar una mayor penetración de las energías renovables, un mejor reflejo de los costes ambientales en los precios de la energía, una adecuada gestión de los residuos, una adecuada política forestal o una gestión eficiente de la energía en vehículos, ciudades e industrias, que permiten reducciones en un plazo de tiempo más corto.

Por otro lado, está emergiendo un mercado de carbono global que va a desempeñar un papel fundamental como instrumento horizontal en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este mercado introduce un fuerte incentivo al desarrollo e implantación de nuevas soluciones para limitar o disminuir las emisiones. No olvidemos que ya a fecha de hoy más del 40% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la Unión están sujetas a este régimen.

En todo caso, es importante subrayar que la mera sustitución de fuentes energéticas no basta. Es imprescindible comprender que es necesario elevar el rendimiento del sistema energético actual, promoviendo al máximo el ahorro y la eficiencia, invirtiendo en la generalización de las soluciones hoy conocidas y en investigación de mejoras futuras.

Es por ello que los planteamientos y propuestas que se contienen en este documento deben tener una perspectiva de largo plazo e inscribirse al menos en el horizonte de los objetivos fijados para 2020 por el Consejo de la Unión Europea de marzo de 2007, sin renunciar a las acciones inmediatas para reducir ya las emisiones de GEI y desacoplar en lo posible el consumo energético del desarrollo económico.

### **V.3.2 La actual encrucijada energética**

La producción, distribución y consumo de la energía constituyen el principal factor desencadenante del acelerado proceso actual de cambio climático. Pero el cambio climático no es el único dilema al que tiene que enfrentarse el presente modelo energético mundial, que está actualmente inmerso en una verdadera encrucijada, pues es insostenible a causa de una multiplicidad de razones. No es posible reorientar el

modelo energético para hacer frente al problema del cambio climático sin una perspectiva de conjunto de su problemática actual.

Numerosos estudios, utilizando distintos enfoques y desde diferentes perspectivas, coinciden en afirmar que el actual modelo energético mundial -y especialmente el de los países más desarrollados, como España- es insostenible en términos económicos, sociales y medioambientales. Los desafíos mayores que conlleva el modelo energético mundial actual son los siguientes:

El crecimiento sostenido de la demanda de energía, donde el efecto amortiguador de las ganancias en eficiencia energética se ve ampliamente sobrepasado por el del crecimiento de la población y el aumento del consumo per cápita asociado a la mejora en la calidad de vida y a un consumo no siempre responsable.

La utilización generalizada de combustibles fósiles, principal fuente de emisión antropogénica de gases de efecto invernadero.

La incertidumbre respecto a la disponibilidad de recursos energéticos fósiles a un precio asequible y durante un largo periodo de tiempo. Las mejores estimaciones actuales dan un plazo de 40, 63 y 147 años para el agotamiento de las reservas conocidas de petróleo, gas natural y carbón, respectivamente, con el ritmo actual de consumo.

La creciente dependencia energética del exterior de los grandes países consumidores de energía –EE-UU., la UE, Japón y, más recientemente, China-.

El acceso del total de la población mundial a servicios energéticos modernos. Cerca de 2000 millones de personas, un tercio de la población mundial, no tiene acceso a servicios energéticos modernos.

### ***V.3.3 El caso español***

España es un país con una dependencia energética muy alta, a pesar de lo cual han tenido lugar unos muy escasos logros en eficiencia. Hasta 2005, el crecimiento del consumo de electricidad era claramente superior a la media europea y también el de energía primaria, aunque partiendo de valores inferiores a los medios en Europa, mientras que la intensidad energética seguía una tendencia creciente, contraria a la observada en la UE-15. El potencial para nuevas instalaciones hidroeléctricas grandes está prácticamente agotado. La utilización de carbón nacional se ha venido reduciendo gradualmente, a causa de un conjunto de factores económicos, sociales y medioambientales. La energía nuclear cuenta con una considerable oposición pública y el uranio que se emplea en las centrales españolas se compra y enriquece en el extranjero. Existen unos abundantes recursos renovables en energía solar, eólica y biomasa que se están desarrollando muy activamente –aunque de forma desigual- con el apoyo de un sistema de primas, pero que precisan otras fuentes de generación de electricidad complementarias, dado el carácter intermitente de las dos primeras mientras no se logren avances en técnicas de almacenamiento e hibridación. El esfuerzo en I+D de largo plazo en el sector energético es insuficiente, en este caso en sintonía con la tendencia reciente de la Unión Europea y mundial. La insuficiencia de los recursos que actualmente se dedican a la búsqueda de soluciones y la ausencia de un debate social sobre este asunto son signos de que la gravedad del problema no es aún percibida.

### ***V.3.4 Las grandes líneas de solución***

Son bien conocidas las grandes líneas de actuación que se necesitan para encaminar el actual modelo energético hacia una senda de sostenibilidad. Obviamente la dificultad está en su aplicación, tanto en el ámbito de cada país como en la necesaria

coordinación de esfuerzos entre los distintos países, lo que supone una tarea de una dimensión gigantesca. Por el lado de la *demanda* será preciso utilizar medidas de ahorro y eficiencia energética, para desacoplar en lo posible el crecimiento económico del aumento del consumo de energía. Por el lado del suministro de servicios energéticos habrá que recurrir a tecnologías con bajas emisiones de GEI. Las tecnologías actualmente disponibles permiten conseguir una economía baja en carbono aunque habrá que seguir haciendo un importante esfuerzo de I+D en tecnologías energéticas y, sobre todo, en la modificación sustancial de las estructuras y dispositivos energéticos. Finalmente, para que la población acepte y apoye todas estas medidas va a ser preciso un esfuerzo muy importante de educación y concienciación de la opinión pública.

### **V.3.5 Modelo competencial Estado-Comunidades Autónomas**

El esfuerzo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que debe llevarse a cabo en España exige una acción coordinada de las distintas Administraciones Públicas. La complejidad territorial del modelo español supone a la vez un reto y una oportunidad. La existencia de distintos niveles de poder público con competencias sobre materias vinculadas en mayor o menor medida al cambio climático permite desplegar una política rica y variada frente a este problema, en la que distintas administraciones colaboren en la búsqueda y puesta en marcha de soluciones. Por otro lado, no es menos cierto que nuestro modelo de distribución de competencias exige un esfuerzo de coordinación muy significativo para lograr que las medidas adoptadas sean coherentes. Sin duda, la actuación conjunta y coordinada de los distintos poderes públicos facilitará el que la respuesta española frente al reto del cambio climático sea eficaz.

## **VI AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS CONSUMOS FINALES**

### **VI.1 Consideraciones generales**

La reducción del consumo energético y sus impactos asociados se puede lograr, bien con ahorro, esto es, una reducción de la actividad que conlleva el consumo de energía –o del derroche energético que frecuentemente tiene lugar-, o bien con una mejora de la eficiencia energética en la realización de una tarea determinada.

Las acciones que pueden aplicarse desde el ahorro y la mejora de la eficiencia energética son conocidas en términos generales, y están estrechamente asociadas a la naturaleza de cada sector o actividad concreta así como a la concienciación de los usuarios involucrados en ellas. Estas acciones incluyen la correcta aplicación de precios de la energía que reflejen la totalidad de los costes incurridos o, en su caso, los precios de mercado, con la diferenciación temporal que corresponda; las normas o estándares de eficiencia; las auditorías energéticas; las campañas de información, divulgación y concienciación; los incentivos financieros y fiscales; la planificación urbanística o de infraestructuras; los acuerdos voluntarios entre administración y empresas; o el apoyo a la I+D para desarrollar nuevas tecnologías energéticas.

El ahorro y la eficiencia energética pueden y deben desempeñar un papel fundamental en la estrategia global para mejorar la sostenibilidad del modelo energético, sobre todo en el corto y medio plazo. El ahorro y la eficiencia energética permiten ganar tiempo mientras se realiza el necesario cambio tecnológico y reducen muy significativamente –debido a su efecto acumulativo– las necesidades energéticas a futuro. Asimismo, las diversas medidas que será necesario aplicar harán ver a la población que la mitigación

del cambio climático depende del consumo energético de cada ciudadano y que el esfuerzo colectivo a realizar necesita de la suma de los esfuerzos de los consumidores individuales, además de los cambios tecnológicos que sea preciso introducir o de las normativas que haya que adoptar.

## **VI.2 Sector transporte**

La evolución reciente de la demanda de transporte y sus emisiones de GEI en nuestro país han seguido pautas de crecimiento mucho más acelerado que en el conjunto de la UE. La movilidad de personas y mercancías crece a un ritmo muy superior a la de nuestros vecinos europeos. El importante crecimiento de emisiones de GEI del sector transporte no se explica sólo por el crecimiento demográfico, ni siquiera por el crecimiento económico, que tienen ratios de crecimiento menores. En gran medida se debe a la apuesta realizada durante las dos últimas décadas de estructurar el territorio y la atención a la demanda de movilidad mediante una red de infraestructuras con gran predominio de la carretera.

La situación es aún más preocupante si consideramos nuestro mayor desequilibrio modal: el ferrocarril, en un escenario de demanda creciente, no sólo no crece en términos absolutos, sino que sigue perdiendo cuota de mercado, tanto en viajeros como mercancías, alcanzando valores claramente inferiores a la media europea.

El cambio de tendencia en las emisiones del sector transporte sólo puede conseguirse con una acción política decidida que cubra los siguientes ámbitos: a) mejoras tecnológicas en vehículos y combustibles para aumentar sustancialmente el rendimiento energético de los transportes de personas y de mercancías; b) cambio en la distribución modal de mercancías; dando prioridad al ferrocarril y al transporte marítimo c) mejora en la distribución modal de la demanda interurbana de viajeros; d) mejora en la distribución modal de la demanda urbana de viajeros, reducción de la longitud y número de viajes motorizados, realizando una apuesta mucho más rotunda por el transporte colectivo y por el no motorizado; e) uso eficiente de los vehículos; f) potenciación del uso de las nuevas tecnologías para evitar desplazamientos; y g) fiscalidad de productos petrolíferos, impuestos de matriculación y circulación, y regulación del estacionamiento.

## **VI.3 Sector residencial, comercial e institucional**

Se trata de un sector con una contribución muy relevante al consumo energético y a las emisiones de GEI, en el que un incremento drástico en el ahorro y eficiencia energética se ve dificultado por los siguientes factores: a) los ciudadanos demandan niveles crecientes de confort, lo que generalmente supone –aunque no necesariamente- mayor consumo energético; b) la vida útil de los edificios es muy larga (las posibles actuaciones sobre edificios ya existentes es, aunque relevante, más limitada); c) el edificio es una instalación compleja, sin que exista en España una tradición de incluir criterios energéticos en su diseño y mantenimiento; d) la normativa existente, a pesar de haber mejorado recientemente, deja todavía que desear en lo relacionado con los indicadores y fijación de objetivos, y en los procesos de certificación; sin que haya dado tiempo todavía para evaluar el grado de efectividad.

En lo que respecta a las posibles actuaciones sobre los edificios individuales habría que incidir en: a) el urbanismo, arquitectura e ingeniería bioclimáticas; b) el diseño del edificio; c) las instalaciones energéticas; d) la integración de energías renovables; e) la operación del edificio; f) los materiales de construcción, y g) la capacitación profesional.

Existen otras medidas de carácter más amplio, como son la revisión del enfoque regulatorio, la participación de este sector en esquemas avanzados de gestión de la demanda, y una amplia penetración de la cogeneración y la trigeneración. Finalmente, no hay que olvidar la interrelación existente entre planificación del territorio, urbanismo y emisiones en el sector transporte. El nuevo Código Técnico de la Edificación debe complementarse con una apuesta por la rehabilitación de viviendas existentes, con un enorme potencial de aumento de la eficiencia energética.

## **VI.4 Sector industrial**

El crecimiento económico del sector industrial sigue estando asociado a un incremento paralelo y ligeramente superior de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del consumo de energía final. No obstante, en los dos últimos años se aprecian por primera vez muestras de disociación relativa con respecto al valor añadido bruto del sector y un cambio de tendencia respecto al consumo de energía y a la intensidad energética de la economía.

Entre las medidas de tipo “transversal” que son de aplicación a gran parte de los sectores industriales destaca el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión. En este contexto, la relevancia del precio de mercado de los derechos de emisión, resultado de una fijación exigente de los objetivos de reducción de emisiones a cumplir va a suponer un incentivo para que las instalaciones de estos sectores sigan trabajando para alcanzar mayores grados de ahorro y eficiencia energética (también para que reduzcan las emisiones denominadas de “proceso”). Al margen de este instrumento, existen otras opciones que conviene explorar, como son un coste de la energía que realmente incorpore la componente medioambiental; la potenciación de la cogeneración; y un marco regulatorio exigente pero a la vez claro e incentivador.

La situación en el sector industrial aconseja dar prioridad a la eficiencia energética a corto plazo, mientras que las mejoras tecnológicas de los procesos productivos deben enfocarse con un horizonte temporal a medio plazo.

Se ha comprobado que muchas industrias podrían reducir apreciablemente su consumo energético, pero que para hacerlo necesitarían realizar cambios tecnológicos en su proceso de fabricación. Estas modificaciones son rentables a largo plazo, pero a las empresas les puede interesar más llevar a cabo otras inversiones o incurrir en otros gastos con una rentabilidad mayor en el corto plazo. Lo anterior es la causa de que muchas inversiones en ahorro y eficiencia energética que serían rentables no se lleguen a realizar.

Una forma de tratar de salir del anterior atolladero es por medio de las empresas de servicios energéticos, que se especializan, precisamente, en realizar inversiones o en facilitar cambios de operación que reduzcan el consumo de energía y que permitan obtener una rentabilidad suficiente a largo plazo. Una parte de estos ahorros benefician al consumidor y otra parte a la empresa de servicios, que así puede ser viable. Existe aquí un enorme área de negocio por explotar, que es además extensible al sector residencial y de servicios.

## **VI.5 Otros sectores**

El sector Servicios Públicos, de acuerdo al Plan de Acción 2008-2012 de la E4, comprende el alumbrado público, el suministro de agua y la eliminación de residuos urbanos, tanto sólidos como líquidos (depuración de aguas residuales), las empresas públicas, así como otras diversas actividades de carácter social (ayuntamientos, polideportivos o colegios). Las cantidades medias de emisión de este sector son cifras

menores en el contexto global del país. Sin embargo, las reducciones que se pueden lograr aquí tienen un importante componente ejemplificador hacia los ciudadanos y de toma de conciencia de los gobernantes de las instituciones correspondientes, por lo que es necesario prestar la debida atención a este sector.

## **VII PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y DE COMBUSTIBLES Y OTRAS TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS**

### **VII.1 La producción de electricidad y calor**

Las economías de escala y la disponibilidad de carbón, gas y petróleo han permitido el dominio de las grandes centrales térmicas con combustibles fósiles en la producción de electricidad. Sin embargo sus emisiones de CO<sub>2</sub> y la previsible falta de disponibilidad a medio plazo de petróleo y de gas a precios asequibles son graves inconvenientes. Por otro lado, las tecnologías renovables hoy conocidas pueden facilitar una rápida disminución de las emisiones de GEI, con importantes ventajas añadidas. Su evolución tecnológica y reducción relativa de costes, junto con nuevas tecnologías de combustión más eficientes, la captura y almacenamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y un aprovechamiento más completo de la energía de los combustibles fósiles con cogeneración y generación distribuida se presentan como las opciones de futuro más relevantes.

Todas estas opciones por sí solas no constituyen una solución completa al problema de las emisiones de GEI en el sector de generación eléctrica. Es fundamental que las tecnologías no emisoras alcancen un grado de desarrollo e implantación muy superior al que hoy muestran.

### **VII.2 Generación eléctrica con energías renovables**

#### ***VII.2.1 Energía hidráulica***

La gran hidroeléctrica (>50 MW es el umbral establecido) tiene ya poco recorrido, toda vez que se han agotado en la práctica los emplazamientos disponibles. Sin embargo, en lo que se refiere a las minihidráulicas y microhidráulicas hay todavía potencial disponible. El Plan de Fomento de las Energías Renovables (PFER) ha planteado un aumento entre el 2005 y el 2010 de 810 MW, obviamente muy distribuidos en el territorio. Parece haber un interesante potencial de aumento de este tipo de centrales, para lo que habría que agilizar las gestiones administrativas para la puesta en servicio de pequeñas centrales abandonadas en algunos ríos españoles, por falta de rentabilidad económica para sus concesionarios o por otras razones que habría que revisar. Cabe asimismo utilizar las oportunidades que ofrecen pequeños embalses para el aprovechamiento energético, y así paliar la aleatoriedad de la generación eólica y/o solar.

#### ***VII.2.2 Energía eólica***

La eólica es la tecnología renovable con mayor crecimiento en los últimos años. En el año 2006, el 7.5% de la electricidad generada en el 2006 en España tuvo origen eólico y a 15 de noviembre de 2007 se han superado los 13.000MW de potencia instalada.

La situación en España de esta tecnología es especialmente brillante, dando lugar a grandes beneficios medioambientales y socioeconómicos por todos conocidos. Los mayores atractivos de esta tecnología son: su carácter "limpio", no dando lugar a

productos contaminantes ni a emisiones de GEI; su origen doméstico, que permite reducir la gran dependencia energética española y su naturaleza distribuida por gran parte del territorio nacional; su impacto favorable sobre el empleo; y su coste, que es de los más bajos entre las tecnologías renovables. Entre los inconvenientes se encuentra su impacto visual, la ocupación del territorio y la necesidad de mantener una operación segura del sistema eléctrico. Esto último podría ponerse en riesgo si creciese excesivamente el peso de una tecnología de generación intermitente, como es el caso. Para evitar estas dificultades el desarrollo de las interconexiones internacionales así como nuevos planteamientos en la gestión de la operación del sistema eléctrico apoyados en la respuesta de la demanda, las centrales hidráulicas convencionales y de bombeo y, en un futuro más lejano, la posibilidad de producción de hidrógeno.

El objetivo del Plan de Energías Renovables vigente fija un objetivo, para la energía eólica terrestre, de 20.155 MW instalados al 2010, objetivo al que España se aproximará con el ritmo actual de implantación y con la garantía del actual sistema retributivo. No obstante el potencial eólico a medio y largo plazo es sensiblemente superior. Las Comunidades Autónomas habían hecho estimaciones, al 2010, de 37.000 MW, lo que refleja bien el papel también dinamizador de las CCAA en el desarrollo de ésta tecnología. El nuevo Plan de Energías Renovables deberá incorporar nuevos objetivos de potencia eólica terrestre al 2020 y al 2030.

Habrá que estimar también la implantación de la eólica marina en nuestro país que podría tener un potencial aprovechable entre 10 y 15 GW, según los expertos.

El límite de instalación de generación eólica en España está relacionado por cuánto territorio se quiera dedicar a este propósito, por el extracoste –y su distribución en el tiempo- que suponga en la tarifa eléctrica el promover esta tecnología y por los condicionantes que la presencia de esta generación intermitente requiera para mantener una operación segura del sistema. Entre las ventajas adicionales de su empleo están las señales positivas al mercado –que incentivan la evolución tecnológica y, en consecuencia, la posición relativa de la economía española en un sector pujante a nivel internacional-, y la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, reduciendo las necesidades compra de carbono en los mercados internacionales así como el coste de la importación de combustibles. Estas ventajas son compartidas por otras tecnologías renovables.

### **VII.2.3 Energía solar**

La tecnología solar es, entre las renovables, la que presenta un mayor potencial por su gran disponibilidad del recurso básico en España. Las ventajas de las tecnologías solares son las siguientes:

- Pueden generar electricidad y/o calor precisamente a las horas –en el entorno del mediodía, y más en el verano- en las que el consumo es mayor.
- Son susceptibles de ser hibridadas con otras fuentes energéticas para adaptarse mejor al consumo.
- Son adecuadas para una transformación energética modular ajustada a la demanda, tanto en tamaño como en ubicación territorial.
- Se trata de un recurso energético ampliamente extendido.

El potencial bruto de la energía solar –tanto térmica como fotovoltaica- es enorme, y está solamente limitado por las decisiones sobre su ubicación y por el coste. De momento el objetivo previsto por el PER para solar fotovoltaica en 2010 ya se ha conseguido, por lo que se deben establecer nuevos objetivos realistas que conlleven

un desarrollo equilibrado de esta tecnología, acompañando la retribución anual que se establezca para las nuevas instalaciones a las reducciones de costes que éstas vienen experimentando, sin perjuicio de que la potencia instalada a medio plazo sea aún moderada (en 2006, la generación de electricidad fotovoltaica se situó entorno al 0.1% del total).

La solar termoeléctrica es una tecnología incipiente que puede constituir otro de los pilares en los que se apoye el esfuerzo de mitigación de las emisiones de GEI en España. En cuanto a previsiones de su desarrollo inmediato se dispone de la referencia del PFER para el 2010 y de los proyectos planteados por las empresas. En un caso se trata de 500 MW, cifra que ya parece quedarse corta a la vista del nivel de fabricación actual pero que, desde luego, resulta muy pequeña a más largo plazo dado su potencial, sobre todo si desde la Administración se mantiene el apoyo continuado y se dan los mensajes positivos adecuados al sector financiero y al empresarial. Este desarrollo puede ser aún mayor si se regulan debidamente las posibilidades de almacenamiento y la hibridación con biomasa y gas natural, pues aumentará la capacidad del sistema eléctrico para incorporar de forma fiable y segura un volumen muy importante de esta tecnología.

Con respecto a la solar fotovoltaica, de momento el objetivo previsto por el PFER para 2010 ya se ha conseguido, por lo que se deben establecer nuevos objetivos realistas que conlleven un desarrollo equilibrado de esta tecnología, acompañando la retribución anual que se establezca para las nuevas instalaciones a las reducciones de costes que éstas vienen experimentando, sin perjuicio de que la potencia instalada a medio plazo sea aún moderada (en 2006, la generación de electricidad fotovoltaica se situó entorno al 0.1% del total).

#### **VII.2.4 Generación eléctrica y térmica con biomasa**

El aprovechamiento eléctrico de la biomasa presenta barreras como los costes de inversión para instalaciones de biomasa que son, en general, más elevados que los correspondientes para instalaciones con combustibles fósiles convencionales. Asimismo, el componente principal de los costes de operación y mantenimiento de estas instalaciones es el de la adquisición de la biomasa, que varía mucho según la cantidad demandada, la distancia a transportar y la necesidad de tratamientos para mejorar la calidad o manejabilidad del producto, como el secado, astillado o peletización. Dependiendo del producto, los precios pueden variar mucho con la estacionalidad o la variabilidad de las cosechas.

Con vistas a una valoración prospectiva de más largo plazo, debe tenerse en cuenta que la biomasa, con respecto a otras tecnologías renovables, aporta una densidad de potencia por unidad de superficie (MW/km<sup>2</sup>) notablemente menor, que además se va reduciendo según se pretende explotar terrenos de menor productividad, como los secanos áridos o el monte bajo.

No obstante, la biomasa presenta notables ventajas respecto a otras fuentes renovables, como es su gestionabilidad (y, por tanto, capacidad de ser utilizada como potencia de respaldo e hibridación con otras formas energéticas no almacenables) y la generación de rentas en zonas rurales. Sin duda la biomasa es clave para un mix equilibrado de fuentes renovables.

Además, no se debe subestimar el potencial de la biomasa para proporcionar calor y agua caliente sanitaria.

En todo caso, la mejora de los sistemas logísticos de recogida y gestión de residuos agro-forestales susceptibles de aprovechamiento energético es clave para aprovechar el potencial de este recurso.

### **VII.2.5 Otras energías renovables**

Los expertos están considerando que puedan jugar un papel en un futuro no muy lejano las energías marinas, (olas, etc.) y la geotermia. El nuevo Plan de Energías Renovables 2011-2020 deberá contemplar la aportación de éstas tecnologías al mix energético.

### **VII.3 Centrales termoeléctricas de combustibles fósiles**

El rendimiento global de los procesos de transformación de energía con combustibles fósiles para producir electricidad oscila entre 25% en grupos antiguos de carbón hasta 60% en modernas plantas de gas natural. Por tanto, una gran cantidad de energía se desperdicia cediéndola al medio ambiente. Es clara la oportunidad de reducir esta energía no utilizada, ya sea mejorando el rendimiento del proceso o aprovechándola de alguna otra forma.

La sustitución de centrales térmicas de carbón por centrales térmicas de gas ha sido y es una buena herramienta para reducir a corto plazo las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector de generación eléctrica. Sin embargo, los altos costes del gas natural, relativos al carbón, y la abundancia y dispersión geográfica de éste justifican cierto freno en la rápida expansión de ciclos combinados en todo el mundo.

Una medida que puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma muy significativa y a costes comparativamente bajos respecto a otras tecnologías, es la sustitución anticipada de centrales de carbón de bajo rendimiento por otras de mayor rendimiento. En España son habituales las centrales de carbón con rendimiento entre el 30-35% y todavía con vidas útiles de 10-20 años. La sustitución acelerada de estas centrales por centrales con rendimientos en torno al 45% tendría un impacto de reducción de emisiones de hasta el 20-30% respecto a las actuales.

Ya se ha mencionado en la sección dedicada al ahorro y la eficiencia que existe un gran potencial en la utilización del calor cedido al medio ambiente en el proceso de generación de electricidad para climatización y suministro de calor industrial, en procesos de cogeneración y trigeneración. Frecuentemente lo anterior viene asociado a plantas distribuidas de generación, de tamaño medio y pequeño, cercanas a los centros de utilización.

Como se ha indicado anteriormente, la co-utilización de biomasa como combustible, junto con el carbón, es una medida eficaz que puede comenzar a aplicarse de inmediato.

Si se recurre a mantener o incrementar la producción de electricidad en grandes plantas de carbón –también de fuel-oil o de gas natural- será preciso recurrir a la implantación masiva a medio plazo de sistemas de captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>. Esta opción, todavía no disponible tecnológicamente, se aborda expresamente más adelante.

### **VII.4 Energía nuclear**

Existe un debate abierto sobre la llamada opción nuclear, con posicionamientos muy acusados a favor y en contra, tanto en España como en otros países.

En principio, esta tecnología apenas parece llevar asociadas emisiones de dióxido de carbono y puede contribuir a reducir temporalmente los problemas de seguridad del suministro, aunque habría de tenerse en cuenta los problemas de suministro de uranio

a escala mundial si se incrementase la energía nuclear como respuesta generalizada al cambio climático y a la garantía de suministro.

.En cuanto al coste, se estima que podría llegar a ser competitivo con el de otras tecnologías ampliamente disponibles, aunque ello dependerá, en gran medida, como con el resto de las tecnologías no emisoras de carbono, del precio futuro de los combustibles fósiles y del CO<sub>2</sub>, así como del coste de capital, dado que las inversiones de estas instalaciones exigen necesariamente una estabilidad regulatoria a largo plazo asociada a la remuneración de la energía.

La gran mayoría de los argumentos en contra de la expansión de la energía nuclear en el sector energético tienen que ver con la seguridad de almacenamiento de los residuos radioactivos, de los riesgos de accidentes imprevisibles, de y los derivados los usos no civiles de la energía nuclear, en un escenario de proliferación descontrolada de instalaciones nucleares por todo el mundo

Las centrales nucleares en los países de la OCDE tienen una excelente trayectoria de fiabilidad, y en dicho ámbito estaría garantizado el suministro de uranio, pero un gran número de instalaciones nucleares por todo el mundo, para contribuir significativamente a mitigar el cambio climático, es una opción no exenta de los riesgos antes señalados. Los diseños nucleares avanzados, que pretenden mitigar algunos de estos problemas, están aún lejos de su potencial utilización industrial a corto y medio plazo

Aún ningún país ha conseguido implantar un sistema eficaz para gestionar sus residuos con carácter definitivo. Tanto su almacenamiento geológico profundo permanente como el someterlos a procesos de separación y transmutación son propuestas, en mayor o menor grado de estudio y experimentación, que en su estado actual no son consideradas satisfactorias por muchos expertos.

En definitiva, será preciso sopesar en el futuro las ventajas, los riesgos y los costes de la energía nuclear y de sus alternativas energéticas en las distintas opciones de mitigación del cambio climático, que podrán ser facilitados por análisis específicos de prospectiva energética a escala nacional, europea y mundial.

## **VII.5 Cogeneración**

La cogeneración supone una mejora muy sustancial en el aprovechamiento energético de cualquier tipo de combustible. La razón fundamental es que, al mismo tiempo que se genera electricidad, se aprovecha una parte significativa del calor originado en otro tipo de instalación, en vez de volcarlo al medio ambiente. La reciente regulación administrativa y económica del régimen especial en cogeneración propone un objetivo de 9.215 MWe instalados en el año 2012. Con las condiciones económicas apropiadas estas previsiones podrían superarse rápidamente. El apoyo regulatorio que viene recibiendo esta tecnología debe continuarse y, en la medida de lo posible, fortalecerse de modo que permita sustituir una parte sustancial de la generación de electricidad en grandes centrales termoeléctricas alimentadas por combustibles fósiles.

## **VII.6 Biocarburantes**

Una mayor utilización de biocarburantes en principio tiene como aspectos positivos la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> (según muestran los Análisis de Ciclo de Vida más recientes realizados en España) y la disminución de la dependencia del petróleo, mientras que tiene en contra el mayor coste y la posible competencia con otros usos – como la producción agrícola con fines alimentarios. No obstante, la Dirección de

Agricultura y Desarrollo Rural de la UE ha previsto que en 2010 el consumo de cereales producidos en la UE-27 para producir bioetanol y lograr el objetivo de cobertura del 5,75% no alcanzará el 4% de la producción anual. En España, el cumplimiento de este mismo objetivo supondría un consumo del 7% de la producción de cereales. En ninguno de estos casos se ha considerado el cultivo de las 7,3 Mha de tierras de retirada actualmente disponibles.

Por ello, la mayor limitación actual hace referencia al factor de escala y a su capacidad para contribuir de forma decisiva a la eventual sustitución de los combustibles fósiles. Se están estudiando otros procesos y otras plantas que permitan un mayor rendimiento del terreno y una reducción de los costes de producción. Además, se considera clave el desarrollo tecnológico para obtener biocarburantes de materias primas no alimentarias, tales como los residuos agrícolas y los recursos lignocelulósicos, dando lugar a la llamada segunda generación de biocarburantes. Una vez se hayan desarrollado estas prometedoras tecnologías de segunda generación, se estima que podrá extraerse de los biocarburantes cinco veces más energía que la utilizada en su producción, con una reducción del 90% de las emisiones respecto a los combustibles fósiles. Además esta biomasa puede obtenerse de tierras marginales, que no competirían con las destinadas primordialmente a la producción de alimentos.

En todo caso, mientras se importen materias primas para la fabricación de biocarburantes, es imprescindible establecer un sistema de certificación de origen (tal y como tiene previsto la Comisión Europea) para evitar que el cultivo de aquéllas cause efectos adversos de carácter socioeconómico o ambiental en los países productores.

## **VII.7 Captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>**

La captura y almacenamiento geológico permanente de CO<sub>2</sub> (CAC) es una poderosa herramienta de mitigación de cambio climático, que está ya en las agendas políticas al más alto nivel en todo el mundo. La CAC es una opción aplicable a grandes fuentes estacionarias de CO<sub>2</sub> como centrales térmicas, refinerías, cementeras y otras industrias pesadas. Las tecnologías CAC permiten también transformar combustibles fósiles de alto contenido en carbono en combustibles para automoción de bajo o nulo contenido en carbono (metanol o hidrógeno).

El IPCC ha evaluado las tecnologías existentes y emergentes de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y ha concluido que, en la mayor parte de los escenarios de estabilización entre 450 y 750 ppm, las tecnologías CAC contribuirían entre el 15 y el 55% del esfuerzo mundial de mitigación acumulativo hasta 2100. De hecho, los escenarios manejados por la UE, predicen una implantación casi total de la CAC en el sector eléctrico europeo para el 2030 iniciado con la construcción de una docena de plantas de demostración de diferentes tecnologías y localizaciones entre el 2015 y el 2020.

Los costes de mitigación se situarían para el sector eléctrico (con tecnologías existentes de captura, transporte y almacenamiento) entre 40-60€/tCO<sub>2</sub> evitada. Esto supondría un aumento de costes de generación de unos 0.02-0.03 €/kWh. Unas 3/4 partes de estos costes provienen de la etapa de captura de CO<sub>2</sub>, que incurre, además, en una penalización importante de los rendimientos energéticos (bajan un 15-25%). Se investiga en todo el mundo para reducir costes (hacia 15€/t) y penalizaciones de rendimientos (hacia el 10%).

La CAC puede ser especialmente importante en países como España, muy intensivos en el uso de recursos fósiles (85% de nuestra energía primaria) y con objetivos ambiciosos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en las próximas décadas, mientras se

produce la lenta transición de nuestra sociedad hacia hábitos sostenibles y hacia un sistema energético eficaz y renovable.

En el largo plazo, el potencial de la CAC puede ser enorme, dependiendo de la evolución de los precios de los combustibles y del derecho de emisión de CO<sub>2</sub> y de la entrada de tecnologías CAC aplicada a biomasa y a combustibles de automoción de bajo carbono. España parte con un importante retraso en el desarrollo de la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> respecto a Europa. Las más evidentes son la necesidad de buscar y caracterizar en detalle posibles almacenes masivos de CO<sub>2</sub>, aprendizaje y adaptación de sus equipos humanos de investigación hoy punteros y competitivos en áreas afines (combustión, materiales, catálisis, modelado de procesos etc.), que podrían redirigir su actividad hacia este campo y crear las masas críticas necesarias para ejecutar con éxito grandes proyectos de I+D+i.

En España se han iniciado en los últimos tres años varios proyectos de evaluación de posibles almacenes de CO<sub>2</sub>. Al no haber grandes yacimientos de gas o de petróleo, la opción más atractiva parecen ser las formaciones salinas profundas, que suelen aparecer en las cuencas sedimentarias. Hay numerosas cuencas sedimentarias candidatas, que deben caracterizarse en detalle antes de iniciar cualquier proyecto de demostración

## **VIII OTROS GASES DE EFECTO INVERNADERO Y OTROS SECTORES NO ENERGÉTICOS**

Las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la transformación y consumo de la energía cubren alrededor del 78,5% de las emisiones totales de España, siendo éste un valor típico de un país industrializado. En un futuro a corto y medio plazo el peso del sector energía en el inventario nacional no va a cambiar de forma radical, lo que implica la necesidad de redoblar los esfuerzos en este ámbito. Ello no significa que las fuentes emisoras de origen no energético no tengan relevancia. A fecha de hoy suponen un 21% de las emisiones totales, un porcentaje muy significativo. Además, no se debe descartar que a largo plazo alcancen un peso aún mayor. Ello ocurrirá si se introducen cambios estructurales en nuestro modelo energético, con una presencia mucho mayor de las tecnologías no emisoras y con la implantación progresiva de la captura y almacenamiento geológico de carbono. Así pues, toda estrategia de lucha contra el cambio climático debe incluir también los sectores no energéticos. Finalmente, tampoco hay que olvidar el papel fundamental que han de desempeñar los sumideros de carbono.

### **VIII.1 Agricultura y ganadería**

El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC considera que las prácticas agrícolas colectivamente pueden suponer contribuciones significativas a bajo coste para aumentar los sumideros de carbono de los suelos, reducir las emisiones de GEI y aportar biomasa para uso energético. El sector agrícola y ganadero debe pues contemplarse desde una triple vertiente: como sector emisor, como sector que ofrece la posibilidad de incrementar los sumideros, y como sector productor de un combustible neutro en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En España, las mejores opciones para mitigar el cambio climático en el sector agrario y ganadero se centran en el ámbito de los suelos agrícolas y en la gestión de estiércoles. Las posibles medidas de reducción de emisiones por fermentación entérica tienen un potencial limitado en nuestra ganadería, por el carácter extensivo de

una alta proporción de las especies rumiantes a los que sería prácticamente imposible aplicar mejores técnicas nutricionales para la reducción de emisiones de metano. En lo que respecta a la producción de biocombustibles, existe un interesante potencial que debe explorarse, pero teniendo presente que el amplio uso de tierras agrícolas para este fin puede competir con otros usos del suelo y puede haber impactos e implicaciones positivos y negativos para la seguridad alimentaria.

En el ámbito de la gestión de estiércoles debe hacerse una referencia al tratamiento de purines excedentarios. El volumen de purines excedentarios en España es de 5.000.000 m<sup>3</sup> y los citados purines podrían ser tratados en instalaciones en las que se incluyan sistemas de nitrificación-desnitrificación para reducir el contenido de nitrógeno de los mismos. Las instalaciones podrían incorporar procesos de digestión anaeróbica con producción de biogás para, de esta forma, beneficiarse de la financiación que supone la prima eléctrica del biogás contemplada en el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo.

Como ya se ha dicho antes, una gran proporción del potencial de mitigación de la agricultura surge del secuestro de carbono de los suelos, que tiene fuertes sinergias con la agricultura sostenible y, generalmente, reduce la vulnerabilidad al cambio climático. Las prácticas más prometedoras para incrementar el carbono orgánico en suelos son, en general, las prácticas ligadas a la agricultura ecológica e integrada, incluyendo el no laboreo o laboreo mínimo, eliminación de barbechos de verano utilizando cubiertas vegetales, cubiertas vegetales en cultivos leñosos, cosechas protectoras en invierno, mejora en el uso del agua, disminución del uso de maquinaria y agroquímicos.

Por otro lado, desde el punto de vista del conocimiento del sector en relación con el cambio climático, existen todavía lagunas importantes que deberían ser exploradas. Es necesaria una mejora de las estimaciones tanto de efecto sumidero como de las emisiones, para lo que se requiere un esfuerzo de síntesis de la información existente en nuestro país como nuevos estudios integrados que permitan validar los factores de emisión/captación aplicando las prácticas de gestión que se recomiendan.

En resumen, el potencial del sector puede ser importante si se toman las medidas adecuadas para cada circunstancia, y se mejora el conocimiento sobre los factores que más pueden influir en los procesos que se quieren potenciar a nivel edáfico.

## **VIII.2 Los sumideros forestales**

Es éste un sector complejo que engloba el sector forestal y otros relacionados con los usos de las tierras y con los cambios en dichos usos. A menudo se identifica este sector con la absorción o fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico en sumideros biológicos; sin embargo, la liberación de carbono a la atmósfera puede ser también muy importante. A lo largo de la historia se han producido transformaciones masivas del paisaje que han llevado a oscilaciones importantes de la cubierta forestal en muchas regiones del globo, en ocasiones resultando en emisiones no despreciables. Por ejemplo, la deforestación, especialmente en los trópicos, representa en la actualidad un 18% de las emisiones mundiales.

Los sumideros de carbono biológicos tienen unas características especiales que deben tenerse en cuenta a la hora de establecer su papel dentro de una estrategia integrada de lucha contra el cambio climático:

- No permanencia: El CO<sub>2</sub> capturado puede en cualquier momento volver a la atmósfera (p. e. incendios forestales).

- Vulnerabilidad al propio cambio climático: Por ejemplo, una sequía puede causar una elevada mortandad de árboles o reducir la producción primaria de un ecosistema.
- Posibilidad de pervertir reducciones permanentes: Dado que el potencial no es despreciable y que se trata de opciones relativamente fáciles de poner en marcha y baratas pueden ser utilizadas en detrimento de opciones tecnológicas más efectivas a medio y largo plazo.
- Saturación: La fijación de CO<sub>2</sub> por los ecosistemas vegetales tiene un límite físico una vez los ecosistemas son maduros o los reservorios como el suelo alcanzan su máxima capacidad de almacenamiento.

Es importante recordar que la mera conservación de las reservas existentes no contribuye a la mitigación, y que su pérdida si puede ser una importante fuente de emisiones (por ejemplo, los incendios forestales, que además de CO<sub>2</sub> también resultan en emisiones de otros GEI). Globalmente, un 65 % del potencial de mitigación del sector se encuentra en los trópicos, siendo el 50% atribuible a cesar las actividades de deforestación con un coste por debajo de 100 dólares la tonelada de CO<sub>2</sub>.

Las actividades de mitigación en este sector deben ir enfocadas a aumentar el sumidero de CO<sub>2</sub> actual, o en su defecto mantenerlo y conservar los reservorios actuales. En lo que a España respecta, las únicas actividades dentro de este sector que se van a computar para determinar el cumplimiento o no del Protocolo de Kioto en el período 2008-2012 son la deforestación, la reforestación, la forestación de tierras agrícolas y la gestión forestal.

En el caso de España es especialmente relevante tener en cuenta que el potencial de sumidero actual de nuestros bosques puede verse mermado por los impactos del cambio climático. Una gestión forestal sostenible debe contemplar aspectos adaptativos.

De cara al futuro, se considera que habría que emprender las siguientes actuaciones:

- Explorar la evolución de la producción neta de nuestras masas forestales, teniendo en cuenta los escenarios climáticos regionales para el futuro y los impactos previstos según estos escenarios.
- Explorar el impacto de cambios de gestión encaminados a incrementar la capacidad adaptativa de los bosques a las futuras condiciones.
- Elaborar recomendaciones en base a los dos puntos anteriores para la gestión forestal en los diferentes ecosistemas forestales representados en nuestro territorio.
- Evaluar el coste de las actividades, priorizar las zonas donde realizar las actividades en base a criterios basados en las múltiples funciones que los ecosistemas forestales desempeñan en nuestro territorio, no solo su capacidad de sumidero.

### **VIII.3 Residuos**

El sector de los residuos contribuye un 3% a las emisiones totales de GEI en España. Las principales fuentes de emisión en este sector son el depósito en vertedero y el tratamiento de aguas residuales, teniendo un peso comparativamente menor la incineración, compostaje, reciclaje, etc.

La evolución de las emisiones en el sector residuos sigue una preocupante tendencia al alza en nuestro país, ello a pesar de las medidas que han sido implantadas en los últimos años para reducir las emisiones: disminución drástica del vertido incontrolado, aumento de la recuperación, puesta en marcha de un número considerable de plantas de compostaje y disminución prácticamente total de la incineración sin aprovechamiento energético. Puede decirse que la razón principal de la evolución de las emisiones está en el incremento de la cantidad de residuos que se generan: ha aumentado la población y ha aumentado la tasa de residuo por habitante.

Las medidas adicionales deberían centrarse en la reducción de la tasa media de residuos por habitante, la recuperación de las emisiones de metano de los vertederos y la reducción de las emisiones de metano en el tratamiento de aguas residuales.

#### **VIII.4 Gases fluorados**

Los gases fluorados (HFC, PFC, SF6) son gases industriales caracterizados por tener unas excelentes propiedades químicas de aislamiento térmico, eléctrico, y baja toxicidad y un elevado potencial de calentamiento global. Estos gases suponen poco más del 1% de las emisiones totales nacionales, y presentan, globalmente, una tendencia a la baja en los últimos años que parece mantenerse en el quinquenio 2008-2012. Por ello, el objetivo principal es mantener la tendencia decreciente actual del sector para conseguir una reducción efectiva de las emisiones de estos gases. A este respecto, sin duda la aplicación de la normativa europea que se ha adoptado recientemente va a desempeñar un papel relevante. Según las aplicaciones, las emisiones de estos gases pueden reducirse al mínimo mediante cambios de los procesos industriales; mejor recuperación, reciclado, y confinamiento; y utilización de compuestos y tecnologías alternativas. Otras medidas que se pueden implantar incluyen la posibilidad de establecer acuerdos voluntarios de reducción de las emisiones.

### **IX CONCLUSIÓN**

La evidencia y el análisis aportado en las páginas precedentes ilustran con claridad que existen muchas políticas e innumerables instrumentos de actuación, a nivel global y a nivel sectorial, que permiten conseguir el cumplimiento de los compromisos asumidos por España en materia de cambio climático, así como abordar con éxito los problemas de adaptación a los efectos generados por el mismo. También ponen de manifiesto la necesidad de contar con todos los agentes económicos (consumidores, empresas, sector público...).

Las interrelaciones existentes entre los distintos sectores y los distintos agentes obliga a llevar a cabo acciones cuyas implicaciones tienen que ser tenidas en cuenta utilizando un contexto de equilibrio general que básicamente implica “que todo afecta a todo”. Las políticas energéticas influyen en el comportamiento de los consumidores y las empresas y, por tanto, en otros sectores económicos, lo mismo que las políticas de uso del suelo, las que influyen en los usos modales del transporte o en las normas sobre edificación, por citar sólo unas pocas de las mencionadas previamente en este documento.

Por último, cabe destacar que la importancia del reto y la necesidad de actuar inmediatamente no debería dejar de lado la necesidad de seguir investigando y analizando las interrelaciones existentes y sus implicaciones, incluida la cuantificación de las implicaciones de las distintas políticas.