

004 ESTUDIOS CAIXA CATALUNYA
ECONOMÍA / DEMOGRAFÍA / SOCIEDAD
ENVEJECIMIENTO / DEPENDENCIA
SANIDAD / VIVIENDA / TRABAJO

Aspectos económicos del cambio climático en España

Javier Martín Vide (Coordinador)
Josep Enric Llebot Rabagliati
Emilio Padilla Rosa
Vicent Alcántara Escolano



CAIXA CATALUNYA

Aspectos económicos del cambio climático en España

Javier Martín Vide (Coordinador)

Josep Enric Llebot Rabagliati

Emilio Padilla Rosa

Vicent Alcántara Escolano

CAIXA CATALUNYA 

Aspectos económicos del cambio climático en España

Edición:

Caixa Catalunya
Plaza Antoni Maura, 6
08003- BARCELONA

Redacción de los textos y elaboración y análisis de datos:

Coordinador: Javier Martín Vide, Catedrático de Geografía Física de la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Barcelona.

Autores de los trabajos: Javier Martín Vide, Catedrático de Geografía Física de la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Barcelona; Josep Enric Llebot, Catedrático de Física de la Materia Condensada de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Barcelona; Emilio Padilla Rosa, Titular de Universidad de Economía Aplicada de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad Autónoma de Barcelona y Vicent Alcántara, Titular de Universidad de Economía Aplicada de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Las opiniones emitidas a lo largo de este estudio son de la exclusiva responsabilidad de los autores. Caixa d'Estalvis de Catalunya no se identifica con ellas necesariamente.

Diseño:

H₂O Comunicació Integral

Fotocomposición e impresión:

Ediciones Gráficas Rey, S.L.

© Caixa d'Estalvis de Catalunya

© Javier Martín Vide

Josep Enric Llebot Rabagliati

Emilio Padilla Rosa

Vicent Alcántara Escolano

Número de registro editorial 1535/76

Barcelona, abril de 2007

ISSN: 1699-2482

Depósito legal: B-22.449-2007

Impreso en papel ecológico TCF

5	Presentación	32	
8	Introducción	32	
10	1. Realidad y prospectiva del cambio climático	33	
10	1.1. Introducción		
11	1.2. El clima	33	
11	1.2.1. ¿Qué es el clima?		
12	1.2.2. ¿Cómo se puede saber que la Tierra se calienta o que llueve más?	35	
14	1.2.3. ¿Qué conclusiones se pueden extraer de los datos existentes?	36	
18	1.3. El caso de España	38	
18	1.3.1. A modo de introducción: el clima actual	39	
21	1.3.2. Análisis de las tendencias climáticas recientes		
23	1.3.3. Tendencias futuras a partir de los modelos climáticos	39	
26	2. El cambio climático y sus impactos sobre las generaciones futuras	42	
26	2.1. Introducción	46	
27	2.1.1. El efecto invernadero y sus causas	52	
28	2.1.2. Las incertidumbres sobre el cambio climático	54	
28	2.2. Impactos del cambio climático sobre la naturaleza y los humanos	56	
29	2.2.1. Agricultura	58	
29	2.2.2. Recursos hídricos	61	
30	2.2.3. Ecosistemas y biodiversidad	62	
30	2.2.4. Salud		
30	2.2.5. Asentamientos humanos, energía e industria.	66	
31	2.2.6. Seguros y otros servicios financieros		
31	2.2.7. Desigualdades en los impactos y la vulnerabilidad frente al cambio climático	69	
		76	
		82	
			2.2.8. Impactos extremos
			2.2.9. Los efectos del cambio climático en España
			2.3. El análisis económico de los impactos del cambio climático y las políticas de mitigación: limitaciones y controversias
			2.3.1. Los modelos clima-economía y sus recomendaciones de política
			2.3.2. El descuento y las generaciones futuras
			2.3.3. El criterio de compensación y las generaciones futuras
			2.3.4. Otros supuestos y juicios de valor contrvertidos de los modelos clima-economía
			2.3.5. El desarrollo sostenible y los derechos de las generaciones futuras en el análisis del cambio climático
			2.3.6. La mitigación del cambio climático
		42	3. Actividad económica y emisiones de CO₂ en España
		42	3.1. Introducción
		46	3.2. Las emisiones de CO ₂ en España desde una perspectiva de largo plazo
		52	3.3. Análisis sectorial
		54	3.3.1. Una perspectiva global del comportamiento sectorial
		56	3.3.2. El papel de los sectores
		58	3.4. El sector transporte y las unidades familiares (residencial)
		61	3.5. A modo de síntesis
		62	3.6. Algunas conclusiones relevantes
		66	Conclusiones
		69	Bibliografía
		76	Anexos
		82	Apéndice metodológico

Presentación

El monográfico *Aspectos económicos del cambio climático en España*, editado por Caixa Catalunya, afronta el imprescindible estudio sobre el cambio climático. Caixa Catalunya, a través de su Servicio de Estudios, en su objetivo de promover el conocimiento económico sobre aspectos de relevancia social, publica este estudio que ilustra distintas visiones del fenómeno del cambio climático. Su contenido es una nueva aportación a las investigaciones existentes sobre esta materia. La idoneidad del asunto tratado es innegable, pues el cambio climático se ha convertido en compañero mediático e institucional en las últimas semanas, en paralelo a las etapas finales de edición del estudio que les presentamos.

¿Puede la economía contribuir al debate sobre el cambio climático? A nuestro juicio, puede y debe hacerlo. En las últimas décadas, expertos de ciencias diversas han venido documentando numerosos hechos relacionados con las causas y los efectos del cambio climático. En los últimos tiempos, los mismos ciudadanos, animados bien por la intranquilidad asociada a los impactos augurados del cambio climático, o bien por el mero deseo de conocer más y mejor este asunto, vienen estimulando el trabajo de los expertos, demandando información más amplia, más sólida y más profunda. En este sentido, el monográfico *Aspectos económicos del cambio climático en España* proporciona algunas respuestas desde el lado de la ciencia económica. No es la economía precisamente, a título individual, quien dispone de los instrumentos suficientes para validar la evidencia física del cambio climático. Las ciencias de la *Phycis*, la física, la geografía, la biología y otras han venido desarrollando mecanismos de constatación de la evidencia del cambio climático. Sin embargo, hasta el punto en el que el cambio sea un cambio inducido por el hombre, claramente el análisis de las causas debe encontrar sus fundamentos en las ciencias sociales.

De ser así, la economía, como pilar de ellas, debe ser capaz de explicar los efectos que su desarrollo, sus estructuras y la interacción de todos los agentes económicos han tenido sobre el medio ambiente. Y la propia economía, en un trabajo sustentado en el esfuerzo mutuo de todo aquel que tenga algo que aportar en cuanto al conocimiento de nuestro sistema productivo y sus procedimientos, debería ser capaz de apuntar a las soluciones que acaben con los efectos perniciosos del cambio climático. A poder ser, antes de que tales efectos perniciosos se sitúen en el nivel de lo irreversible.

El cuarto monográfico de la colección “Estudios de Caixa Catalunya” ha sido elaborado por un equipo compuesto por cuatro expertos: Javier Martín Vide, Josep Enric Llebot, Emilio Padilla y Vicent Alcántara. Los conocimientos específicos de cada uno de los autores proporcionan, en su unión, un conocimiento global acerca del problema del cambio climático, y sin duda componen un trabajo enormemente esclarecedor y completo sobre este aspecto, que nuestra Institución reconoce y agradece. Los dos primeros capítulos asientan las bases conceptuales de los términos asociados con el clima y con el cambio climático, en un primer momento, para, a continuación, constatar la evidencia estadística de cambio climático a nivel global y unificar el consenso acerca de sus potenciales efectos en el futuro. En este sentido, se sintetizan los trazos generales que habrían de caracterizar nuestro medio ambiente y nuestras vidas, si en el medio plazo se incrementa el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero. El último capítulo afronta la explicación del cambio climático en base a la actividad económica en general, y a la especialización sectorial en segundo lugar. La llamada de atención que ese capítulo representa va mucho más allá de perturbar la conciencia medioambiental individual, poniendo énfasis en que el respeto a nuestro entorno

Presentación

falta desde el punto de vista de la base de nuestro sistema económico. Ahí surge una contradicción evidente entre progreso económico y sistema insostenible que debe ser muy atendida. Por los ciudadanos, por las instituciones, por el sistema y por los responsables.

A todos ellos se dirige este estudio. El tema tratado es de una cercanía absoluta para todos, y de una relevancia urgente, si cabe decir. Es necesario, por tanto, aumentar las investigaciones y los análisis como este, profundo, compuesto, riguroso, para identificar las causas verdaderas del cambio climático. Es necesario, también, afrontar el debate sobre el consumo energético, sobre nuestro sistema productivo y los *inputs* energéticos alternativos no agresivos con el medio ambiente que necesita, y sobre los mecanismos idóneos para la mitigación, control y cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones. El conocimiento científico inde-

pendiente permitirá alejarse lo más posible de estrategias, parciales, interesadas en mantener el debate en el ámbito de la confusión y de la inacción. El esfuerzo de los agentes del sistema económico debe alinearse con las necesidades del sistema natural del que somos parte, o más aún, al que pertenecemos. Caixa Catalunya ha considerado oportuno, ahora más que nunca, aportar su contribución al debate acerca de las causas y los efectos del cambio climático, con el objetivo de que una vez correctamente valorados sus impactos, la reflexión pueda llevarnos, junto con el desarrollo mismo de las ciencias y de nuestra sociedad, a tomar las medidas necesarias que aseguren la continuidad del sistema natural y del sistema económico, en un ambiente que sea respetuoso, próspero y beneficioso para todos.

CAIXA CATALUNYA
Abril de 2007

Introducción

Hace tan sólo 30 años, a mediados de la década de los 70 del siglo pasado, buena parte de los climatólogos, preguntados sobre la evolución del clima del planeta, respondían bien asumiendo su estabilidad, bien, con horizontes más lejanos, anunciando una próxima glaciación, que en pocos miles de años debía llegar, porque, al fin y al cabo, estábamos viviendo un periodo interglacial, tras el último pulso glacial de hace poco más de 10.000 años. Ningún atisbo de calentamiento, pues, en el horizonte inmediato o lejano. En todo caso, pocas preocupaciones por una afección humana en el sistema climático. Pero a partir de ese momento -hace tres décadas- la temperatura del aire en superficie comenzó a experimentar un aumento claro en gran parte del planeta, aunque, en un principio, explicable por la propia variabilidad del clima. En este punto hay que insistir en que todas las variables climáticas (temperatura, precipitación, presión atmosférica, etc.) muestran siempre una notable variabilidad temporal, que se denomina natural. Así, a cualquier escala de tiempo que se considere, sean minutos, días, meses, años, siglos, milenios, etc., la temperatura y las restantes variables están continuamente fluctuando, sin que por ello pueda, en absoluto, hablarse de cambio climático.

Sin embargo, el calentamiento inicial persistió, batiéndose repetidamente el récord del año más cálido a nivel planetario, al menos desde que existen registros instrumentales largos y fiables, a partir de mediados del siglo XIX. La concentración de años récord por su elevada temperatura media empezó a resultar tan anómala o, dicho de otro modo, tan difícil de explicar mediante la variabilidad natural, que comenzó a gestarse la hipótesis -sólo hipótesis, en un principio- de un efecto humano o antrópico en el clima. Científicamente, se recurrió a un concepto nuevo, el de la variabilidad antrópica o inducida, que, superpuesta a la de siempre, la natural, empezaba a alterar el clima del planeta,

en concreto, hacia un calentamiento. Y había razones para suponer ello, porque el calentamiento global podía ser, ante todo, la expresión directa del aumento en la atmósfera planetaria de los llamados gases de efecto invernadero, principalmente el CO₂, bien constatada instrumentalmente desde mediados del siglo XX, fruto, sobre todo, de la ingente quema de los combustibles fósiles, esto es, carbón, petróleo y gas natural.

Los registros climáticos, de fuentes diversas, desde las estaciones meteorológicas en superficie a los satélites, y numerosas observaciones y fenómenos oceanográficos, biológicos, glaciológicos, etc. en los últimos tres lustros suponen un conjunto tan amplio y variado de evidencias y argumentos del calentamiento de la superficie terrestre que éste es asumido incluso por los más reacios y escépticos ante el cambio climático. Todos -si se quiere- fuimos escépticos en un principio sobre la realidad de un cambio climático actual, pero hoy en día las evidencias permiten considerarlo como cierto. Asunto diferente, y muy importante, es la atribución de causas, es decir, si se trata de un cambio o anomalía climática natural o es de origen humano. El perfeccionamiento de los modelos climáticos, la herramienta más poderosa para la comprensión del sistema climático y su evolución, ha dado en los últimos años la prueba definitiva para la mayor parte de la comunidad internacional de climatólogos sobre la naturaleza nueva, por la novedad de su agente causal, del cambio climático actual. Cuando los modelos climáticos, los mismos que sirven para evaluar el aumento de temperatura que se producirá de aquí a 25 ó 50 años, o en 2100, se usan para predecir las temperaturas registradas en el último siglo, los valores suministrados se ajustan notablemente a los observados hasta la citada década de los años 70 del siglo XX, sin más que contemplar la variabilidad natural, esto es, la causada por las variaciones de la actividad solar y de la volcánica¹. A partir de esa década los

¹ Las variaciones de la actividad solar tienen de inmediato un impacto en el balance energético del planeta, mientras que, tras las grandes erupciones volcánicas, el sombreado que producen los materiales eyectados da lugar a una disminución de la temperatura en superficie.

modelos son incapaces de reproducir bien las temperaturas realmente medidas, que quedan sistemáticamente por encima de las pronosticadas. Sólo cuando en esos modelos introducimos la variabilidad de origen antrópico, es decir, fundamentalmente la derivada de los gases de efecto invernadero y de los aerosoles o partículas contaminantes en suspensión, los resultados de los modelos vuelven a ajustarse a los valores observados. Está clara, pues, la huella humana, o de las actividades que comportan contaminación atmosférica, en el clima a escala global o planetaria.

Los impactos del cambio climático antrópico no se reducen, ni se reducirán, a la esfera ambiental o del sistema natural, donde la elevación del nivel del mar es ya, por ejemplo, una de las consecuencias más inquietantes. Los impactos en la esfera socioeconómica serán, con gran probabilidad, graves y muy llamativos. Cualquier estudio que analice e identifique las causas de, y los sectores económicos mayormente implicados en, las emisiones de gases de efecto invernadero en el caso de España, como en otros países, y que pueda perfilar los efectos del cambio climático en la sociedad y sus actividades económicas ha de tener en sí un gran valor. Y valor añadido en el ámbito de la prevención y la gestión de los riesgos climáticos, que, según todos los modelos, serán inherentes al cambio climático, en la correcta planificación del territorio y de sus usos y hasta en la propia vida individual. Con este objetivo se ha planteado el presente informe, que, tras un primer capítulo (“Realidad y perspectiva del cambio climático”) en que se resumen los conocimientos básicos sobre el cambio climático antrópico en la actualidad, sin dejar de mencionar su evolución futura más probable, tanto a escala global (apartado 1.2), como en lo que concierne a España (apartado 1.3), se aborda aspectos fundamentales de la esfera socioeconómica. En concreto, en

el capítulo 2 (“El cambio climático y sus impactos sobre las generaciones futuras”) se valoran los planteamientos de los análisis económicos sobre el cambio climático, incorporando el reciente informe Stern de 2006, que discrepa de los análisis convencionales. Y en el capítulo 3 (“Actividad económica y emisiones de CO₂ en España”) se analiza ampliamente la evolución de las emisiones del citado gas, el de mayor impacto entre los de efecto invernadero, en nuestro país y se estima la contribución sectorial, donde el transporte y la industria de la construcción en un sentido lato resaltan sobremanera como contribuyentes a la variación de las emisiones en las últimas décadas.

El presente informe pretende aportar alguna luz sobre el complejo entramado de relaciones entre economía y cambio climático, con especial referencia a España. Ciertamente, se trata sólo de una aproximación, pero en la que queda suficientemente probada la afirmación de que el sistema climático cuenta ya desde hace algunas décadas con un nuevo subsistema a añadir a los 5 naturales (atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera y criosfera), cual es el sistema socioeconómico, decisivo ahora y más aún en las próximas décadas en cuanto a los escenarios climáticos. Dependiendo de cuáles sean las políticas económicas, y, en especial, sus exigencias ambientales, así será también el clima del planeta Tierra, y, en particular, de España. Como muestra el presente informe, en nuestro país, y a pesar de los esfuerzos recientes, queda aún mucho por hacer en pos de la sostenibilidad y la buena gobernanza económico-ambiental. En la dirección de este objetivo los autores reconocen gustosamente la iniciativa del encargo y edición del monográfico por parte de Caixa Catalunya.

El coordinador
Abril de 2007

1.

Realidad y prospectiva del cambio climático

1.1. Introducción

Históricamente el estudio de la atmósfera y de los océanos, nuestro entorno interior, junto con el estudio del entorno exterior más inmediato formado por la Luna, el Sol y los planetas han propiciado el impulso para el desarrollo de la ciencia. Desde hace unos cuarenta años el conocimiento sobre el espacio exterior y el entorno interior ha progresado sustancialmente en la medida en que la tecnología ha permitido enviar pequeños laboratorios al espacio que han aportado datos nuevos y diferentes sobre el sistema solar e incluso sobre los orígenes del universo. Además, estos laboratorios suponen una importante herramienta de observación de la Tierra que ha permitido modificar sustancialmente algunas de las concepciones anteriores. No por habituales son menos sorprendentes y maravillosas las imágenes y la información científica que prácticamente en tiempo real nos envían hoy las sondas espaciales y otros ingenios. Cuestiones como, por ejemplo, la evolución del contenido de ozono de la atmósfera antártica es impensable analizarlas hoy sin el concurso de la información satelitaria.

Durante la segunda mitad del siglo XIX algunos científicos se preguntaron qué procesos podían haber producido las glaciaciones, los cambios substanciales del clima que se han dado durante el último millón de años, y entre los debates y discusiones Svante Arrhenius², hace poco más de cien años, formulaba ya las primeras hipótesis sobre el posible calentamiento de la atmósfera debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que las actividades humanas producían sobre la atmósfera. Hoy, en cambio, podemos decir sin ninguna duda que el desarrollo de la sociedad moderna induce impactos y tecnologías que tienen influencia a nivel local y a nivel global sobre el medio ambiente. Hace unos lustros, el clima y la atmósfera eran el decorado impuesto y a veces agresivo que conformaba el espectáculo de la vida. Hoy sabemos que también nosotros somos actores y a veces directores del comportamiento y de la evolución de este decorado que determina nuestra vida como individuos y como especie.

² Svante Arrhenius fue un químico físico sueco, premio Nobel de Química el año 1903, que se interesó por las causas de las glaciaciones. Opinaba Arrhenius que éstas se debían a causas internas al sistema climático y elaboró un modelo de balance de energía para comprobar que era posible. Una vez lo tuvo desarrollado se preguntó qué ocurriría si la concentración de dióxido de carbono aumentara, en vez de disminuir.

1.2. El clima

1.2.1. ¿Qué es el clima?

Intuitivamente la primera palabra que relacionamos con el vocablo clima es la de tiempo meteorológico y, de hecho, en lenguaje coloquial muchas veces los utilizamos como sinónimos. En sentido literal la meteorología es el estudio de los meteoros atmosféricos, es decir, el conocimiento de la física de la atmósfera, de los meteoros que allí se producen y de su comportamiento en el tiempo de forma que se pueda prever su evolución. Los diccionarios definen clima como “el conjunto de condiciones atmosféricas propias de una región, en tanto que afectan la vida animal y vegetal”. La definición, muy general, se refiere por un lado a la afectación de la vida que puede verse influenciada por episodios puntuales y concretos como una erupción volcánica, un temporal o un terremoto o por condiciones ambientales a largo plazo como son las condiciones de habitabilidad de un determinado entorno, que denominaríamos ecosistema. De hecho es este segundo sentido el que se acerca más al concepto de clima entendido como el conjunto de circunstancias ambientales que condicionan la vida.

El clima desde el punto de vista estrictamente técnico es el tiempo medio, es decir, las propiedades estadísticas de la atmósfera y del océano en un periodo temporal largo y en una región geográfica determinada. Por lo tanto, se puede hablar de la climatología de una región, de una comarca, incluso de una ciudad pero no tiene sentido hablar de la climatología de un día ni de un fin de semana. El comportamiento de la atmósfera y de los otros sistemas que caracterizan el clima sigue unas leyes físicas bien conocidas, como las leyes de Newton de la dinámica y las leyes de la termodinámica clásica, que conceptualmente no son muy complejas

aunque en la práctica son complicadas de usar dado el gran número de variables que relacionan. Para determinar el estado de la atmósfera las leyes físicas se escriben en forma de ecuaciones que no tienen una solución analítica constituyendo lo que podríamos denominar las ecuaciones del tiempo meteorológico. La ausencia de soluciones analíticas hace que los meteorólogos usen herramientas de cálculo informáticas que resuelven las ecuaciones del tiempo cada seis horas. Esto permite elaborar la predicción meteorológica ordinaria. Los modelos meteorológicos hacen predicciones para intervalos de 6, 12, 18, 24, ..., 240 horas. Naturalmente, cuanto más largo es el intervalo sobre el que se elabora la predicción más imprecisos son sus resultados. Esta imprecisión se debe a la naturaleza caótica de la atmósfera que mostró, en un artículo pionero, E.N. Lorentz³, cuando constató la influencia de las condiciones iniciales en la evolución del comportamiento de la atmósfera. La imposibilidad de conocer con precisión suficiente el estado de la atmósfera hace, pues, que el límite de la predicción mínimamente fiable sea de unos diez días. La climatología en rigor empieza donde acaba la meteorología, es decir, en periodos de tiempo superiores a la semana, aunque la información climática suele ser mensual, estacional, anual e incluso para periodos mayores.

Otra de las características de la información climática es la regional. A pesar de que hay hábitats de dimensiones muy pequeñas, normalmente las características ambientales alcanzan una región o un país. La media de las variables climáticas se evalúa entonces en el entorno que presenta características y tendencias parecidas u homologables.

Las variables climáticas más comunes son los valores medios de la temperatura, la precipitación, el viento, la presión, la humedad y la nubosidad. La temperatura y la precipitación son los elementos de más interés ya que determinan las especies de plantas y de animales que se desarrollan en

³ E.N. Lorentz: *Deterministic Nonperiodic Flow*, J. Atmos. Sci. 20, 130-141, (1963).

una determinada región. La humedad de la atmósfera determina la formación de las nubes, que a su vez determinan la energía del Sol que llega a la superficie y, en consecuencia, la evaporación y las especies vegetales que viven en ella. El clima es complejo y para poderlo estudiar hay que conocer el funcionamiento conjunto de los cinco subsistemas que lo forman: la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera, la criosfera y la biosfera. Estos sistemas intercambian constantemente materia y energía entre ellos, y el progreso en la comprensión de estos intercambios es lo que permite avanzar en la comprensión y en la elaboración de modelos del clima.

1.2.2 ¿Cómo se puede saber que la Tierra se calienta o que llueve más?

Para tener la certeza de que el clima está cambiando y que este cambio es diferente del pasado más o menos reciente hay que tener medidas de las variables climáticas relevantes (temperatura, precipitación, cobertura nubosa, extensión de la nieve y del hielo, etc.) en diferentes puntos representativos de la superficie terrestre. Esto es relativamente fácil hoy, ya que hay muchas estaciones meteorológicas repartidas por todo el globo terráqueo que miden éstas y otras variables de interés meteorológico y, además, hay satélites que proporcionan también información global sobre algunas de estas variables. No obstante, en el pasado esta situación no era la misma. Los registros instrumentales continuos más antiguos de temperatura son europeos y datan del siglo XVIII⁴. Sin embargo, abarcan una zona pequeña a escala mundial, y un periodo de tiempo demasiado corto para muchos análisis climáticos. Los datos meteorológicos se empiezan a hacer más numerosos desde la mitad del siglo XIX aunque con criterios diversos respecto a la calidad de las medidas. De esta época también se tienen bastantes datos de la temperatura del agua del mar recogidos por barcos.

Por lo tanto, en la práctica no hay medidas directas de las variables climáticas en todo el mundo que estén suficientemente repartidas espacial y temporalmente. ¿Qué se ha hecho frente a esta situación? La imaginación y el trabajo de muchos geólogos, biólogos y, en particular, de climatólogos ha permitido obtener información parcial del pasado climático de la Tierra. A continuación nos referimos a los principales sistemas de los que se dispone para conocer datos sobre la climatología del pasado.

1) MEDIDAS INSTRUMENTALES Los instrumentos modernos son capaces de medir todas las variables de interés climático. Aun así, cuando se interpretan las medidas instrumentales hay que tomar algunas precauciones, teniendo en cuenta las condiciones en que se han instalado las garitas meteorológicas y el efecto isla de calor, dado que algunos observatorios meteorológicos que se situaban en lugares representativos en el entorno de concentraciones urbanas, con el crecimiento de las ciudades, han quedado engullidos por la ciudad. La estructura de las calles y del tráfico de las ciudades hace que la temperatura sea un poco más alta que la de las zonas no urbanizadas y esto hay que tenerlo en cuenta al analizar las series, ya que de no hacerlo se pueden realizar interpretaciones erróneas.

Las medidas instrumentales de la precipitación tienen una antigüedad semejante a las de temperatura. Los dispositivos de medida también tienen características que hacen que tengan que analizarse con cuidado los datos para otorgarles la representatividad adecuada. En este caso, por ejemplo, es importante saber si el pluviómetro está en un lugar donde se dan corrientes de aire fuertes, ya que entonces sus medidas pueden estar infravaloradas. En cualquier caso, el principal problema es que el número de estaciones que miden la precipitación debe ser mayor que el de estaciones que miden la tem-

⁴ Hay doce ciudades en Europa que disponen de series de temperatura y presión atmosférica. En Barcelona, por ejemplo, Francisco Salvà i Campillo, médico, comenzó el año 1780 a registrar tres veces diarias la presión atmosférica y la temperatura. En Madrid otro médico comenzó a elaborar un registro parecido seis años más tarde. Ver J. Martín Vide "El tiempo y el clima" *Rubés ed.*, Barcelona, (2002).

peratura ya que la lluvia es un meteoro mucho más variable y es dependiente de los patrones meteorológicos de cada zona.

Otro conjunto de medidas instrumentales es el que proporcionan los satélites. Desde el comienzo de los años 60 ha habido ingenios espaciales que han medido propiedades del estado de la atmósfera terrestre. Los primeros satélites apenas proporcionaban información sobre la cobertura nubosa de la superficie terrestre y de la temperatura de la superficie y de las nubes. A finales de los años 70 se dispuso de información referente a la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre y por las nubes, con lo cual se dispuso de una medida de la temperatura superficial y de algunas capas de la atmósfera. El desarrollo de los sensores de microondas permitió ver a través de las nubes y medir la extensión de zonas cubiertas por nieve y hielo. Los registros instrumentales de los satélites presentan dos problemas: en primer lugar, cubren un intervalo de tiempo corto para los análisis climatológicos y, en segundo lugar, las medidas de la temperatura no son completamente comparables de forma directa con las medidas registradas en la superficie por termómetros o termistores. Las ventajas, en cambio, son la amplia cobertura de las medidas de variables que son muy difíciles de ver desde la superficie, como por ejemplo, la extensión de la superficie cubierta por hielo o nieve. Otro gran progreso aportado por los sensores de microondas de los satélites hace referencia a la observación de la precipitación sobre los océanos. Por razones obvias, sin los recursos de estos instrumentos se tenía tradicionalmente una información muy escasa de la precipitación sobre el mar, que supone el 70% de la superficie terrestre. Otro aspecto, controvertido, que el recurso a la información procedente de los satélites ha proporcionado es datos sobre la cobertura nubosa de la atmósfera. Aparentemente éste es un parámetro de cálculo relativamente fácil pero que queda tiznado por el diferente rendimiento

de los instrumentos a medida que van envejeciendo y por el hecho de que, desde el punto de vista del clima, conviene discriminar entre diferentes tipos de nubes por tener cada uno de ellos unas propiedades radiativas diferentes. Por ahora, los satélites no proporcionan un diagnóstico definitivo respecto a cómo ha evolucionado la cobertura nubosa del planeta durante los últimos cuarenta años del siglo XX.

II) *REGISTROS HISTÓRICOS* Cuando no hay registros instrumentales se intenta averiguar información sobre el clima en un determinado lugar a partir de diferentes registros históricos. En Europa se ha conseguido extraer un registro sobre los periodos de sequía y de inundaciones a partir de los documentos históricos desde el siglo XV que daban constancia de las rogativas *pro pluviam* que se daban en las iglesias por encargo de los gremios agrícolas⁵.

Otros registros históricos aluden al establecimiento de relaciones entre el precio del trigo en los mercados de cereales⁶ pero la dificultad en la información de este tipo de datos es que están relacionados únicamente con las condiciones climáticas de medio año. Otra referencia documental muy interesante es la que hace referencia a la fecha del inicio de la vendimia. Se dispone de registros franceses de las fechas de la vendimia desde 1484. La virtud de este registro es que tiene una parte que se duplica con medidas instrumentales, aunque sea de estaciones lejanas. En cualquier caso esto permite, aunque sea con muchas cautelas, extender el registro instrumental hacia el pasado en una región determinada.

III) *MEDIDAS PROXY* Si no hay registros instrumentales y documentos históricos a partir de los cuales se pueda extraer información sobre el clima o el estado de la atmósfera, hay que recurrir a los datos indirectos, las denominadas medidas *proxy*. Una de las características de estos datos es que pocas

⁵ M. Barriendos, "Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): An analysis of data from rogation ceremonies" *Holocene*, 7,105-111, (1997).

⁶ Sir William Herschel intuyó que cuando el Sol tenía su máxima actividad se apreciaba en su superficie el máximo número de manchas solares. Esto le hizo plantearse que, en consecuencia, la temperatura sería mayor y, por lo tanto, la cosecha de trigo sería más abundante lo cual produciría el descenso del precio del trigo en el mercado de Londres.

veces ofrecen una medida directa de una variable meteorológica ni de un año completo y además la información climática que se obtiene de ellos suele corresponder a la integración de diferentes variables climáticas, habitualmente la temperatura y la pluviosidad. A continuación comentamos los usados más frecuentemente:

- *Anillos de crecimiento de los árboles:* La respuesta de los árboles a las condiciones climáticas se registra en sus anillos de crecimiento. La anchura de los anillos proporciona una forma de saber la edad del árbol y de la climatología en que éste ha vivido. El reto para los expertos es saber extraer de la anchura de los anillos las condiciones de temperatura, pluviosidad y humedad del suelo en el que ha vivido el árbol.
- *Catas de hielo:* La nieve que cae y se deposita en las capas de hielo de la Antártida y de Groenlandia, o en los glaciares de las montañas más altas del mundo, contiene una valiosa información sobre las condiciones ambientales del momento de la precipitación. Si esta nieve no se funde en verano, a medida que se va acumulando y con el paso de los años, se va comprimiendo y formando hielo, que conserva la información ambiental del momento de la precipitación. Cuando se extrae una cata de hielo se obtiene un registro que incluye información sobre los cambios de la temperatura, la cantidad de nieve que cayó cada año, el polvo transportado de otras latitudes y vestigios de erupciones volcánicas. Toda esta información, además, está dotada de una cronología basada en la secuencia de capas. Por otro lado, las burbujas de aire atrapadas en el hielo contienen información también muy valiosa y directa de la composición del aire. El problema de estos registros es que están limitados a determinados yacimientos donde la acumulación de capa tras capa ha sido regular y es identificable.
- *Sedimentos del océano:* El análisis de los sedimentos del océano proporciona una información también muy valiosa ya que éstos están formados por los cuerpos de los caparazones fósiles de especies foraminíferas⁷ pelágicas y bentónicas. Los restos de estos organismos proporcionan información sobre las condiciones en que estos organismos vivieron tanto en la superficie como en el fondo de los océanos, a partir del análisis de la proporción de los isótopos de ¹⁸O – ¹⁶O de algunos componentes de sus conchas. El hecho de que estos registros puedan extraerse en la mayoría de cuencas oceánicas significa que es posible reconstruir una especie de fotografía de los cambios globales ambientales del globo.
- *Polen:* Si los sedimentos se han formado en un lago en lugar de en una cuenca oceánica, la presencia y la proporción de granos de polen en los sedimentos proporciona información sobre la composición de las especies vegetales que formaban los ecosistemas terrestres próximos al lago.
- *Perforaciones en la roca:* Las perforaciones en la roca en zonas especialmente adecuadas proporcionan una forma directa de medir la temperatura durante periodos pasados. La idea es hacer un agujero hasta profundidades de un kilómetro o superiores y hacer un estudio a partir de admitir que la distribución de la temperatura con la profundidad también depende de la temperatura que había en la superficie.

1.2.3 ¿Qué conclusiones se pueden extraer de los datos existentes?

A continuación hacemos una relación de los indicios directos en la atmósfera y el mar que sustentan la idea que

⁷ Los foraminíferos son protistas, que forman el orden con esta denominación (con cinco subórdenes y unas 40.000 especies) y que poseen una concha quitinosa o calcárea. Pueden ser uniloculares, biloculares o pluriloculares y suelen presentar un dimorfismo importante que se muestra en la forma de la concha. En general son organismos marinos de dimensiones que van de las décimas de milímetro a algunos centímetros. Están muy presentes en los sedimentos y son buenos fósiles estratigráficos que se extienden desde el Cámbrico hasta la actualidad.

estamos en un proceso de calentamiento de la atmósfera y, por consiguiente, de un cambio del clima.

- *La concentración atmosférica de los gases con efecto de invernadero aumenta.* En la atmósfera hay muchos gases con efecto de invernadero, pero no todos inciden de la misma forma en el calentamiento de la atmósfera debido a que tienen concentraciones distintas y tienen una capacidad diferente de absorber la radiación terrestre. De todos estos gases el protocolo de Kyoto considera seis: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el hexafluoruro de azufre (SF_6), los compuestos perfluorinados (PFC) y los hidrofluorcarburos (HFC). Aunque el vapor de agua es el gas que absorbe la radiación terrestre con mayor efectividad, cuando se trata de la cuestión del calentamiento de la atmósfera debido a la actividad humana no se incluye este gas en los balances ya que apreciablemente su concentración varía con la temperatura pero no por causa directa atribuible a las actividades humanas. Otro gas con efecto invernadero es el ozono. Hay que distinguir entre el ozono estratosférico y el ozono en la troposfera. El primero se ve afectado por la presencia de compuestos de cloro en la estratosfera y, en promedio, ha disminuido durante los últimos veinte años, mientras que el ozono en la troposfera se forma a consecuencia de las emisiones de óxidos de nitrógeno emitidos por las actividades humanas y absorbe radiación terrestre. Aunque la concentración de cada uno de los gases con efecto invernadero es distinta, se suele convertir su efecto global sobre la energía de la atmósfera a la concentración equivalente de dióxido de carbono⁸. En general las emisiones de los gases y de los aerosoles a la atmósfera crecen relacionadas con la evolución de la economía.

La bonanza económica y el desarrollo económico mismo tradicionalmente comportan tasas de emisiones grandes y, en cambio, las crisis económicas se caracterizan por menos emisiones. La concentración atmosférica de dióxido de carbono aumenta año tras año, modulando su aumento con los ciclos estacionales. Esta tendencia es común para la mayoría de gases con efecto invernadero, los cuales actualmente tienen concentraciones en la atmósfera mucho mayores que las que tuvieron en periodos preindustriales⁹. Si se hacen balances precisos persisten todavía incertidumbres sobre a dónde va a parar todo el CO_2 emitido a la atmósfera, ya que la concentración atmosférica del gas que se mide es aproximadamente la mitad de la que aparentemente se ha emitido. No obstante los mayores sumideros del dióxido de carbono atmosférico son los océanos y la biosfera. Se observa, también, que el ritmo de crecimiento de las emisiones varía, a consecuencia de la transformación de los sistemas de producción de energía eléctrica, con el paso del uso de carbón al de otros combustibles fósiles con menos emisiones de carbono, a las transformaciones de determinadas prácticas agrícolas, ganaderas e industriales, y a la actividad económica creciente de países en vías de desarrollo con altas tasas de crecimiento. (Figura 1)

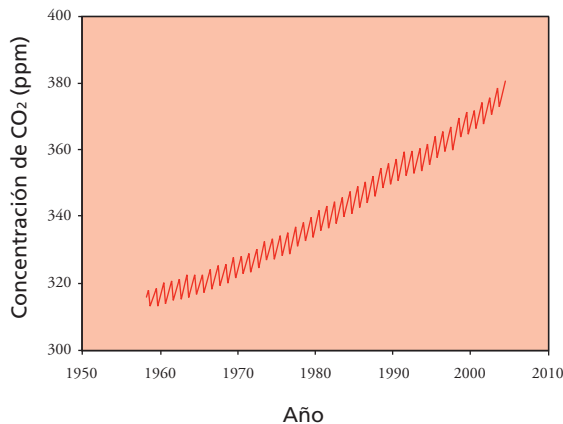
- *Durante el siglo XX la temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado.* Para poder afirmar que el clima está cambiando a partir de medidas instrumentales, hay que recurrir al estudio de los datos de la red de estaciones que miden la temperatura terrestre. El registro instrumental de la temperatura en estaciones terrestres y en barcos lleva a concluir que la temperatura superficial global del aire se ha calentado entre 0,4 y 0,8 grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) durante el siglo XX¹⁰. La tendencia al

⁸ Cantidad de CO_2 que produciría el mismo nivel de forzamiento radiativo que una determinada cantidad de un gas de efecto invernadero. Es una medida que se utiliza para comparar las emisiones de distintos gases de efecto invernadero en base a su potencial de calentamiento global.

⁹ En el caso de los PFC y HFC, esta afirmación no tiene sentido ya que la primera síntesis de un gas de este tipo se produjo en 1928 y la mayoría se han desarrollado y se han utilizado durante la segunda mitad del siglo XX.

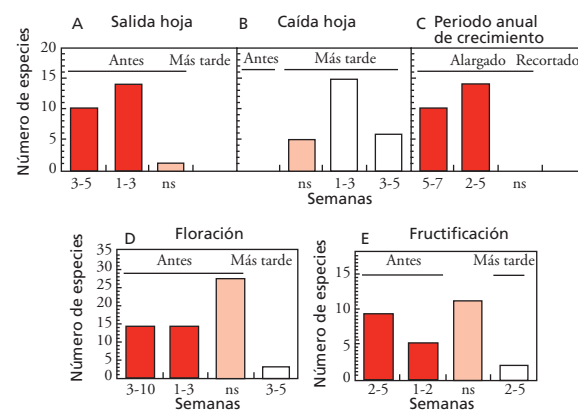
¹⁰ En el contexto de los dos últimos milenios, puede decirse que las temperaturas globales de los dos últimos decenios del siglo XX han sido las más altas de los últimos mil trescientos años. Aunque se ha llegado a proponer que las temperaturas han sido las más altas de los dos últimos milenios, la precariedad de los datos de que se dispone hace que esta última hipótesis no se pueda afirmar con rotundidad. ("Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years" National Academy of Sciences, 2006, (<http://www.nap.edu/catalog/11676.html>))

Figura 1. Concentración atmosférica de CO₂ medida en el observatorio de Mauna Loa (Hawaii). Fuente: Elaboración propia a partir de C.D. Keeling, T.P. Whorf y the Carbon Dioxide Research Group, Scripps Institution of Oceanography (SIO), University of California, La Jolla, California, USA.



calentamiento es general en todo el planeta y es consistente con el retroceso de los glaciares, la reducción de la superficie de nieve y el ritmo más acelerado de ascenso del nivel del mar durante el siglo XX comparado con el de los últimos mil años. Se han observado y se han documentado fenómenos derivados del calentamiento que, al corresponder a sistemas biológicos, suponen una integración de los cambios de diferentes variables climáticas, como por ejemplo el alargamiento del periodo de crecimiento de algunas especies vegetales, el adelantamiento de la floración y el retraso de la caída de las hojas, el desplazamiento hacia el norte de algunas especies de mariposas y el desplazamiento de algunas especies de árboles hacia zonas de mayor altura y el avance en la llegada de algunas especies migratorias. También se puede afirmar que la capa superficial del océano (desde la superficie hasta 700 metros de profundidad) se ha calentado unos 0,10°C durante el período 1963-2003, como constata el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático en el cuarto informe¹¹. (Figura 2)

Figura 2. Cambios fenológicos observados en Cardedeu (Barcelona) durante el periodo 1952-2000. Fuente: Josep Peñuelas, Iolanda Filella, Santi Sabaté y Carles Gracia en Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, J.E.Llebot (ed), CADS 2005.



• ¿Ha cambiado la pluviosidad? Se ha observado una tendencia de aumento de la precipitación sobre las zonas continentales de un 1% durante el siglo XX, aunque desde 1980 hasta finales de siglo se produjo una estabilización e incluso una pequeña disminución. La precipitación ha aumentado sobre las áreas continentales especialmente en el hemisferio norte y en latitudes altas durante el otoño y el invierno, de forma consistente con el aumento de la temperatura. La medida de la precipitación realizada mediante estaciones convencionales presentaba problemas de coherencia pero las mejoras progresivas de la instrumentación han constatado crecimientos sistemáticos y progresivos de la precipitación particularmente en las zonas donde acostumbra a ser en forma de nieve. Parece claro el aumento de la precipitación en las latitudes altas y la disminución en la zona norte de los trópicos en África. En los territorios de la antigua Unión Soviética se constata un aumento de la precipitación de un 10% durante un siglo aproximadamente. El incremento ha sido superior durante el

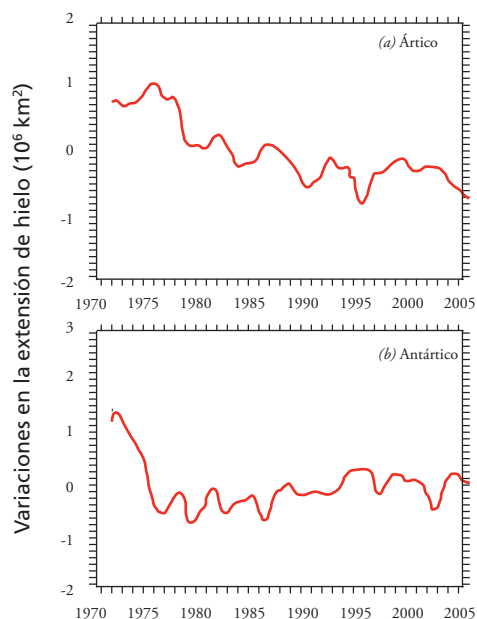
¹¹ IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Cambridge University Press (2007).

invierno que durante el verano. Asimismo, los aumentos de la precipitación más grandes se atribuyen a la primera mitad del siglo XX con una tendencia de una muy ligera disminución desde 1950. En contraste, en América del Norte el aumento más importante de precipitación se da desde la segunda mitad del siglo XX, tanto en el Canadá como en los Estados Unidos, con una magnitud global del 5%. Las regiones del oeste del continente son las zonas donde el aumento ha sido menos importante. En Europa, los cambios en la precipitación muestran una clara dependencia con la latitud. En las regiones situadas más al norte, por encima del paralelo 50°Norte, hay incrementos en la precipitación, mientras que en la zona central no se observa una tendencia clara y en los países mediterráneos se observa una pequeña disminución aunque modulada por un aumento de la irregularidad que puede inducir incluso un aumento estacional durante el otoño. Sin embargo, la medida de los cambios de la precipitación en los océanos es difícil. De hecho las medidas fiables se limitan a las estaciones meteorológicas situadas en islas y pequeños islotes. Las observaciones realizadas mediante satélites proporcionan una cobertura continua pero en cambio son demasiado recientes (desde 1979) para poder tener una estadística que permita extraer conclusiones. Los análisis actuales de la precipitación en los océanos, por lo tanto, se basan en datos indirectos como la cobertura nubosa y los perfiles de la temperatura. En estas condiciones parece que hay bastantes evidencias que sugieren un aumento de la precipitación sobre el Pacífico central, especialmente en la zona ecuatorial, que se ha corroborado recientemente⁹ con la constatación de una disminución de la sali-

dad. Este aumento disminuye a medida que se estudian regiones más al norte o más al sur del ecuador. Sin embargo hay que hacer notar también que al régimen de lluvias lo afecta de forma influyente los episodios de el Niño.

- *¿Cómo varía la extensión de nieve y hielo?* No existe una estadística muy completa sobre la extensión de nieve y de hielo. Se tienen unos 25 años de medidas sistemáticas con satélites que indican que, desde hace unos diez años, la extensión de nieve y hielo en el hemisferio norte es inferior a la de la media de los años 1974-1994. Esta disminución se hace especialmente relevante durante la primavera, y en menor grado, durante el verano y el otoño. La extensión de nieve

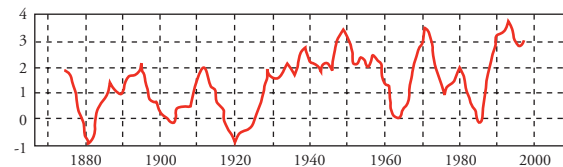
Figura 3: Variación de la extensión de hielo durante los últimos 25 años. Fuente: World Meteorological Organization nº 998, 2006.



durante el invierno parece no experimentar ningún cambio apreciable aunque la disminución anual media se sitúa alrededor del 10% y no se observa una dependencia muy acentuada con la situación geográfica. La disminución del albedo (la fracción de la radiación solar que incide en una superficie y que ésta refleja hacia el espacio) terrestre durante la primavera debido a la menor extensión de nieve da cuenta de un 50% del calentamiento de la atmósfera en latitudes altas y medias del hemisferio norte. Por lo que respecta a los estudios de la profundidad media de la nieve, la información aún es muy precaria. Esperando a poder disponer de un registro continuo obtenido mediante algún tipo de medida automatizada, se hace uso de datos de estaciones de la antigua Unión Soviética que muestran que los espesores de la nieve han disminuido un 15% desde comienzos del siglo XX. En algunos sectores de Asia este descenso se ha detenido y desde el año 1960 ha empezado a crecer otra vez. Sin embargo parece que la tendencia general en todo el globo es el establecimiento de un descenso regular del espesor de hielo.

- *¿Cómo ha variado el nivel del mar?* Durante el pasado geológico de la Tierra se han producido numerosos cambios en el nivel del mar. Los datos geológicos y arqueológicos muestran que la altura del nivel del mar global desde el año 0 no ha variado más que una treintena de centímetros. A escala histórica más reciente, la identificación del nivel del mar a partir del registro de las mareas está afectado por los movimientos de los continentes, resultado del continuo reajuste de la corteza terrestre y la consecuente variación del volumen de las cuencas oceánicas. Cuando se tiene en cuenta este reajuste resulta un ascenso del

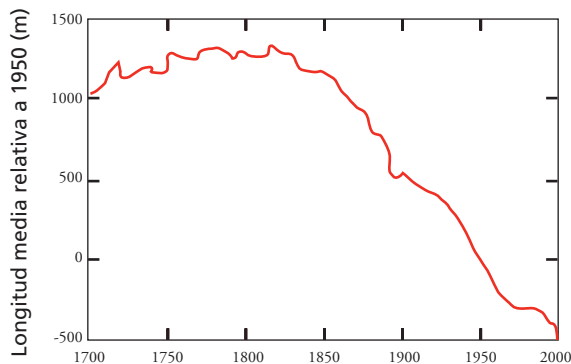
Figura 4: Tasa de variación del nivel del mar en mm./año. Fuente: Church, J.A. y N.J. White, A 20th century acceleration in global sea-level rise, Geophysical Research Letters 33(L01602), doi10.1029/2005GL024826.



nivel del mar entre 10 y 25 centímetros (cm.) durante los últimos cien años. Este ascenso supone una aceleración de los cambios del nivel del mar respecto periodos anteriores, que podría haberse iniciado poco antes de 1850.

- *¿Ha cambiado la extensión de los glaciares?* En todo el planeta los glaciares disminuyen de extensión lo cual se interpreta como un signo inequívoco del calentamiento de la atmósfera del planeta ya que, con la excepción de algunos glaciares situados en el círculo polar Ártico, especialmente en Noruega, con una dinámica local de precipitaciones y de temperatura singular, la evolución del resto de los glaciares del mundo responde a un balance entre la nieve caída en invierno y la duración de la estación estival que hace fundir los hielos. En un glaciar típico situado en latitudes medias, el papel de la temperatura suele ser más importante que el de la precipitación en invierno. Esto es así porque un poco de calor extra en verano es una manera muy eficiente de disminuir la cantidad de hielo. Así un aumento de 1 °C en la temperatura media del verano aplicada uniformemente a todo un glaciar es suficiente para fundir un metro vertical de hielo por año. Un glaciar típico de latitudes medias recibe del orden de un metro de hielo por año (unos tres metros de nieve). Por lo tanto, el aumento de un grado en un año en la temperatura media durante el periodo estival equivale a todo un año sin nevadas, o

Figura 5: Evolución de la extensión de los glaciares referida al año 1950. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Glacier Monitoring.



dicho de otra forma, cada grado de aumento de la temperatura media durante el verano comporta que para mantener la cantidad de hielo sobre el glaciar deben precipitar tres metros de nieve adicionales durante el invierno.

1.3. El caso de España

1.3.1. A modo de introducción: el clima actual

España es un país muy diverso desde un punto de vista natural, esto es, atendiendo al clima, al relieve, a la vegetación, al paisaje, etc.. Sus poco más de medio millón de kilómetros cuadrados acogen una variedad climática muy notable. Ello es debido, en primer lugar, a su situación geográfica general, a caballo entre las zonas templada y húmeda, al norte, y subtropical (mediterránea), al sur, y a su posición en el extremo suroccidental de Europa, frente a África, pinzada por el Atlántico y el Mediterráneo. Además, la compleja orografía del solar ibérico y de los archipiélagos canario y balear añade una infinidad de matices climáticos.

Gran parte de España es, climáticamente y bajo otras perspectivas, mediterránea. En efecto, si se exceptúa la franja más septentrional de la Península Ibérica, desde Galicia al Pirineo navarro, y las Canarias, el resto del territorio puede adscribirse al clima mediterráneo, que es, técnicamente, un clima subtropical de fachada occidental (de Eurasia), caracterizado por veranos secos y calurosos e inviernos suaves y moderadamente lluviosos. La franja más norteña ibérica posee un clima marítimo de latitudes medias, mientras que Canarias forma parte de un ámbito subtropical muy próximo al trópico. Aun siendo buena parte de España mediterránea, hay regiones con fuertes matices de continentalidad, otros con una acusada aridez, que recuerda áreas semidesérticas, etc.. Es decir, cualquier enfoque sobre el clima de España ha de utilizar siempre el plural –los climas– para reflejar la gran variedad climática del territorio (Martín Vide y Olcina, 2001; Capel Molina, 2000). (Cuadro 1)

De un modo sintético, para reflejar la variada realidad climática actual de España puede aludirse a las diferencias espaciales de los valores térmicos medios anuales, que superan los 18 °C en el territorio peninsular, desde valores negativos en las altas cumbres hasta cerca del citado número en la costa surmediterránea o en el valle medio-bajo del Guadalquivir; y al rango de precipitación media anual, que abarca desde apenas 150 mm., en el cabo de Gata, a más de 2.500 mm. en los sectores más lluviosos de Galicia y del Pirineo navarro.

A ello hay que añadir la elevada variabilidad climática interanual y la notable amplitud de valores diarios extremos. Así, por ejemplo, la variabilidad pluviométrica alcanza coeficientes superiores al 20%, y hasta el 40%, en las regiones mediterráneas y el archipiélago canario, lo que supone años notablemente contrastados. Las secuencias de días consecutivos sin lluvia llegan a rebasar los 4 meses en la mitad meridional. Por otra parte, los valores térmicos diarios extremos

Cuadro 1: Regionalización Climática de España. Fuente: Martín Vide y Olcina (2001).

Tipo	Subtipos	Variedad	P (mm.)	Reg.pluv.est	T (°C)	DT (°C)	Otras caráct.
OCEÁNICO	ATLÁNTICO	Gallego	1000-2500	Máx. invernal y mín. estival	11-15	8,5-12	Abundante Nubosidad y Elevada Humedad Ambiental
		Asturiano y cántabro	900-1500		12-14	10-11	
	Vasco litoral	1100-2000		12-14	10-12		
	DE MONTAÑA	-	1000-2500	-	<12	-	
MEDITERRÁNEO	SUBMEDI-TERRÁNEO	-	700-900		11-14	14,5-16	-
	CONTINENTAL	Meseta Norte	350-550	Máx. invernal o primaveral y mín. estival	10-12,5	16-18	Heladas frec.en inv.
		Meseta Sur	350-550		12-15	18-20,5	Temp.máx Estiv.altas
	DE FACHADA ORIENTAL	Valle del Ebro	300-550	Máximos Equinocciales	13-15	18-20	Viento NW seco
		Catalán	550-750	Máx. otoñal y mín. estival	14-17	14-17	Precipitac. Torrenciales en otoño
		Valenciano	400-850		15,5-17,5	13,5-16,5	
	MERIDIONAL	Balear	400-800		16-18	13,5-15,5	
		Litoral	400-750	Máx. invernal y mín. estival	17-18,5	10-13,5	Heladas excepcion.
		Valle del Guadalquivir	550-650		17-18,5	15-18,5	Temp.máx.estiv. muy altas
	ÁRIDO O DEL SURESTE	Extremeño	450-600		16-16,5	16,5-18	Temp.máx.estiv altas
-		150-350	Mín. estival	14,5-18,5	13,5-17,5	Extrema aridez	
DE MONTAÑA	-	600-2000	-	<14	-	-	
SUBTROP./ TROPICAL (canario)	LITORAL	-	75-350	Máx. Invernal y mín. estival	18-21	5-7,5	Alisios en N y extrema aridez en S
	DE MAR DE NUBES	-	500-1000		13-16	6-8	Elevada humedad ambiental
	DE ALTURA	-	450-700		<12	12-14	Aire muy seco

P, precipitación media anual (milímetros, mm.); Reg.pluv.est., régimen pluviométrico estacional; T, temperatura media anual (°C); DT, amplitud térmica media anual (°C).

posibles abarcan un intervalo de -40°C a $+50^{\circ}\text{C}$, y los máximos de precipitación diaria llegan a superar los 500 mm. (Martín Vide y Olcina, 2001).

En cuanto a la estacionalidad climática, baste decir, para remarcar la diversidad del territorio, que de los 24 regímenes pluviométricos estacionales¹² posibles, en España apa-

¹² Por régimen pluviométrico estacional se entiende la ordenación decreciente de las cantidades medias estacionales de precipitación. Por ejemplo, un régimen OPIV es el que tiene, en promedio, el otoño (O) como la estación más lluviosa, seguido por la primavera (P) y el invierno (I), siendo la más seca el verano (V).

recen representados nada menos que 13, con cualquiera de las estaciones, incluyendo el verano, como la más lluviosa.

En conclusión, si compleja es la realidad climática actual, no será de entrada fácil prever el futuro climático, o, al menos, discernir con acierto los matices territoriales que comportará el cambio climático.

1.3.2. Análisis de las tendencias climáticas recientes

Los estudios cada vez más numerosos y en especial los dos amplios -tanto por su amplitud temática como por el número de investigadores implicados- informes oficiales sobre el cambio climático en el ámbito español, uno para España (Moreno, 2005) y otro para Cataluña (Llebot, 2005), confirman evidencias claras sobre el cambio climático en la Península Ibérica y sus archipiélagos, al tiempo que revelan algunas incertidumbres. Por una parte, el aumento, estadísticamente significativo, de la temperatura en España desde hace un cuarto de siglo o algo más no ofrece dudas, mientras que, por otra, la precipitación no muestra, tanto a resolución anual como diaria, tendencias definidas.

La temperatura

Prácticamente todos los análisis de series de temperatura de observatorios de la Península Ibérica ofrecen una nítida tendencia al alza. El incremento de la temperatura media anual a partir del segundo lustro de los años 70 del siglo XX se ve confirmado en los análisis realizados a partir de series regionales obtenidas mediante interpolación de los observatorios de diferentes regiones, como también en las series individuales más largas existentes (Raso, 1977). Una investigación sobre 45 observatorios ibéricos, 27 de ellos con series que comienzan en 1869, ha llegado a las siguientes conclusiones: 1) las temperaturas máximas han crecido significativamente desde los años 70

del siglo XX, excepto en Galicia, a razón de $0,6^{\circ}\text{C}/\text{década}$, como valor medio, aunque con apreciables variaciones regionales; 2) las temperaturas mínimas han experimentado un ascenso similar; y 3) el calentamiento ha sido detectado principalmente en invierno (Staudt, 2004). Un reciente trabajo sobre la temperatura diaria de 22 observatorios españoles a lo largo del periodo 1850–2003 (Brunet *et al.*, 2006) confirma la tendencia ascendente y paralela a la planetaria. Las temperaturas medias de las máximas y medias de las mínimas anuales muestran incrementos de $0,12^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y $0,10^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente, sobre el citado periodo de siglo y medio. (Figura 6)

Diversos estudios sobre regiones españolas coinciden en el hecho esencial: el calentamiento a partir de la década de los años 70 es visible y significativo. Así concluyen diversos análisis de las temperaturas medias anuales y de las máximas y mínimas medias anuales sobre la Meseta norte (Labajo *et al.*, 1998, Labajo y Piorno, 2001), la Meseta sur (Galán *et al.*, 2001; Cañada *et al.*, 2001), Aragón, Navarra y La Rioja (Abaurrea *et al.*, 2001), Cataluña (Brunet *et al.*, 2001), la cuenca del Segura (Horcas *et al.*, 2001), entre otros.

Figura 6: Evolución temporal de la temperatura media de las máximas de 22 observatorios españoles durante el periodo 1850–2003, expresada como anomalías respecto a 1961-90 y suavizada (línea roja) con un filtro gaussiano de 13 años. Fuente: Brunet *et al.*, 2006.

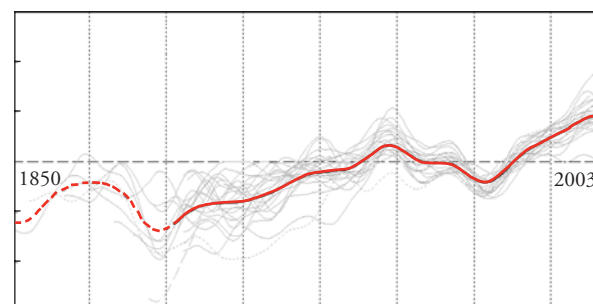
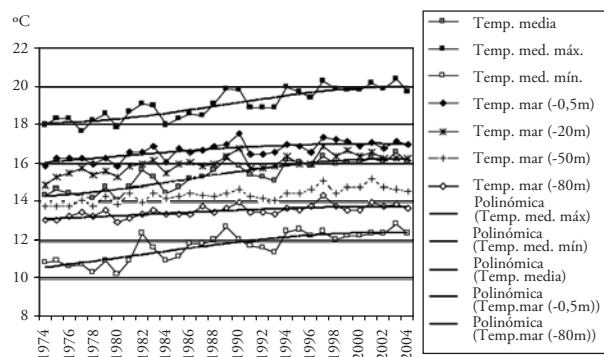


Figura 7: Evolución temporal de las temperaturas media, media de las máximas y media de las mínimas del aire y de las temperaturas marinas a 0,5, 20, 50 y 80 m de profundidad en l'Estartit (Girona), durante el periodo 1974–2004. Fuente: Elaboración propia, a partir de los registros de Josep Pascual.



En todos los casos las anomalías positivas muestran una clara acumulación a partir de los años 80 del siglo XX hasta la actualidad. El comportamiento general es muy parecido al planetario, con valores bajos durante el siglo XIX, un aumento de la temperatura durante la primera mitad del siglo XX, anomalías negativas en la década de los años 60 y 70 y el citado incremento final.

La temperatura de las aguas marinas constituye un importante indicador sobre el calentamiento global, dada su inercia. Pocas son las series largas disponibles para las aguas españolas. En l'Estartit (Girona) varias series de temperatura de las aguas a profundidades de 0,5, 20, 50 y 80 metros del periodo que va desde 1974 hasta la actualidad muestran tendencias crecientes estadísticamente significativas (Salat y Pascual, 2006). (Figura 7)

La precipitación

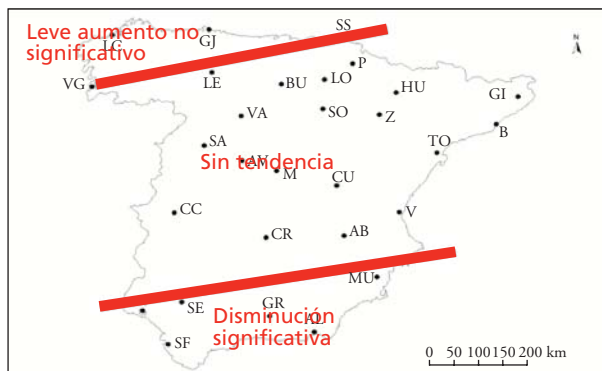
La evolución de la precipitación en España desde el último tercio del siglo XIX no muestra tendencias generales ni significativas, salvo alguna notable excepción. En efecto, al contrario que la temperatura, cuyo ascenso reciente en España resulta indiscutible, por su cuantía y generalidad,

ajustándose bien al aumento térmico experimentado por el conjunto del planeta, la precipitación no ha dado señales claras de variación. Aunque hay una amplia percepción ciudadana de que hoy llueve menos que décadas atrás, los registros instrumentales de gran parte de España no avalan tal supuesto.

En el cómputo anual no puede admitirse la significación estadística de las pequeñas tendencias en las precipitaciones de la mayoría de los observatorios con series de longitud superior al siglo (Milián 1996; Chazarra y Almarza, 2002; Saladie, 2004, entre otros). Existe, sin embargo, una llamativa excepción, la de la zona más meridional de la Península Ibérica, donde, por otra parte, se localizan algunos de los observatorios con series pluviométricas más largas, tales como San Fernando o Gibraltar (Figura 8). La precipitación media anual en estos lugares ha sufrido una disminución estadísticamente significativa desde finales del último tercio del siglo XIX hasta finales del XX. Así, en San Fernando se pasó de un promedio anual de 707,4 mm., en el treinteno 1870-1899, a sólo 553,4 mm. en el 1960-1994 (Quereda y Montón, 1997) y en Gibraltar de 880,4 mm., en el treinteno 1871-1900, a 739,6 mm., en el 1961-1988. (Wheeler y Martín-Vide, 1992). Otros observatorios de la región muestran también tendencias decrecientes. Tal hecho pudiera estar vinculado al desplazamiento hacia el norte del cinturón de altas presiones tropicales, cuya subsidencia es la causa de los grandes desiertos planetarios del hemisferio boreal (Sahara, Arabia, etc.).

En un amplio espacio central, desde Extremadura a Cataluña, no se han detectado tendencias pluviométricas anuales significativas y con cierta representación espacial desde finales del siglo XIX hasta la última década del XX, mientras que en algunos observatorios gallegos y próximos la lluvia anual se ha incrementado muy ligeramente a lo largo del mismo período.

Figura 8: Tendencias básicas de la precipitación anual en la España peninsular desde el último tercio del siglo XIX a finales del XX. Fuente: Milián, 1996, modificado.



Si el análisis se reduce al último tercio del siglo XX sí que se aprecian ciertas reducciones de la precipitación en diferentes regiones, aunque no generales (Abaurrea *et al.*, 2002; Romero *et al.*, 1998; Guijarro, 2002, De Luis *et al.*, 2002, etc.). Si, por el contrario, se aumenta la escala temporal al último medio milenio, y se reconstruyen series pluviométricas mediante el uso de *proxy-data*, es decir, con registros dendroclimáticos¹³, informaciones históricas, etc., se advierte una reducción de la lluvia en las últimas décadas del siglo XX respecto a siglos atrás (Rodrigo *et al.*, 1999; Saz, 2003).

La sensibilidad de muchas actividades económicas al reparto estacional y mensual de la lluvia, en particular la agricultura de secano, en la que importa más su oportunidad en el tiempo que su cuantía, obliga a realizar análisis pluviométricos intraanuales. Sólo se ha encontrado en el caso de España una significativa tendencia a la baja, casi general, en el mes de marzo, que tiene su huella en la primavera. Se puede afirmar que a lo largo del último medio siglo se ha reducido la lluvia de marzo, e incluso con menor señal la primaveral, en gran parte de España (Trigo *et al.*, 2006). Esta tendencia es claramente negativa para el buen desarrollo de muchos cultivos.

Sobre la variabilidad pluviométrica interanual y sobre la intensidad de la precipitación, que tienen importantes efectos en la planificación y gestión hídrica o en la erosión del suelo, entre otras cosas, no se han apreciado hasta el momento tendencias claras y generales.

Otros elementos

Las series de presión atmosférica más largas de la Península Ibérica, como las de Barcelona, Madrid, San Fernando, Gibraltar, Lisboa, etc., muestran una cierta tendencia ascendente durante las últimas décadas, consistente, en el caso de las meridionales, con el descenso de la precipitación en el sur de la Península Ibérica.

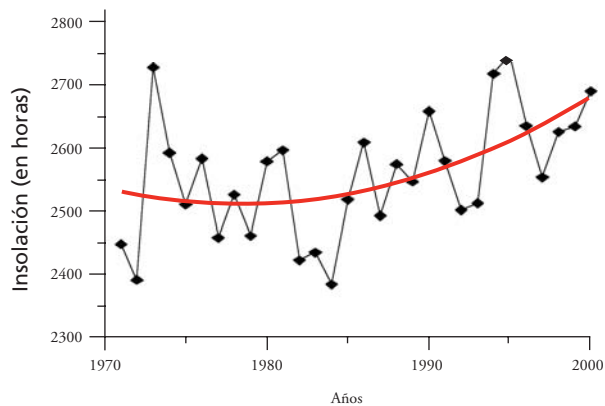
Un análisis muy reciente de una serie de insolación anual conjunta obtenida a partir de las 20 mejores series españolas del periodo 1971-2000 muestra una tendencia creciente, tras un mínimo en los primeros años 80, coincidente con el observado en muchos registros de gran parte del planeta (Martín-Vide *et al.*, 2006). Tal mínimo, denominado *global dimming* y atribuido a los aerosoles de origen antrópico, dio paso a un mayor número de horas de sol en el fin del siglo pasado en España. (Figura 9)

1.3.3. Tendencias futuras a partir de los modelos climáticos

Las previsiones sobre el clima de las próximas décadas en España presentan las mismas incertidumbres que tienen las proyecciones del clima global, esto es, las derivadas de la evolución de la demografía, el crecimiento económico, el uso de combustibles fósiles, los avances tecnológicos, etc., y, además, la resultante de la propia complejidad climática del territorio. Mediante el uso de los modelos climáticos globales, y suponiendo la duplicación de la actual concentración

¹³ La Dendroclimatología es una rama de la Paleoclimatología que reconstruye el clima de los siglos pasados a partir del análisis del grosor, la densidad y los isótopos de los anillos de crecimiento de algunas especies arbóreas longevas.

Figura 9: Evolución temporal de la insolación media anual a partir de 20 observatorios españoles durante el período 1971-2000, con suavización polinómica. Fuente: Martín-Vide, Calbó y Sánchez-Lorenzo, 2006.



de CO₂ en el año 2100, el aumento de temperatura actual continuaría de una forma rápida y general, con tasas de incremento de entre 1 y 2°C cada 30 años, con mayor elevación en verano que en invierno (Moreno, 2005), lo que supone una variación al alza considerable. Sobre la precipitación, los resultados de la aplicación de los modelos muestran algunas discrepancias, aunque coinciden en una reducción del total anual, derivada sobre todo de más primaveras secas.

El ensayo con algún modelo climático regional, que aumenta el grado de resolución espacial de los resultados, dibuja para el horizonte del último tercio del siglo XXI un interior de la Península Ibérica entre 4 y 6° C más cálido que

Cuadro 2: Tendencias Climáticas Previsibles en España. (Variaciones para el último tercio del siglo XXI respecto a 1961-1990). Fuente: Elaboración propia y Moreno (2005).

- Incremento progresivo de la **temperatura** media (entre 2 y 5° C superior).
- **Calentamiento** más acusado (unos 2° C más) en **verano** que en invierno.
- **Calentamiento** superior (unos 2° C más) en el **interior** que en las costas e islas.
- **Mayor frecuencia** de anomalías térmicas, en especial, de **días con temperaturas máximas elevadas** en primavera y verano.
- **Disminución** de la **precipitación** (entre un 5 y un 20 %), exceptuando Canarias.
- Mayor **reducción pluviométrica** en **primavera y verano**. Probable aumento de la lluvia invernal en el oeste y otoñal en el nordeste.
- Probable **aumento** de los **riesgos climáticos** (olas de calor, precipitaciones torrenciales, sequías, etc.).

a finales del siglo XX en verano y entre 2 y 3° C en invierno; mientras que en la periferia peninsular, en Baleares y Canarias los aumentos son más moderados, 2° C por debajo de los citados. También se prevén más días con temperaturas máximas extremas, sobre todo en primavera y verano.

Respecto a la precipitación, la reducción prevista, especialmente marcada en primavera y también en verano, tiene excepciones, contemplándose ciertos incrementos en invierno en el noroeste peninsular y en otoño en el nordeste. Canarias es el ámbito con menores variaciones pluviométricas y térmicas previstas (Cuadro 2).

2.

El cambio climático y sus impactos sobre las generaciones futuras

2.1. Introducción

La intensificación del efecto invernadero y el consiguiente calentamiento del planeta han generado una preocupación medioambiental sin precedentes. Este interés se ha visto reflejado en el número y la magnitud de las conferencias internacionales y de los proyectos científicos organizados para analizarlo y buscar soluciones. Hasta el momento, el resultado más visible de esta preocupación ha sido el compromiso de control de emisiones que se estableció en el Protocolo de Kyoto en 1997 y que, a pesar de lo moderado de sus propuestas, no fue ratificado por los Estados Unidos, el mayor emisor de gases de efecto invernadero y, por tanto, el país que más contribuye al agravamiento del problema¹⁴. Pero las políticas de mitigación (ver apartado 2.3.6) han sido mínimas y poco efectivas hasta el momento. El creciente conocimiento científico del fenómeno confirma las peores expectativas previas y cada vez se hace más evidente la necesidad de actuar enérgicamente para tratar de evitar los peores impactos del cambio climático. La mayor certeza científica sobre la contribución humana a la intensificación del efecto invernadero, los datos que muestran que el cambio climático ya se está produciendo, así como la mayor inestabilidad en los eventos climáticos y desastres naturales experimentados en las últimas décadas, justifican el creciente interés de la sociedad en el problema y las posibles soluciones.

No obstante, salvo notables excepciones como el reciente trabajo de Stern (2006), realizado por encargo del gobierno británico, los resultados de la mayor parte de los análisis económicos convencionales aplicados al cambio climático hasta el momento parecen no justificar tal preocupación y, en algunos casos, se han utilizado para legitimar y dar una justificación “científica” a las políticas de no-control o de control leve de emisiones. Esto, como se explica más adelante, se debe en parte a las limitaciones y a los supuestos que se suelen incorporar en estos estudios y que han tendido a sesgarlos hacia la recomendación de políticas poco agresivas contra el cambio climático, además de que no incorporaban el conocimiento científico más reciente sobre la gravedad del fenómeno.

¹⁴ El Protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional adoptado en la tercera conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, en diciembre de 1997. Este acuerdo implicaba un compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en 2008-2012 del 5,2% respecto al nivel de 1990 en los países industrializados (países del Anexo I del Protocolo, que incluye a la mayoría de los países de la OCDE y a los países de Europa del Este). El Protocolo establecía distintos compromisos de reducción para los distintos países industrializados, siendo de un 6% para Japón, un 7% para EE.UU. y un 8% para la UE. Entró en vigor el 16 de febrero de 2005, cuando se cumplió el requisito de que al menos 55 países, incluyendo países del Anexo I que sumaran el 55% de las emisiones totales de 1990 para este grupo, hubieran ratificado el acuerdo. A fecha de 13 de diciembre de 2006, 168 países y la UE habían ratificado el Protocolo; países que representan el 61,6% de las emisiones del Anexo I.

2.1.1. El efecto invernadero y sus causas

El calentamiento global y el consiguiente cambio climático se deben a la intensificación del “efecto invernadero”, que es un fenómeno natural causado por varios gases presentes en la atmósfera, y es el responsable de las temperaturas que hacen habitable la Tierra. El problema surge debido a que la actividad humana ha acelerado la acumulación de estos gases, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles, y esto ha intensificado el proceso de calentamiento. El principal gas responsable del efecto invernadero es el CO₂, cuyas emisiones han contribuido a éste en un 60% entre 1750 y 2000 (medido en términos del incremento en el forzamiento radiativo¹⁵ causado por los aumentos de los gases de efecto invernadero) y se prevé que su peso relativo dentro de los gases de efecto invernadero crezca en el futuro (IPCC, 2001a). Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera han aumentado un 31% entre 1750 y 2000, de 280 a 366,8 ppmv (partes por millón en volumen) y los escenarios de emisiones del IPCC (2000) prevén una concentración de entre 490 y 1200 ppmv para el final del presente siglo, lo que alteraría severamente el clima global. La quema de combustibles fósiles para obtener la energía que requieren los procesos de industrialización y la expansión del uso de vehículos motorizados explicarían el gran aumento experimentado en las emisiones de CO₂.

Teniendo en cuenta el total mundial de emisiones de efecto invernadero del año 2000, unas dos terceras partes están generadas por el uso de energía —24% en generación de electricidad, 14% en la industria, 14% en el transporte, 8% en edificios y 5% en otras actividades relacionadas con el uso de energía—, mientras que una tercera parte corresponde a otras fuentes de emisión —18 por ciento por el uso del suelo, 14% en la agricultura y 3% por los residuos (cál-

culo de Stern, 2006, Figura 1, p. iv; a partir de datos del World Resources Institute).

En cuanto a la responsabilidad de los diferentes países y regiones en la generación del problema, ésta es muy desigual. Existen enormes desigualdades en las emisiones *per capita* de los diferentes países, desigualdades que aún son más abultadas si consideramos las emisiones acumuladas. A partir de los datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2003) sobre emisiones de CO₂ provenientes de la quema de combustibles fósiles para el año 2001, las emisiones *per capita* para diferentes regiones oscilan entre 19,7 toneladas por persona y año para Estados Unidos y las 0,9 toneladas por persona y año de media en el continente africano. Las diferencias son explicables por varios factores —como la diferente intensidad energética de la economía y la diferente combinación de fuentes energéticas— pero, con mucho, el factor más importante es el de los muy distintos niveles de renta *per capita* (Alcántara y Padilla, 2005). Es decir, las divergencias se dan sobre todo entre los países ricos y los países pobres y, así, las emisiones *per capita* estarían fuertemente correlacionadas con el PIB *per capita*. Según Stern (2006), desde 1850 Norteamérica y Europa han producido alrededor del 70% de todas las emisiones de CO₂ por producción de energía, mientras que los países en desarrollo no llegarían a la cuarta parte.

Una característica particular del cambio climático es que las consecuencias para cada país no dependen de su contribución individual al problema, sino de la contribución global. Otra característica es que los efectos son duraderos, cuando no irreversibles, y lo que se haga ahora respecto al control de emisiones tiene efectos sobre las generaciones futuras, mientras que apenas tendrá efectos en los próximos treinta años. Además, los impactos de las alteraciones climáticas son difíciles de determinar debido a la complejidad de los procesos a analizar. Estas características,

¹⁵ Por forzamiento radiativo se entiende la influencia que un factor tiene para alterar el equilibrio de la energía entrante y saliente en el planeta.

junto con el “libre acceso” —sin gestión que limite el uso del recurso— a un medio ambiente compartido por todos, individuos presentes y futuros, regiones ricas y pobres, llevan a que no se den los incentivos necesarios para una gestión sostenible.

2.1.2. Las incertidumbres sobre el cambio climático

Existe incertidumbre sobre cuestiones básicas del cambio climático. En primer lugar, está la dificultad de medir las emisiones y de hacer predicciones sobre concentraciones futuras. En segundo lugar, existen múltiples interacciones que complican el estudio de la relación entre las concentraciones de emisiones y el calentamiento —algunos gases de efecto invernadero producen interacciones químicas, causando problemas como la lluvia ácida¹⁶ o la reducción de la capa de ozono¹⁷, y su efecto final sobre el cambio climático es más difícil de determinar que en el caso del CO₂—. En tercer lugar, para cada nivel de calentamiento, existe incertidumbre sobre los impactos climáticos en las diferentes regiones del mundo. En cuarto lugar, está la dificultad de identificar y estimar la magnitud de los impactos que el cambio climático pueda causar sobre el medio ambiente y el bienestar humano, siendo mayor la dificultad y controversia cuando se intentan medir en términos monetarios. Por último, también se dan importantes incertidumbres y controversias al evaluar en términos monetarios qué sacrificio supondría un mayor control de emisiones.

En los últimos años ha mejorado considerablemente el conocimiento sobre el cambio climático y se han reducido algunas de estas incertidumbres. Recientemente, se ha avanzado mucho en la posibilidad de asignar probabilidades a los diferentes niveles de calentamiento e impactos sobre la naturaleza asociados a distintos niveles de estabilización de gases

de efecto invernadero, con lo que ahora es posible analizar mejor los riesgos de impactos poco probables pero catastróficos asignando probabilidades. Además se conocen mejor las posibles interacciones dinámicas que pueden amplificar el cambio climático (Stern, 2006). Esta mejora en el conocimiento existente puede suponer un importante avance en la capacidad de los modelos de recomendar las políticas adecuadas. No obstante, en el futuro próximo persistirán muchas de las incertidumbres que dificultan el análisis del cambio climático.

2.2. Impactos del cambio climático sobre la naturaleza y los humanos

Según el último informe completo del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (tercer informe de evaluación, IPCC 2001a), la temperatura promedio mundial de la superficie de la tierra ha aumentado alrededor de 0,6°C desde 1861. Se estima que el aumento en los últimos 10.000 años ha sido de 1°C, siendo la tasa de calentamiento constante hasta las últimas décadas del siglo XX, en que aumentó hasta 0,15°C por década. El IPCC estima que la temperatura promedio podría aumentar entre 1,4 y 5,8°C entre 1990 y el final del siglo XXI, lo que se prevé cause un aumento promedio en el nivel del mar de entre 9 y 88 centímetros durante este periodo. Ésta sería una tasa de calentamiento sin precedentes en la historia de la humanidad, la cual conllevaría cambios y anomalías climáticas con fuertes impactos sobre la naturaleza y el bienestar humano. El resultado del cambio climático puede ser más calor o más frío, más lluvias o más sequía, dependiendo de la región y, en general, más inestabilidad climática, con un aumento en frecuencia de desastres naturales como inundaciones, ciclones o sequías. Conforme mayor sea el calentamiento, mayores

¹⁶ Se conoce como lluvia ácida la que tiene valores de PH inferiores a 5,6. Ésta se forma cuando los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre, emitidos fundamentalmente en la quema de combustibles fósiles y por industrias y vehículos, se combinan con la humedad en el aire formando ácido sulfúrico y ácido nítrico. La lluvia ácida provoca graves efectos ambientales como la acidificación de aguas (perjudicando los ecosistemas acuáticos) y suelos, además de producir daños sobre la vegetación. También ocasiona daños en las construcciones y monumentos. Gauci *et al.* (2005) sugieren que la lluvia ácida podría reducir la generación de metano en áreas pantanosas.

¹⁷ Capa de la estratosfera terrestre, a unos 25 km. sobre el nivel del mar, que contiene una concentración relativamente alta de ozono natural. Esta capa absorbe la fracción más peli-

grosa de la radiación ultravioleta impidiendo que alcance la superficie terrestre. Las emisiones de algunos compuestos, como los CFCs o el bromuro de metilo, han provocado una reducción de la concentración de ozono estratosférico. Esta reducción puede tener consecuencias graves sobre la salud humana, aumentando los casos de melanomas y perjudicando el sistema inmunitario, así como sobre otras especies animales y los vegetales sensibles a los rayos ultravioletas. Además, la capa de ozono evita que la radiación terrestre escape con facilidad. Por tanto, los CFCs por un lado contribuirían al calentamiento, al ser gases de efecto invernadero, pero por otro lado tendrían un efecto enfriador, por la reducción de la capa de ozono que provocan, que contrarrestaría en torno a la mitad su contribución al calentamiento global. Lamentablemente, los gases sustitutos que se están empleando, como los HFCs, son también potentes gases de efecto invernadero.

serán las alteraciones en el clima, y los modelos muestran que los daños aumentan más que proporcionalmente conforme aumenta la temperatura.

A continuación, se resumen muy brevemente las previsiones recogidas en el tercer informe del IPCC (2001b) sobre los impactos sociales y sobre el medio natural del cambio climático.

2.2.1. Agricultura

Se prevén costes en la agricultura, tanto por reducciones en la producción de las cosechas, como por la adaptación de los sistemas de producción al cambio climático. Un calentamiento moderado podría conllevar leves mejoras en las cosechas de países desarrollados de latitudes medias y altas —especialmente en cereales—, que desaparecerían con un calentamiento mayor. En cambio, un calentamiento moderado llevaría a menores producciones en las cosechas en muchos países en desarrollo, en la mayoría de regiones tropicales y subtropicales. Con un calentamiento mayor (unos 4°C) regiones enteras pueden sufrir reducciones generalizadas en la producción de sus cosechas, en buena parte en África. Los efectos serán más severos en las cosechas de secano y en las dependientes de la lluvia allí donde se dé un fuerte descenso en las precipitaciones. También se prevé que el cambio climático provoque un aumento global en los precios de los alimentos, de producirse aumentos de la temperatura anual media de 2,5°C o mayores. Teniendo en cuenta los precios y la producción, los impactos sobre los ingresos serían peores para los países y las poblaciones más pobres, aumentando la población en riesgo de hambre, especialmente en Asia Occidental y en África, donde los cambios provocarían un empeoramiento de la seguridad alimentaria.

2.2.2. Recursos hídricos

Se prevé que se reduzca sustancialmente la disponibilidad total de agua en muchas zonas donde ésta es ya un bien escaso, especialmente en África, mientras que aumentará en otras.

Globalmente, las precipitaciones medias aumentarán durante el siglo XXI, aunque a escala regional pueden darse importantes aumentos o reducciones. Se prevé que se incrementen en regiones de latitudes altas en invierno y verano. Los aumentos también se darán en invierno en latitudes medias, África tropical y el Antártico, y en verano en el este y sur de Asia. Las precipitaciones se reducirían en invierno en Australia, América Central y el sur de África. También se prevé una reducción en el Mediterráneo. La magnitud y la frecuencia de las inundaciones podrían incrementarse en varias regiones. Los caudales de los ríos aumentarían en las latitudes altas y en el sudeste de Asia, y disminuirían en Asia central, el Mediterráneo, África del sur y Australia. Se acelerará la reducción de los glaciares y desaparecerán los pequeños, lo que afectaría la disponibilidad de agua de algunas poblaciones.

El cambio climático podría reducir la recarga de agua subterránea y el caudal de ríos en muchos países con estrés hidrológico¹⁸. Es el caso de Asia central, el sur de África y los países del Mediterráneo. La mayor temperatura podría empeorar la calidad del agua, lo que se vería compensado donde se dieran mayores caudales y agravado donde se redujeran.

El cambio climático no afectaría mucho a la demanda de agua para uso doméstico, pero sí podría aumentar la demanda de agua para la agricultura, debido a la mayor evapotranspiración¹⁹.

Las mayores vulnerabilidades se dan en las regiones con estrés hídrico y en los sistemas insuficiente o deficientemente gestionados, por su menor capacidad para adaptarse.

¹⁸ Cuando la demanda de agua excede la cantidad disponible durante cierto periodo, o cuando su pobre calidad restringe su uso, se da estrés hidrológico. Este estrés deteriora la calidad de los recursos hídricos (salinización, contaminación, etc.) y su cantidad (sobrexplotación de acuíferos, caudal de ríos, etc.).

¹⁹ Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa y por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm. por unidad de tiempo.

2.2.3. Ecosistemas y biodiversidad

Los ecosistemas y la biodiversidad se verán alterados por el cambio climático y la subida del nivel del mar, aumentando el riesgo de extinción de algunas especies vulnerables. Cuando las tensiones causadas por el cambio climático — sequía, incendios, invasión de especies, tormentas— se unan a otras tensiones, los ecosistemas podrían sufrir daños sustanciales, incluyendo la pérdida de ciertos sistemas únicos y la extinción de algunas especies.

Un leve calentamiento podría aumentar la producción global de madera, lo que podría beneficiar a los consumidores de madera, mientras que en el caso de los productores dependerá de los cambios regionales en productividad. No obstante, los efectos positivos tenderían a desaparecer con un mayor nivel de calentamiento y parte del bosque amazónico podría desaparecer.

Muchos ecosistemas marinos son sensibles al cambio climático. Las tendencias climáticas y la variabilidad pueden afectar de forma importante a la abundancia de peces, con impactos significativos en las sociedades humanas dependientes de la pesca. Los ecosistemas de coral ya han sufrido importantes daños con el calentamiento actual, que empeorarán con mayores niveles.

Por último, muchas áreas costeras sufrirán mayores inundaciones y erosión acelerada, con pérdida de humedales e introducción de agua marina en fuentes de agua dulce.

2.2.4. Salud

El cambio climático aumentará las amenazas sobre la salud humana, particularmente sobre las poblaciones de ingresos bajos, sobre todo en los países tropicales y subtropicales. El cambio climático puede afectar a la salud directa-

mente mediante la pérdida de vidas en inundaciones, tormentas y olas de calor, e indirectamente a través de cambios en los vectores de enfermedad (como los mosquitos), la disponibilidad de comida y la calidad del agua y del aire. Los impactos dependerán de las condiciones ambientales locales, la infraestructura sanitaria, las condiciones socioeconómicas y las medidas de adaptación²⁰ que se tomen.

Aumentará el ámbito geográfico de transmisión potencial de malaria y dengue, que, junto a otras enfermedades infecciosas, incrementarán su incidencia y duración estacional. También aumentarán las olas de calor, a menudo acompañadas de mayor humedad y contaminación, lo que conllevará más enfermedades y muertes por calor. El impacto será mayor en las poblaciones urbanas, afectando a enfermos y mayores, y a quienes no tienen acceso al aire acondicionado. No obstante, en algunos países templados podrían reducirse las muertes por frío en invierno. El aumento en las inundaciones conllevará más ahogamientos y enfermedades respiratorias y diarreicas. En algunas regiones se puede dar un aumento de los ciclones tropicales más intensos, lo que conllevaría impactos devastadores, especialmente sobre poblaciones densas con recursos deficientes. Finalmente, la reducción en la producción de las cosechas por el cambio climático en algunas regiones, en especial en los trópicos, puede predisponer a la malnutrición y al hambre a poblaciones con poca seguridad alimentaria.

2.2.5. Asentamientos humanos, energía e industria

Los asentamientos humanos se ven afectados por el cambio climático cuando son afectados sus sectores económicos, cuando sus infraestructuras, servicios y/o industrias sufren daños o cuando sus poblaciones ven dañada su salud o deben migrar.

²⁰ El IPCC define adaptación como el ajuste de sistemas naturales o humanos a un medio ambiente nuevo o cambiante. La adaptación al cambio climático se refiere al ajuste de sistemas naturales o humanos, en respuesta a estímulos climáticos reales o previstos o a sus efectos, que modera los daños o explota oportunidades provechosas. Algunos ejemplos son: cambios en las cosechas, adaptación de infraestructuras, mejoras en la gestión del agua, cambios en el uso de las tierras, limitaciones a la edificación en la costa, mejoras en la infraestructura sanitaria, etc.

Las poblaciones de pequeñas islas y zonas costeras bajas corren un gran riesgo de sufrir graves consecuencias sociales y económicas por un aumento de la erosión y las inundaciones, causadas por la mayor intensidad de las precipitaciones y el aumento del nivel del mar. También peligran recursos críticos para su supervivencia, como las playas, aguas dulces, hábitats de algunas especies, pesquerías y arrecifes. Decenas de miles de personas que viven en deltas, zonas costeras bajas o en pequeñas islas corren el riesgo de ser desplazadas. Según el reciente informe Stern (2006), el aumento del nivel del mar, las inundaciones y las sequías podrían provocar el desplazamiento de 200 millones de personas, que pasarían a convertirse en refugiados ambientales. La rápida urbanización de zonas costeras aumenta los activos expuestos.

Las inundaciones urbanas pueden ser un problema donde las infraestructuras —drenaje de aguas, oferta de agua y gestión de residuos— son insuficientes, siendo más vulnerables los asentamientos con alta densidad de población y pocos recursos. Las mayores temperaturas y precipitaciones pueden agravar los déficits existentes en infraestructuras, afectando a la oferta de agua y energía, el tratamiento de residuos y el transporte.

Los asentamientos que dependen de sectores primarios sensibles al cambio climático (agricultura, silvicultura y pesca) son más vulnerables que los que estén más diversificados.

En cuanto a las infraestructuras de industria, transporte y comercio son generalmente vulnerables a los mismos riesgos que la infraestructura de los asentamientos. Finalmente, respecto a la demanda de energía se espera que aumente para refrigeración y aire acondicionado y que se reduzca para calefacción. El efecto neto depende de la zona y el escenario considerado.

2.2.6. Seguros y otros servicios financieros

Los costes provocados por eventos climáticos extremos han aumentado sustancialmente en las últimas décadas. En parte se debe a factores socioeconómicos, como el crecimiento económico y demográfico o la urbanización en áreas vulnerables, y en parte se debe a factores climáticos, como los cambios observados en precipitaciones e inundaciones, siendo muy complejo asignar en cada caso la parte que corresponde a cada factor. El cambio climático aumenta la incertidumbre en la evaluación de riesgos. Esto puede llevar a mayores primas o a reclasificar algunos riesgos como no asegurables. Como consecuencia, se haría más caro asegurarse, se limitaría la expansión de servicios financieros en los países pobres y disminuiría la disponibilidad de seguros para riesgos, aumentando la demanda de compensaciones estatales tras los desastres. Además, el sector de seguros puede tener dificultades para cubrir algunos eventos poco probables pero con gran impacto. Algunos países pobres muy dependientes de la producción primaria pueden experimentar reducciones significativas de su PIB por los desastres naturales.

Si los riesgos asociados al clima se convierten en no asegurables, o si se encarece o se limita la disponibilidad de seguros, se podrían agravar los problemas de equidad y aumentarían los frenos al desarrollo. En contraste, según el IPCC (2001b), un acceso más extensivo a los seguros y a los servicios financieros aumentaría la habilidad de países en desarrollo para adaptarse al cambio climático.

2.2.7. Desigualdades en los impactos y la vulnerabilidad frente al cambio climático

Los impactos del cambio climático serán especialmente graves en los países en desarrollo y en las poblaciones más desfavorecidas de todos los países, lo que ha de aumentar aún

más las desigualdades. La situación geográfica de los países en desarrollo, y su dependencia de sectores económicos sensibles al cambio climático, hace que estén en un riesgo elevado de padecer los impactos negativos, mientras que la pobreza y falta de infraestructuras limitan su capacidad de adaptación.

2.2.8. Impactos extremos

Según el IPCC existe la posibilidad de impactos extremos, como cambios en las corrientes oceánicas, una reducción considerable de los casquetes polares y un calentamiento acelerado debido a la liberación de bolsas de metano y carbono o por la retroalimentación del ciclo de carbono en la biosfera terrestre, entre otros. Si estos ocurrieran, sus efectos serían catastróficos, y posiblemente irreversibles en el largo plazo. La probabilidad de estos fenómenos depende de la tasa, magnitud y duración del cambio climático (IPCC, 2001b). Conforme más extremos sean los eventos, mayor dificultad encontrarán los humanos para adaptarse.

2.2.9. Los efectos del cambio climático en España

Los datos confirman que el cambio climático ya se está produciendo en España. Desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad la temperatura media anual ha subido una décima de grado centígrado por década, en promedio, aumentando tanto las temperaturas máximas como las mínimas. Han disminuido las precipitaciones y el número de días de nieve anuales. Hay una clara tendencia al aumento de frecuencia y la severidad de las olas de calor²¹. Además, la tasa anual de subida del nivel medio del mar se ha acelerado²² (Ayala, 2004).

En Europa, serían España y los países del sur, junto con el Ártico europeo, por su situación geográfica, las zonas más vulnerables frente al cambio climático. Se prevé una subida del

nivel del mar de entre 10 y 68 centímetros para el final de siglo (siendo 50 centímetros el escenario más probable) y un aumento de la temperatura peninsular de entre 3 y 7 grados (IPCC, 2001a). Las precipitaciones, especialmente en verano, tenderán a verse reducidas, con más frecuencia de sequías, lo que disminuiría la disponibilidad de agua y la humedad de los suelos.

El mayor estrés hídrico producirá un descenso en la productividad de la agricultura, especialmente en secanos y pastos, y también afectará negativamente al crecimiento de la masa forestal. Además, la mayor temperatura y sequedad hará más peligrosos y frecuentes los incendios forestales.

Algunas especies se verán amenazadas por la pérdida de importantes hábitats. Se producirá un desplazamiento altitudinal de zonas de vegetación y mayor vulnerabilidad y pérdida de especies. Parte de la fauna se desplazará hacia el norte o hacia mayores altitudes.

En las zonas costeras aumenta el riesgo de inundación, erosión y pérdida de humedales, con implicaciones para los asentamientos humanos, el turismo, la agricultura y los hábitats naturales de la costa. El descenso de recursos hídricos también conllevaría una reducción de los recursos pesqueros, que también se hacen más vulnerables a la contaminación del mar. La subida del nivel del mar y el descenso de los recursos hídricos portadores de sedimentos provocarán la erosión de las playas y costas y el retroceso de deltas. Las zonas costeras más bajas —marismas, Deltas del Ebro y del Llobregat, Manga del Mar Menor, costa de Doñana— podrían sufrir inundaciones. Las edificaciones en primera línea de playa se verán seriamente afectadas.

Los costes pueden ser muy importantes en el sector turístico: las temperaturas más altas y las olas de calor pueden perjudicar seriamente el turismo de verano (aunque la temporada se alargue al otoño), mientras que la menor fiabilidad de las condiciones de nieve puede tener impactos nega-

²¹ Los datos del Instituto Nacional de Meteorología (2002) muestran un aumento en los 38 observatorios peninsulares analizados de los días con temperatura media mayor de 25°C (Ayala, 2004).

²² Según Ayala (2004) la tasa anual de subida del nivel medio del mar (en Alicante) se ha multiplicado por tres en la década 1990-2000 (3,875 mm/año) respecto a la década 1980-1990 (1,345 mm/año), mientras que se han producido fenómenos similares en el Cantábrico.

tivos en el turismo de invierno. Además, la elevación del nivel del mar hace peligrar la localización de asentamientos e infraestructuras turísticas.

Respecto a los impactos sobre el consumo energético, disminuirá el consumo para calefacción, pero habrá un fuerte aumento del consumo para aire acondicionado y refrigeración. Como resultado, aumentará la demanda eléctrica, de petróleo y gas natural. Por otro lado, disminuirá la producción de energía hidráulica (Moreno, 2005).

El sector de seguros puede verse afectado sobre todo por las tormentas e inundaciones, especialmente en la mitad oriental de la península (Moreno, 2005).

También se darán efectos negativos para la salud por infecciones exóticas propias de zonas más cálidas y por el agravamiento de otras enfermedades infecciosas. Además, el aumento de la frecuencia y la gravedad de las olas de calor provocarán mayores muertes y problemas de salud.

Los impactos negativos del cambio climático en España superan en mucho a los impactos positivos. En Moreno (2005) se puede encontrar una evaluación amplia de los impactos del cambio climático en España (Cuadro 3).

2.3. El análisis económico de los impactos del cambio climático y las políticas de mitigación: limitaciones y controversias

2.3.1. Los modelos clima-economía y sus recomendaciones de política

Se han elaborado diversos modelos de análisis integrado para incorporar las interrelaciones entre el clima y la economía. Estos modelos realizan estimaciones de los impactos económicos causados por el cambio climático global y por las políticas de reducción de emisiones.

Cuadro 3: Principales Impactos del Cambio Climático sobre la Naturaleza y los Humanos en España

-
- Menor disponibilidad de recursos hídricos, mayor variabilidad interanual y mayores sequías.
 - Aumento del nivel medio del mar (entre 10 y 68 cm.).
 - Riesgos de erosión e inundación de zonas costeras.
 - Reducción de la productividad agrícola.
 - Mayor frecuencia y gravedad de los incendios forestales.
 - Alteraciones en ecosistemas marinos y terrestres y pérdida de hábitats.
 - Reducción de recursos pesqueros.
 - Pérdida de infraestructuras por la elevación del nivel del mar y las inundaciones.
 - Aumento del consumo energético.
 - Mayores problemas de salud por enfermedades infecciosas y olas de calor.
 - Impactos negativos y alteraciones en el sector turístico.
-

Los resultados, en general, muestran que en los países ricos un calentamiento pequeño no tendría un impacto económico importante, mientras que las pérdidas aumentarían con mayores niveles de calentamiento. En todo caso, afectaría sobre todo a la agricultura, que en estos países tiene un peso relativo pequeño. En cambio, en los países pobres la importancia de las actividades que podrían verse afectadas por el cambio climático, en especial la producción de alimentos, es mucho mayor. Cualquier nivel de calentamiento provocará pérdidas en la mayoría de países pobres, siendo éstas mayores cuanto mayor sea el calentamiento.

En el global, los modelos calculan que el PIB mundial cambiaría poco con aumentos pequeños de temperatura (por debajo de un 1%), mientras que mayores aumentos de temperatura dispararían las pérdidas netas (IPCC 2001b). Los impactos serían mucho mayores en los países pobres, debido en parte a su menor capacidad de adaptación y a su mayor vulnerabilidad, lo que aumentaría la desigualdad entre países ricos y pobres. En algunos casos, el impacto local podría ser catastrófico. Para cualquier nivel de calentamiento, los seres humanos perjudicados serían muchos más que los beneficia-

dos. No obstante, la diferente gravedad del impacto en las distintas áreas conlleva serios problemas en la búsqueda de soluciones, ya que acentúa los incentivos de los países a comportarse de forma ventajista: los países que se ven menos afectados —por su situación geográfica, su mayor capacidad de adaptación y su menor vulnerabilidad— en buena parte son también los mayores responsables y tienen pocos incentivos a participar en unos acuerdos de reducción que implicarían sacrificios.

Hay que destacar que la posibilidad de eventos extremos, señalada por el IPCC (2001b), que podrían tener efectos catastróficos, ha sido ignorada o se le ha asignado una probabilidad arbitrariamente baja en la mayoría de los cálculos de los modelos integrados clima-economía. Si bien con la información disponible cuando se elaboraron los modelos no era posible conocer esta probabilidad, eliminar estos riesgos del análisis e ignorarlos no parece la mejor forma de orientar la toma de decisiones. Las mejoras conseguidas en el conocimiento científico deberían permitir que, a partir de ahora, estos riesgos se tengan en cuenta asignando probabilidades. Stern (2006) señala el hecho de que ahora se esperan mayores impactos monetarios del cambio climático de lo que sugerían los estudios previos, en buena parte debido a que excluían algunos de los impactos más inciertos pero potencialmente más dañinos. Esto, más otras diferencias de criterio, como la elección del tipo de descuento²³ utilizado, lleva a Stern (2006) a dar una visión radicalmente distinta sobre la magnitud de los costes del cambio climático a la de la mayoría de modelos económicos aplicados. Según Stern el impacto negativo del cambio climático sobre la economía equivaldría a la pérdida de al menos un 5% de PIB global anual ahora y para siempre (en el cálculo se transforman los impactos que tienen lugar a lo largo del tiempo en un flujo anual equivalente); mientras que, si también se tienen en

cuenta una mayor diversidad de riesgos e impactos —impactos sobre la salud, la evidencia científica reciente que indica una mayor sensibilidad del clima a las emisiones de gases de efecto invernadero y una ponderación de los daños en función de la renta—, los costes del cambio climático en un escenario sin actuación equivaldrían a un 20% del PIB anual global ahora y para siempre.

De acuerdo con la mayoría de cálculos económicos convencionales, sería necesario sacrificar un 2% del PIB anual global para conseguir un efecto significativo en el control de emisiones (la estimación central de Stern (2006), con información más actual, es de un 1%). Como afirmaba Schelling (1992) hace ya 15 años, esto únicamente significa “posponer el PIB de 2050 a 2051”, lo que podría ser considerado un impacto trivial. El IPCC (2001c) estima que el coste total de estabilizar las concentraciones atmosféricas de CO₂ en 450, 550 y 650 ppmv estaría en el rango de 2,5–18, 1–8 y 0,5–2 billones de dólares de 1990, respectivamente (descontados a 1990 al 5%). Muchos economistas han utilizado estas cifras para argumentar que el control de emisiones podría hacer peligrar el crecimiento económico. Sin embargo, dado que la mayoría de modelos asumen un aumento global de ingreso absoluto de un 2–3% por año (con un crecimiento mayor en los países pobres), esto significa que “el coste de un ‘seguro climático’ representa ‘sólo’ un par de años de retraso en conseguir un impresionante crecimiento en los niveles de ingreso *per capita*” (Azar y Schneider, 2002), aunque este coste representara el 5% del ingreso global por año. Por tanto, incluso para los modelos más pesimistas respecto a los costes de estabilización, la estabilización de las concentraciones atmosféricas a niveles que eviten los peores impactos del cambio climático y un gran aumento en el ingreso global son plenamente compatibles. Además, “la diferencia en las tasas de crecimiento promedio entre un caso con un uso no restringido de com-

²³ Factor que se utiliza en la evaluación de costes y beneficios para tener en cuenta el hecho de que un impacto se produzca en el futuro y no en el presente, otorgándole un peso menor cuanto más tarde se produzca; ver apartado 2.3.2.

bustibles fósiles y un caso con fuertes restricciones en el uso de combustibles fósiles sería posiblemente menos de una décima parte de un uno por ciento por año a lo largo de este siglo” (Azar y Schneider, 2002).

Sin embargo, en general, los modelos económicos convencionales aplicados al cambio climático sugieren que no es rentable llevar a cabo acciones enérgicas para mitigar el cambio climático, o que estas acciones deberían ser muy limitadas (por ejemplo, Manne y Richels, 1992, 1999; Nordhaus 1993, 1994; Peck y Teisberg, 1992, 1994, 1999; Manne, *et al.*, 1995; Nordhaus y Yang, 1996; Chakravorty *et al.*, 1997; Nordhaus y Boyer, 1999; Hamaide y Boland, 2000). Según estos modelos los impactos económicos del cambio climático no justificarían los costes que supondría una política decidida de control de emisiones. Este resultado ha influido en —o, en cualquier caso, se han utilizado como legitimación de— la política seguida frente al cambio climático por algunos países, como es el caso de Estados Unidos. No obstante, la validez de tal recomendación de política se enfrenta a las limitaciones, juicios de valor y sesgos en algunos supuestos críticos que incorporan esos modelos. Además, la evidencia científica más reciente es más pesimista sobre el calentamiento y los impactos climáticos que la información que incorporan. Sin tener en cuenta el resto de limitaciones, la actualización de estos modelos conduciría a la recomendación de políticas, si bien moderadas, algo más decididas, como muestran los resultados de la reelaboración de Nordhaus (2006) de su modelo, cuya nueva política “óptima” de reducción de emisiones sería el 14% en 2050 y el 25% en 2100; aunque aún estaría muy por debajo de las reducciones que defienden como necesarias los ambientalistas.

En contraste con los resultados de la mayoría de modelos basados en el coste-beneficio convencional, se sitúa la recién aparecida revisión de la economía del cambio climáti-

co de Stern (2006). El informe de Stern plantea como “óptimas”, desde el punto de vista económico, actuaciones decididas y radicales de reducción de emisiones, para evitar efectos importantes en el futuro —como mínimo un 25% por debajo de los niveles actuales en el 2050 y un 80% en el más largo plazo, para permitir la estabilización de los gases de efecto invernadero entre 450 y 550 ppm de CO₂ equivalente²⁴—. Modelos anteriores, como el de Cline (1992), también planteaban políticas más decididas de lo que la mayoría de análisis económicos convencionales recomendaban. La revisión de Stern incorpora la evidencia científica reciente y realiza algunos supuestos y juicios de valor diferentes a los análisis económicos convencionales en cuestiones determinantes para el resultado de la evaluación, como por ejemplo en la elección de la tasa de descuento²⁵ (ver apartado 2.3.2). Estas diferencias llevan a que para Stern, no sólo invertir en políticas decididas frente al cambio climático no perjudica al crecimiento, sino que ésta sería “la estrategia pro-crecimiento para el largo plazo” (p. viii).

A continuación se comentan algunos de los puntos más controvertidos del análisis económico del cambio climático, lo que ayuda a comprender las divergencias entre diferentes estudios y a entender cuáles son las limitaciones del análisis económico convencional para dar una orientación clara a la toma de decisiones sobre políticas de mitigación.

2.3.2. El descuento y las generaciones futuras

El análisis económico convencional descuenta (o actualiza) los flujos que ocurren en el futuro. Es decir, les da menor peso a los flujos futuros que a los impactos inmediatos. La aplicación habitual del descuento devalúa y prácticamente elimina del análisis los impactos que ocurren en el futuro distante, de forma que, para los modelos económicos,

²⁴ Ver Nota al pie 8.

²⁵ Tasa con la que se tiene en cuenta que un impacto se produce en el futuro otorgándole menor peso que a un impacto que ocurre en el presente. Conforme mayor sea la tasa de descuento, menor peso tendrán en la evaluación los impactos que se producen en el futuro. La tasa responde a las preferencias entre consumo presente y futuro y/o al rendimiento del capital, pero no tiene en cuenta las preferencias entre consumo propio y de las generaciones futuras. Mediante el descuento (o actualización) se expresan los impactos

que tienen lugar en distintos momentos del tiempo en valor presente, asignándoles menor peso conforme más distantes son, siendo exponencial respecto al tiempo el decrecimiento de la importancia que se da a un impacto (lo que hace prácticamente nula la importancia de los que ocurren en el futuro lejano). No existe acuerdo sobre el método más adecuado para determinar la tasa de descuento a aplicar en la evaluación de políticas y proyectos. Por consiguiente, la elección de la tasa de descuento tiene una gran influencia en el resultado de la evaluación de los impactos del cambio climático y las políticas de mitigación.

el mantenimiento de las condiciones necesarias para la vida en el futuro lejano tiene un valor presente insignificante. Parte de la controversia sobre los modelos aplicados al cambio climático se ha dado en torno a la elección de la tasa de descuento. Broome (1992), Cline (1992), Nordhaus (1994) y Fankhauser (1994) coinciden sobre la importancia de esta elección para el nivel de mitigación recomendado. Una muestra de esta controversia es la crítica de Nordhaus (2006) a la elección por parte de Stern (2006) de una tasa de descuento, a su modo de ver, excesivamente baja, lo que según Nordhaus explica la visión “radical” de la revisión de Stern: “si la sustituyéramos por tasas de descuento más convencionales utilizadas en otros análisis de cambio climático [...] los resultados dramáticos de la Revisión desaparecerían” (Nordhaus, 2006; p. 6). No obstante, el uso convencional de la tasa de descuento está sujeto a numerosas críticas que merecen un comentario, dado su papel crucial para determinar las políticas “óptimas” de los modelos.

Habitualmente la tasa de descuento se justifica por la impaciencia y la creencia de que en el futuro los individuos serán más ricos, y por tanto valorarán menos un euro de lo que se valora en el presente; lo que se conoce como el argumento de la utilidad marginal decreciente. Sin embargo, descontar el consumo de individuos futuros con una tasa que muestra la impaciencia de los individuos presentes por su consumo, supone confundir la preferencia por impaciencia en el consumo propio con la preferencia entre que un consumo lo realice una u otra generación.

Respecto a la aplicación práctica del argumento de la utilidad marginal decreciente del consumo, aplicar un descuento porque se cree en la prosperidad del futuro, podría comprometer esta prosperidad, debido a la infravaloración que se haga de los impactos futuros del cambio climático. Además, si se aplica el descuento a los individuos futuros

debido a la creencia de que serán más ricos, este razonamiento justificaría ponderar los impactos de los individuos presentes de acuerdo con su riqueza, lo que raramente se hace (Azar y Sterner, 1996). Los países con mayor responsabilidad en la generación del problema son los países ricos, mientras que los que con toda probabilidad padecerán, y ya están padeciendo, más severamente sus consecuencias son los países pobres. Cabe poner en duda que los pobres del futuro estén en mejores condiciones que los ricos del presente, lo que debilitaría el argumento de descontar el futuro por su supuesta menor utilidad marginal del consumo, más aún si se permite que el cambio climático tenga efectos devastadores sobre su sistema ecológico y socioeconómico. La mitigación del cambio climático implicaría que el nivel de vida de los países pobres no se deteriore. De acuerdo con su mayor utilidad marginal, se debería aplicar a los impactos que recaen sobre los pobres un mayor peso del que se les da en el análisis coste-beneficio convencional. El análisis coste-beneficio social se basa en ponderar de acuerdo con la riqueza individual (véase Squire y van der Tak, 1975), algo que no se suele hacer en los análisis convencionales. El reciente trabajo de Stern (2006) muestra que aplicar esta ponderación, siguiendo el criterio del análisis coste-beneficio social, lleva a una mayor valoración de los daños del cambio climático — un 20% del PIB global anual ahora y para siempre— y a una recomendación de mayor control de emisiones.

2.3.3. El criterio de compensación y las generaciones futuras

El análisis coste-beneficio convencional se basa en el criterio de compensación de Kaldor (1939) y Hicks (1939), según el cual se considera que las ganancias de unos compensan las pérdidas de otros. Si el valor presente de los benefi-

cios es mayor que el de los costes, entonces se asume que, en teoría, los que ganan podrían compensar a los que pierden, mejorando todos respecto a su situación inicial. Si se pagara la compensación, todos estarían mejor. No obstante, el criterio sólo requiere que el cálculo monetario de los beneficios sea mayor que el de los costes, siendo irrelevante para el resultado del análisis que esta compensación se dé o no.

En proyectos ordinarios, el análisis coste-beneficio sin compensación se puede justificar si se asume que la utilidad marginal de un euro de costes tiene el mismo valor social que un euro de beneficios (Lind, 1997). Otra justificación es que, si hay múltiples proyectos pequeños, en general todos ganan con la aplicación del criterio. Pero, como afirma Lind, la validez ética del primer argumento depende de que se juzgue correcta la distribución inicial. En el cambio climático, la desigual distribución —tanto de los impactos como de la renta— entre los que ganan y los que pierden con el mismo, invalidaría esta justificación; mientras que la magnitud de los impactos que se están considerando invalidaría la segunda argumentación. Por tanto, el análisis coste-beneficio sin compensación se encuentra con serios problemas de legitimación en el análisis del cambio climático.

Por otro lado, asumir que hacer daño se puede compensar haciendo alguna cosa buena, o que hacer algo beneficioso a alguien nos da derecho a hacer daño conscientemente a otra gente, supone hacer un controvertido juicio de valor (Sen, 1982; Spash, 1994; Azar, 2000). En decisiones que afecten derechos elementales, como podría considerarse el mantenimiento de las condiciones básicas para la vida de las generaciones futuras, quizás no debería ser aceptable el criterio de compensación.

Es cuestionable que todos los impactos puedan traducirse en valores monetarios; el análisis coste-beneficio o los traduce en valores monetarios o los ignora. El criterio de

compensación del análisis coste-beneficio convencional implica poner un precio a las vidas humanas, lo que, en sí mismo, implica el supuesto de que el método para determinar su valor es correcto y que el dinero en los países ricos se puede comparar con las vidas en los países pobres (Azar, 2000). Esto, de nuevo, implica un juicio de valor determinante. De hecho, una de las cuestiones que hace unos años generó más controversia en el debate en torno al cambio climático fue la asignación por parte del IPCC (Pearce *et al.*, 1996) de un valor monetario a una muerte en un país rico 15 veces mayor que a una muerte en un país pobre (valores basados en las estimaciones de Fankhauser, 1995 y Tol, 1995). Además, las valoraciones se suelen sesgar por la elección de medidas de disposición al pago en casos en que la medida apropiada sería la disposición a aceptar, cuando la evidencia empírica muestra que la segunda medida da valores muy superiores.

Desde la perspectiva convencional, Hamaide y Boland (2000) intentan “superar” la limitación del criterio de compensación (potencial) estudiando soluciones donde “todos ganen” gracias a una compensación efectiva. Su solución sugiere que los países pobres, que serían los más beneficiados por las políticas de mitigación, deberían pagar una compensación económica a China y a los Estados Unidos para que controlaran sus emisiones. A pesar de que el análisis convencional suele hablar de neutralidad de valores, incorpora fuertes juicios de valor que son éticamente cuestionables —¿cómo justificar desde un punto de vista ético que los países pobres tengan que subsidiar el control de emisiones de los Estados Unidos?—.

La compensación potencial implícita en los análisis coste-beneficio consiste en la posibilidad de pago por parte de aquéllos que se verán afectados en el futuro para que, en el presente, los causantes del problema incurran en los “cos-

tes" de reducir sus emisiones. Si se requiriera compensación efectiva, ésta implicaría el pago de una compensación por parte de las generaciones futuras para evitar que las generaciones presentes destruyan las condiciones necesarias para la vida en el futuro. Además, esta compensación se daría desde los países pobres a los países ricos. Una compensación intergeneracional como ésta sería difícil de establecer, pero la cuestión fundamental es que resulta de asumir como legítima una distribución de derechos muy injusta. Es difícilmente justificable bajo conceptos de ética o justicia que los pobres deban sufrir las cargas ecológicas que implican el mayor desarrollo de los países ricos.

El análisis coste-beneficio convencional asume que existe el derecho a contaminar, sin obligación de compensar a quien sufre las consecuencias de este comportamiento. No obstante, considerar que la misma posibilidad de existencia de las generaciones futuras dependa de las preferencias de los individuos presentes que puedan expresarse en mercados, parece éticamente cuestionable. Existen fuertes argumentos para cuestionar la validez ética de la distribución de derechos que implica el análisis convencional —según la cual la Tierra y todos sus recursos pertenecen al presente y tiene el derecho a destruirlos—, así como de la aplicación del criterio de compensación en el análisis del cambio climático.

2.3.4. Otros supuestos y juicios de valor controvertidos de los modelos clima-economía

Algunos de los modelos clima-economía más conocidos han tendido, además, a asumir otros supuestos que afectan críticamente a sus resultados y que han tendido a infravalorar los costes y sobrevalorar las ganancias económicas del cambio climático, llevando a la recomendación de un control de emisiones moderado, al menos en el corto plazo (en

Padilla (2004) puede encontrarse una revisión de estos problemas). Entre éstos, destacan: ignorar los beneficios secundarios del control que implica una menor contaminación (menores emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), etc.) ; tratar de forma inadecuada la incertidumbre, asignando probabilidades arbitrariamente bajas a los efectos catastróficos (o excluyéndolos en el análisis); infravalorar los efectos económicos beneficiosos del control de emisiones, como la reducción de distorsiones fiscales al sustituir impuestos distorsionantes por impuestos ambientales o el desarrollo de nuevos sectores asociados a las tecnologías de mitigación. En general, se ha tendido a asumir supuestos optimistas respecto a los impactos del cambio climático y pesimistas respecto al esfuerzo que supone la mitigación. También es común el supuesto de que, incluso si no hubiera controles, se produciría un pico en las emisiones de gases de efecto invernadero, tras el cual las emisiones disminuirían. Esto se basa en la hipótesis de la llamada curva de Kuznets ambiental, según la cual el mismo crecimiento económico sería el causante de los cambios necesarios para la desaparición del problema ambiental. Pero la evidencia empírica para los gases de efecto invernadero, y en especial para el CO₂, tiende a refutar esta hipótesis (véase por ejemplo Roca *et al*, (2001)).

Además, los escenarios de emisiones futuras del IPCC (2000) son más pesimistas de lo que muestran la mayoría de los citados modelos económicos. Por último, los impactos asociados con los márgenes superiores de calentamiento estimados por el IPCC (2001b) están aún insuficientemente explorados por estos modelos. Esto puede sugerir que los impactos de cambio climático y la reducción de emisiones "óptima" podrían haber sido subestimados. Cabe comentar que, como recoge la reciente revisión de Stern (2006), la evidencia posterior a la realización del último informe del IPCC

tiende a ser aún más pesimista sobre los impactos negativos del cambio climático. Esto lo confirmará el Cuarto Informe del IPCC, que verá la luz en 2007.

2.3.5. El desarrollo sostenible y los derechos de las generaciones futuras en el análisis del cambio climático

La definición más conocida de desarrollo sostenible lo caracteriza como “[...] el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.” (World Commission on Environment and Development, WCED, 1987). Para cumplir con esta definición se debería imponer al desarrollo actual la restricción de que no se usen los recursos de manera que se perjudique las oportunidades del futuro y los análisis de las políticas climáticas deberían introducir este requisito. Esto implicaría asumir como legítima una distribución de derechos diferente a la del análisis económico convencional. La consideración de la obligación de respetar los derechos de las generaciones futuras implicaría un análisis de las políticas de mitigación que incorpore restricciones en los impactos del cambio climático.

En concreto, las obligaciones del presente deberían llevar a la “estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que evite interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático”, objetivo último de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, CMNUCC (Artículo 2. Objetivo). Si no se actúa a tiempo puede exponerse la Tierra a presiones climáticas sin precedentes que perjudiquen gravemente la capacidad ecológica y económica legada al futuro. Por otro lado, el respeto a los derechos del futuro debe hacerse de la forma que implique un menor sacrificio al pre-

sente. Incluso Nordhaus (1997), autor del más conocido modelo clima-economía de optimización económica, ve una clara oposición entre la eficiencia económica —tal y como la entiende el análisis coste-beneficio convencional— y el desarrollo sostenible y sugiere el establecimiento previo de objetivos fijos para los niveles permisibles de cambio climático, y por tanto las concentraciones o emisiones.

Los modelos de optimización basados en el coste-beneficio nos ofrecen una información de gran valor, analizando el posible impacto en la economía de las diferentes alternativas de política. No obstante, es necesario que quede claro en qué juicios de valor se basan, cuáles son las elecciones críticas de los modelos sobre cuestiones sujetas a controversia y cuáles son sus limitaciones respecto a la información que incorporan y el trato que hacen de la incertidumbre existente, ya que todas estas cuestiones influyen determinantemente en sus resultados. En cualquier caso, los resultados de estos modelos económicos no evitan el debate sobre qué impactos o riesgos sobre las generaciones futuras se consideran tolerables, lo que dependerá de las diferentes visiones y juicios de valor sobre justicia intergeneracional.

2.3.6. La mitigación del cambio climático

El informe del IPCC (2001c) señala con detalle las diferentes alternativas posibles en cuanto a las políticas de mitigación. La revisión de la economía del cambio climático de Stern (2006) destaca tres elementos fundamentales para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero de una forma eficiente —es decir, que suponga un menor sacrificio al presente—. En primer lugar, poner un precio al carbono mediante impuestos, comercio o regulación. En segundo lugar, fomentar la política tecnológica, apoyando la innovación y el despliegue de las tecnologías bajas en carbono. En

tercer lugar, eliminar las barreras al cambio tecnológico para la adopción de tecnologías limpias, favoreciendo la eficiencia energética e informando sobre las posibilidades de actuación frente al cambio climático.

El cambio climático es un problema global y sólo se puede dar una solución efectiva al mismo si la respuesta es internacional. Los nuevos acuerdos contra el cambio climático se deberían construir sobre los marcos ya existentes, como la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto (que acordaba una reducción del 5,2% de las emisiones de gases de efecto invernadero en los países desarrollados para el periodo 2008-2012 en relación a las emisiones de 1990), pero deberían ir mucho más lejos en sus compromisos de reducción que los acuerdos actuales. Como concluye el informe Stern (2006), debe existir una visión compartida de los objetivos y debe

haber acuerdo sobre los marcos de actuación. Algunas de las medidas fundamentales que, según el informe, deberían incluir esos marcos, son: el comercio de emisiones, la cooperación tecnológica entre países, las medidas para reducir la deforestación, así como medidas de adaptación para paliar los efectos del cambio climático. Las medidas de adaptación son especialmente urgentes en los países pobres, los más vulnerables al cambio climático, si se quiere reducir la gravedad de los impactos negativos.

Posiblemente aún estemos a tiempo de evitar los peores riesgos del cambio climático, que según los últimos estudios podrían ser catastróficos. Si bien los esfuerzos económicos para conseguirlo no son pequeños, éstos podrían suponer un coste razonable para “asegurarnos” contra sus peores efectos y evitar así los riesgos de impactos catastróficos sobre las generaciones futuras.

3.

Actividad económica y emisiones de CO₂ en España

3.1. Introducción

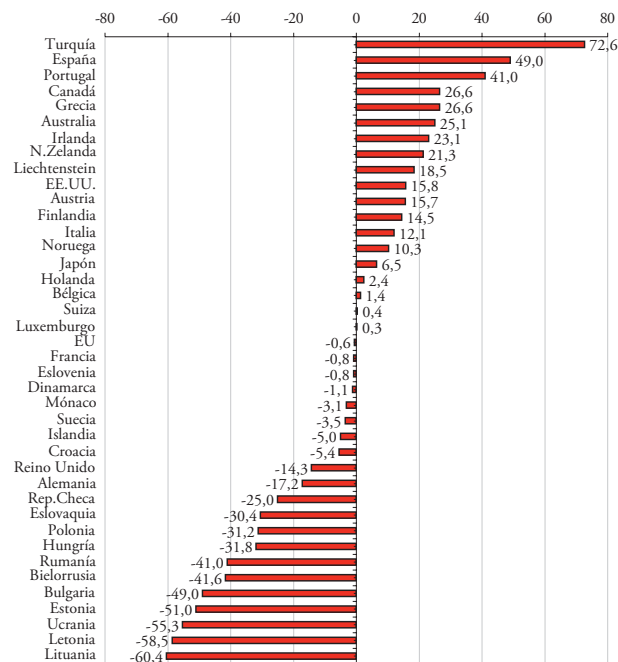
La firma del Protocolo de Kyoto a finales de 1997 comprometía a los países industrializados (Anexo B del mismo) a limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero. La Unión Europea (UE) estableció para sus países miembros un reparto de cargas, para cumplir el compromiso, que implicaba una reducción conjunta del 8% respecto de los niveles de 1990 para los seis gases siguientes: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆ (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarburos, compuestos perfluorinados y hexafluoruro de azufre). Para España, el Acuerdo de la Presidencia del Consejo de Medio Ambiente de Junio de 1998 permitía un incremento de las emisiones del 15% respecto a los niveles de 1990.

Si atendemos a la última información facilitada por la Convención Marco sobre el Cambio Climático, las emisiones de gases de efecto invernadero en España ascendieron en 2004 a 427,9 Tg (teragramos) de CO₂ equivalente, descontados los cambios en uso de tierras y reforestación, principalmente. Ello significa que el crecimiento experimentado sobre el año base (1990) ha sido del 49%, sólo superado por Turquía, con un incremento del 72,6%. Si se tiene en cuenta el porcentaje de crecimiento objetivo, se ve que existen razones más que justificadas para considerar los motivos que nos han conducido a realizar este trabajo, así como intentar entrever los posibles rumbos que pueden tomar estas emisiones, y discernir sobre las necesidades futuras de investigación de cara al diseño de políticas ambientales correctas.

Con el fin de poner de manifiesto la relevancia de lo que venimos diciendo y la situación de España desde una perspectiva comparada, hemos elaborado la Figura 10, que muestra de una forma palpable lo alejados que nos encontramos de nuestros compromisos.

La reducción de emisiones contaminantes y el mantenimiento de las cotas de bienestar de las sociedades requieren un delicado equilibrio entre políticas que, muchas veces, tienen efectos contrarios. En el caso de los gases de efecto invernadero esta cuestión es esencial por-

Figura 10: Cambios en el total de emisiones agregadas de gases de efecto invernadero de las distintas Partes del anexo I, 1990-2004. Cambios en las emisiones de GEI sin UTS(*) %. Fuente: Elaboración propia con información procedente de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)



*Crecimiento después de descontar los efectos del cambio de uso de suelos, reforestación y otros.

que las emisiones de estos gases dependen, en general, del consumo de combustibles fósiles. Habida cuenta de la estrecha relación existente entre crecimiento económico y consumo energético, las políticas encaminadas a la reducción de emisiones pueden chocar con los objetivos de desarrollo de la sociedad, sobre todo cuando éste se contempla como mera expansión material, y el bienestar como residuo del crecimiento a ultranza. De ahí la importancia que tiene establecer la ligazón entre comportamiento económico y consumo energético en general.

La mayoría de los análisis sobre los cambios en las necesidades de energía y sus consecuencias para las emisiones de CO₂ tienen, normalmente, dos características que se discuten en este trabajo. La primera se refiere a los cambios en lo que se llama intensidad energética, que es la relación entre la energía consumida en un territorio, en términos físicos, y la producción generada, medida normalmente por el producto interior bruto (PIB) a precios constantes. Es, en definitiva, la energía requerida por unidad de producto y suele tomarse como indicador de la eficiencia energética del sistema económico en su conjunto (de tal manera que una disminución de este indicador respondería a un incremento de la eficiencia en el uso de la energía, por ejemplo). Sin embargo, aunque este es un buen indicador global de eficiencia energética, presenta serias limitaciones a la hora de imputar responsabilidades sectoriales tanto en el volumen de energía primaria consumida

como en las emisiones atmosféricas que acompañan a dicho consumo. En efecto, al hablar de energía primaria nos estamos refiriendo a las fuentes originarias de la energía, por ejemplo carbón, crudo de petróleo, calor nuclear, etc., y, aunque algunas de estas fuentes son susceptibles de ser utilizadas directamente en usos finales, la mayoría de las veces utilizamos energía secundaria, es decir, la obtenida de aquellas fuentes primarias: electricidad a partir de carbón o energía hidráulica, gasolina a partir del petróleo, etc., dando lugar en cada transformación a pérdidas irreversibles. Por otro lado, cuando utilizamos la energía con un determinado propósito final, como poner en funcionamiento una máquina en un proceso productivo, calentar agua, iluminar un determinado espacio y otros tantos hechos cotidianos, también se producen pérdidas de calidad interna de la energía utilizada que dependen del uso más o menos eficiente que hagamos de esta energía final utilizada. La eficiencia energética, pues, está influenciada tanto por los efectos de la eficiencia en la transformación de energía por los sectores energéticos, como en la eficiencia en el uso final de la energía por el resto de sectores económicos. Este análisis se llevará a cabo en el apartado siguiente.

Por otra parte, la eficiencia energética global depende de un conjunto de factores que permitan aislar los efectos explicativos de la demanda de energía y considerar, de una parte, la eficiencia energética “pura” y, por otra, el impacto del cambio estructural en la economía sobre la mencionada demanda. Se llevarán a cabo estos desarrollos en los apartados a continuación.

Los dos aspectos anteriores permitirán llegar a un primer diagnóstico de las cuestiones básicas a tener en cuenta en el caso español a la hora de explicar la evolución, pasada y presente, del consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂. Por ello, a modo de síntesis se ligarán los resultados obtenidos con las propuestas analíticas de la llamada curva de Kuznets ambiental. Es evidente que se trata más de una síntesis descriptiva que analítica, que se lleva a cabo con la intención de recapitular los resultados obtenidos. Esta tarea se abordará en un paso del análisis posterior.

Por último, en el último apartado, se destacará en forma de conclusiones aquellos aspectos relevantes a la hora de afrontar el esbozo de políticas económicas encaminadas a la mitigación de estas emisiones.

Se añade un Apéndice metodológico, al final del monográfico, los desarrollos metodológicos que se apuntan en los apartados 3.2 y 3.3.

A lo largo de todo el capítulo, salvo advertencia en sentido contrario, la información estadística utilizada procede, en el caso de las emisiones de CO₂, de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2004) y los consumos de energía así como el producto interior bruto en paridad de poder adquisitivo de la OCDE (2004). Por lo que se refiere a la información económica sectorial se ha utilizado la base STAN de la OCDE (*Structural Analysis Database for Industrial Analysis*). Ello ha permitido usar las mismas nomenclaturas sectoriales, tanto en lo que se refiere a las emisiones de CO₂ como en lo referente a indicadores de producción. Aunque a la hora de redactar estas páginas sólo hemos dispuesto de información homogénea para los años aquí analizados, esto no desvirtúa en absoluto el análisis al tratarse de un análisis de tipo estructural. En forma de anexos se dan los datos desagregados más relevantes para la interpretación y comprensión de los resultados obtenidos con elaboración propia.

3.2. Las emisiones de CO₂ en España desde una perspectiva de largo plazo

En este apartado se aborda el proceso de desarrollo de la economía española, que se inicia a mediados de la década de los cincuenta del siglo XX, en cuanto a los vínculos existentes entre este proceso de crecimiento y las emisiones de CO₂. Entendemos que el diseño de políticas ambientales, y económicas con consecuencias ambientales, debe abordarse teniendo en cuenta la experiencia histórica en un doble sentido. Por una parte, porque es una forma de aprender de errores pasados, atendiendo a los hechos acaecidos desde una perspectiva de largo plazo, y, por otra, porque los procesos económicos requieren tiempo y están sujetos, muchas veces, a las inercias del pasado. Se enfoca el análisis, pues, desde una perspectiva de largo plazo. Ello supone que se encara el problema, en una primera aproximación, desde un punto de vista histórico, abarcando el análisis un lapso temporal que va desde 1960 hasta los primeros años del nuevo siglo.

En las páginas que siguen se mostrará cómo la evolución del uso de energía primaria, que tiene una importancia crucial tanto desde una óptica económica como ecológica, puede ser analizada combinando la información que proporcionan los balances energéticos y las estadísticas económicas al uso. Se utilizarán para ello relaciones poco complejas entre variables económicas y ambientales, modelos contables sencillos, que permitirán hacer un primer diagnóstico de la íntima relación que existe entre la actividad económica y la emisión de gases de efecto invernadero. Se limitará el análisis a las emisiones referentes al más importante de estos gases, el dióxido de carbono (CO₂), según se vio en el apartado 1.1.3. La inclusión del resto de gases no ha sido posible debido a las limitaciones de información, desde una perspectiva de largo plazo para España.

Si se contemplan las emisiones de CO₂ desde una perspectiva agregada éstas pueden ser descompuestas según la siguiente identidad:

$$(1) \quad C(t) \equiv \frac{C(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

en la que C son las emisiones totales de este gas o, en algunos casos, las emisiones de gases de efecto invernadero reducidas a unidades de CO₂ equivalente; EP es el consumo de energía primaria total reducido a unidades energéticas equivalentes (toneladas equivalentes de petróleo (TEP), julios (J), kilowatios hora (kWh), etc.); PIB se corresponde con las siglas del producto interior bruto a precios constantes, como indicador del volumen de producción del área geográfica considerada y POB es la población. Los indicadores están referidos a un periodo de tiempo determinado t , normalmente un año.

Conocida como la identidad de Kaya (1989), la expresión anterior nos dice que las emisiones de CO₂ dependen de las emisiones por unidad de energía primaria utilizada, un indicador de carbonización de los consumos energéticos, del consumo de energía primaria por unidad de PIB, lo que se conoce como intensidad energética, del PIB *per capita*, una medida de la afluencia de bienes de que disfruta la sociedad y, por último, del nivel de población como factor de escala. Esta descomposición puede verse como una de las habituales descomposiciones tipo IPAT²⁶ (Commoner, 1992), que muestran la relación de los impactos ambientales (I) con los niveles de población (P), la afluencia de bienes (A) y la tecnología utilizada por la sociedad (T).

Tal y como exponen Alcántara y Roca (1995), los factores que explican las emisiones de CO₂ se deben a los procesos de transformación del sector energético, la estructura de combustibles finales por parte de los distintos sectores

²⁶ Las descomposiciones tipo IPAT parten de una identidad que expresa una variable como producto de otras. Al tratarse de una identidad, lo que da sentido al análisis es la descomposición del crecimiento de la variable explicada en función de las otras variables explicativas. Especificamos el significado de las siglas I, P, A y T: en el caso de la expresión (1), P se corresponde con POB, la población en millones de habitantes, A es afluencia de bienes por el PIB *per capita*, I son las emisiones de CO₂, y T, la tecnología, que viene dada, en nuestro caso, por el producto de los dos primeros factores de la expresión (1).

productivos y el consumo energético final de los mismos. Hay que tener en cuenta, también, que tal consumo final total y las emisiones de CO₂ asociadas al mismo dependen, en última instancia, del consumo específico de cada sector (intensidad energética final sectorial), de la estructura productiva y del nivel de actividad de la economía. A continuación se muestra la conexión entre el comportamiento agregado de la economía española y las emisiones totales de CO₂.

Con el fin de tener en cuenta estos efectos explicativos, se escribe la expresión (1) como sigue:

(2)

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EFS(t)} \times \frac{EFS(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{EF(t)} \times \frac{EF(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

Las nuevas variables introducidas en la identidad anterior van a permitir hacer un primer diagnóstico, más cuidadoso, al descomponer la intensidad energética en tres nuevos factores cuya relevancia se verá enseguida. *EFS* constituye el consumo de energía fósil, del que, en última instancia, dependen las emisiones de CO₂ y *EF* es la energía final consumida.

Con esta nueva información, *C/EFS* es, ahora, un indicador genuino de carbonización²⁷ ya que la introducción de la variable *EFS* permite descomponer el primer factor en la parte derecha de la expresión (1) en dos factores. En efecto, *C/EFS* está indicando la variación de las emisiones en relación con la energía fósil consumida, por tanto, las variaciones en la composición de los combustibles fósiles utilizados vendrá recogida por este factor. Por otra parte, *EFS/EP* da el peso de estas fuentes energéticas en la energía primaria total. Así, de esta manera, desde la perspectiva del tipo de energía utilizada, las emisiones dependen tanto del tipo de fuentes fósiles utilizadas como de su intensidad de uso.

La intensidad energética es una magnitud agregada que depende, como se pone de manifiesto en Alcántara y Roca, (1995), de importantes componentes, tales como la estructura productiva, los hábitos de consumo, la eficiencia en la transformación y en el uso de la energía final, entre otros. Desde una perspectiva agregada, interesa descomponer ésta en dos importantes factores, a saber: la cantidad de energía primaria por unidad de energía final utilizada en el conjunto de la economía, y que viene dada por el factor *EP/EF*, y las necesidades de energía final por unidad de producto, *EF/PIB*. Mientras que *EP/EF* es un indicador agregado de la eficiencia del cambio tecnológico en el sector energético, en tanto que sector transformador, *EF/PIB* muestra el uso más o menos eficaz con que los agentes económicos utilizan la energía²⁸. Los otros dos factores quedarían definidos, en un primer análisis, como en la expresión (1) (ver Apéndice metodológico).

Con el fin de explicar desde una perspectiva histórica la evolución de las emisiones de CO₂, se ha realizado un análisis que abarca un lapso temporal que va desde 1960 hasta la fecha más reciente para la que existen datos coherentes tanto desde la perspectiva de la relación entre las variables utilizadas, como del objetivo global de estas páginas (normalmente, 2002 ó 2003). Si se atiende a lo que se señalaba al principio, al referirnos al diseño de políticas ambientales, y económicas con consecuencias ambientales, y su relación con la experiencia histórica, el análisis que se llevará a cabo permitirá, por una parte, considerar el problema desde una perspectiva de largo plazo y, por otra, determinar los condicionantes estructurales de políticas futuras. Asimismo, el examen de este periodo histórico servirá de base para un primer diagnóstico de los móviles que han dado lugar al poco éxito en el cumplimiento de los compromisos de Kyoto.

A partir de la expresión (2) es posible descomponer la evolución a lo largo del tiempo de las emisiones de CO₂, al

²⁷ Los matices en torno al concepto de carbonización surgen al referir la misma a la llamada curva de Kuznets ambiental y sus factores explicativos. De forma general se utiliza para la relación entre emisiones de CO₂ y consumo de energía primaria. Otros autores se refieren a la relación entre este gas y el PIB a precios constantes, aunque nosotros preferimos referirnos a esta relación como intensidad de emisión. Para no extendernos con esta cuestión, el lector interesado puede consultar: Ang (1999a), Mielnik y Goldemberg (1999), Sun (1999) y Roca y Alcántara (2001).

²⁸ La descomposición sugerida se basa en la propuesta analítica de Hamilton y Turton (2002). Conviene señalar que en la relación *EP/EF* la parte correspondiente a electricidad en el consumo final es muy relevante, como estos autores muy acertadamente apuntan.

menos atendiendo a cada uno de los factores que conforman dicha expresión. En este sentido, esta evolución se explicaría por un “efecto carbonización”, atendiendo al incremento o disminución experimentado por el impacto que sobre las mismas hubiera tenido el primero de los factores a la derecha de la expresión. También por un efecto dado por la composición de los consumos de energía primaria, que se llamará “efecto sustitución”. Como se ha tomado como indicador de eficiencia en la transformación el indicador que relaciona la energía primaria con la energía final, se llamará a la traza dejada por esta variable “efecto transformación”. La ampliación o disminución de las emisiones debidas a la evolución de la eficiencia en el uso de la energía final (*EF/PIB*) vendrán dadas por lo que se señalará como “efecto eficiencia”, entendido que un incremento de la eficiencia se explica por una disminución de este factor. Por último, no es equívoco llamar “efecto riqueza” y “efecto población” a los impulsos debidos a las dos variables restantes, respectivamente.

Con el fin de hacer más fácil la lectura hemos elaborado la siguiente tabla que resume las variables que vamos a utilizar y su significado (Cuadro 4):

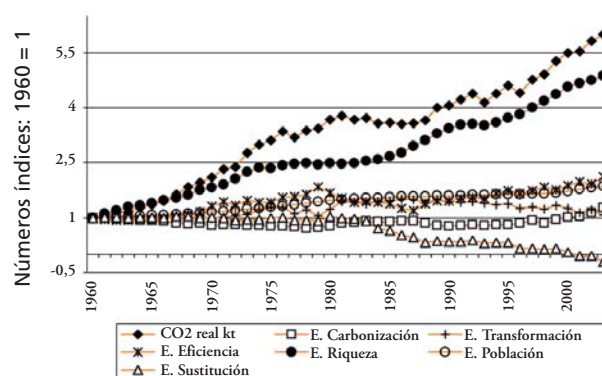
A partir de la descomposición esbozada puede establecerse la evolución de las emisiones de CO₂ en España debidas a estos seis efectos explicativos (en Anexo I). En la Figura 11 se muestra, junto a la evolución efectiva de las emisiones, las que habrían tenido lugar si sólo se hubiera dado el crecimiento de cada una de las variables permaneciendo las demás constantes. Cada línea, entonces, muestra la contribución de cada una de las variables a la variación total.

La figura muestra, desde el punto de vista de las emisiones, tres periodos claramente diferenciados: el primero abarca desde 1960 hasta los primeros ochenta, con tasas de crecimiento medio anual acumulativo del 6,5%, muy superior al del PIB *per capita*, que fue del 4,1%, dando lugar a un sus-

Cuadro 4: Componentes utilizados para analizar la evolución de las emisiones de CO₂. Fuente: Elaboración propia.

Variable	Siglas	Observaciones	Nombre del efecto que provoca su variación
Impacto a explicar	CO ₂	Emisiones de CO ₂	Efecto total
Factor de carbonización	C/EFS	Su disminución es positiva para el cambio climático	Efecto carbonización
Nivel de uso de energía fósil en la sociedad	EFS/EP	Su disminución es positiva para el cambio climático	Efecto sustitución
Factor de transformación	EP/EF	Su disminución muestra la eficiencia del sistema energético	Efecto transformación
Necesidades de energía final por unidad de PIB	EF/PIB	Su disminución muestra la eficiencia en el uso de la energía tanto en la producción como en el consumo	Efecto eficiencia
Factor de afluencia de bienes a la sociedad	PIB/POB	PIB <i>per capita</i>	Efecto riqueza
Factor de escala	POB	Habitantes	Efecto población

Figura 11: Descomposición de la evolución de las emisiones de CO₂ (1960-2003). Fuente: Datos del Anexo I y elaboración propia



tancial incremento de la intensidad de emisión. A este respecto, cabe tener en cuenta que el periodo comprende años de crisis por el primer *shock* petrolífero. No obstante, todos estos años se vieron acompañados por un impacto negativo del efecto eficiencia y, asimismo, por un crecimiento sostenido de la población con tasas superiores al 1% anual acumulativo. En lo que se refiere a los efectos composición y carbonización, se mantuvieron estables y, como se verá, incluso tuvieron un comportamiento favorable. Por otra parte, la eficiencia en la transformación de la energía fue muy escasa, al menos tal como aquí ha sido definida, aunque con respecto a esta cuestión se debe ser cuidadoso y no es ésta la mejor metodología²⁹ para hacer afirmaciones concluyentes.

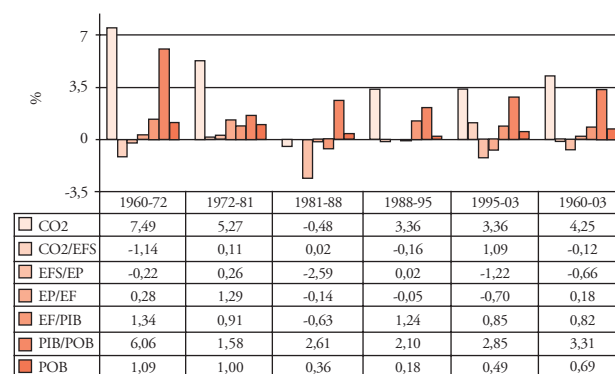
El siguiente periodo claramente diferenciado es el de la década de los ochenta, en la que no se dan ambigüedades. Hasta mediados de la década no comienza a recuperarse el producto *per capita*, que es el único factor que explica el rebrote, nuevamente, de las emisiones. El resto de factores explicativos experimentó una caída que compensó el incremento del PIB en la segunda mitad de la década, de tal manera que las emisiones de CO₂ decrecieron, al menos, entre 1981 y 1988.

Por último, en los años finales del siglo pasado y los primeros del actual se ve claramente el paralelismo entre la afluencia de bienes a la sociedad y las emisiones. Se diría que es el crecimiento de la actividad productiva el que juega aquí un papel destacado, al que hay que unir el mayor uso de energía final por unidad de PIB, efecto eficiencia, así como un repunte, aunque modesto, en el crecimiento de la población. Por otro lado, tanto el efecto transformación, los requerimientos de energía primaria por unidad de energía final, como el efecto sustitución jugaron a favor de la disminución de las emisiones, pero, como se ve, estos factores no fueron suficientes para compensar el comportamiento conjunto de los demás.

Aunque los tres periodos considerados parecen muy bien delimitados siguiendo en la figura la evolución de las emisiones reales, no lo son desde la perspectiva de la evolución teóricamente imputada. Nos referimos, como se señalaba al principio, a las que habrían tenido lugar atendiendo a la variación de cada uno de los factores manteniendo lo demás constante. Para poder ver esta heterogeneidad se ha elaborado la Figura 12, donde se muestran también las tasas de crecimiento anual medio de los distintos factores referidas a periodos más cortos, lo que permitirá exponer las razones que explican determinados comportamientos.

La época de más alto crecimiento de las emisiones de CO₂ se corresponde con el periodo de desarrollo de la economía española, y que hemos fijado entre 1960 y 1972. Altas tasas de crecimiento del PIB *per capita*, medido en paridad de poder adquisitivo, que dan una media del 6,1%, a lo que se une, como antes se decía, el aumento sostenido de la población y un crecimiento del consumo de energía

Figura 12: Evolución de las variables explicativas de las emisiones de CO₂ (Tasas de crecimiento medio anual acumulativo)
Fuente: Datos de la OCDE (2004) y AIE (2004) y elaboración propia



29 Sobre la cuestión metodológica, véanse Alcántara y Roca, (1995) y (1996).

final por encima del crecimiento de la población. Esto no es extraño porque ante el cambio espectacular en los niveles de crecimiento se generan, como señaló Sudrià (1987), “[...] nuevas preferencias de los consumidores (que) exigían cambios sustanciales en el sector energético que debía satisfacerlas”. En efecto, la intensidad energética tanto final como primaria se ve afectada por múltiples factores que tienen que ver con los patrones de desarrollo, la estructura productiva de la economía, los distintos tipos de combustibles utilizados, la eficiencia con que se utilizan las distintas fuentes de energía, así como los estilos de vida. En el caso de España, el cambio en los patrones de consumo y el incremento del transporte por carretera planteó un incremento sustancial de la demanda energética que daría soporte a los nuevos hábitos. Como dice el mismo autor: “La demanda de gasolina, por ejemplo, experimentó un aumento entre 1960 y 1973 del 13,1% anual. En el caso de la electricidad el ritmo de incremento medio en el mismo periodo fue del 11% anual” (Sudrià, 1987).

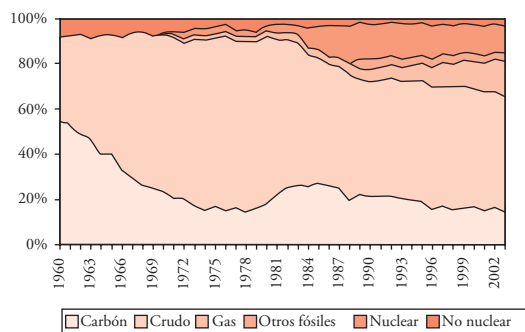
La intensidad energética, que en este apartado del análisis se ha descompuesto en dos factores, no tendría por qué crecer si la evolución de la producción y el consumo energético productivo lo hacen al mismo ritmo, lo que requiere un delicado equilibrio entre la evolución de la eficiencia energética de los procesos de producción y la estructura productiva de la economía, así como de los estilos de vida y consumo. En efecto, las ganancias de eficiencia en la transformación dadas por la evolución de la relación *EP/EF*, con un proceso sostenido de disminución a partir de 1981, fueron más que agotadas por el incremento de la relación entre energía final y PIB. Este comportamiento está en la base del incremento energético por unidad de PIB y, desde nuestro punto de vista, junto al incremento de la afluencia de bienes a la sociedad fueron determinantes a la hora de explicar el incremen-

to sostenido de las emisiones de CO₂ *per capita*. En el próximo apartado, dedicado al análisis sectorial, se verán con más detalle estas cuestiones.

Dos importantes aspectos a destacar son el comportamiento del “efecto carbonización”, por una parte, y lo que se ha llamado “efecto composición”, por otra. Ambos están íntimamente ligados ya que, en última instancia, se reducen a una simple relación *C/EP*, lo que considerábamos como indicador de carbonización (ver Nota 27 a pie de página). La disposición en dos factores obedece a importantes razones de índole práctica, toda vez que la cantidad de emisiones por unidad energética depende tanto de los coeficientes específicos de emisión de las distintas fuentes energéticas, como de la magnitud de la participación de los combustibles fósiles en el total de energía primaria utilizada. Como puede observarse en la Figura 11, el uso de los combustibles fósiles ha mantenido una caída continuada desde los primeros ochenta. Esta caída que llegó a representar, en la década de los ochenta, un 2,6% de disminución de la contribución de estos combustibles a las necesidades de energía primaria (ver datos en la Figura 12). Se trata, desde esta perspectiva histórica, de la mayor contribución a la desaceleración de las emisiones. Pero que el porcentaje de participación decrezca, algo positivo en principio, no significa que su consumo deje de aumentar y que su crecimiento no tenga claras consecuencias para el indicador de carbonización. En este efecto carbonización el aspecto más destacable es la irregularidad en el decrecimiento a lo largo del periodo estudiado y, sobre todo, su contribución al incremento de las emisiones en los últimos años en un 1,09%. Véase esta cuestión más detenidamente a partir de la Figura 13, que muestra la distribución del consumo energético por fuentes.

Aunque la participación de los combustibles fósiles se mantuvo prácticamente constante hasta los primeros ochenta-

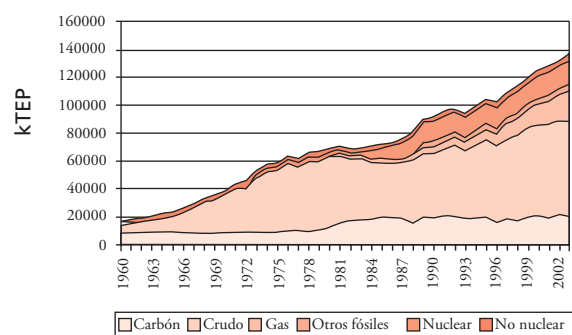
Figura 13: Consumo de energía primaria por tipos



ta, la sustitución del carbón, que representaba en 1960 el 54,6% de las fuentes energéticas, por petróleo y gas natural, aunque en menor medida por este último, explica la reducción del factor de carbonización medio hasta los primeros setenta. La vuelta al carbón, a partir de la segunda mitad de la década de los setenta, da lugar a un menor ritmo de descarbonización, mucho más lento del que se dio en la década de los sesenta. El incremento de la energía de origen nuclear, que no consideramos que sea la mejor alternativa, tanto por el problema de los residuos como por la no renovabilidad del uranio, y un mayor recurso al gas natural, con un factor de emisión menor que el carbón y el petróleo, permitió hasta mediados de los años noventa mantener el ritmo de descarbonización. Pero el despegue manifiesto del petróleo imposibilitó que se sostuviera a partir de 1995 aproximadamente. Como se señalaba antes, mantenimiento o disminución porcentual en el consumo de los combustibles fósiles no significa no crecimiento. Ello explica la aparente contradicción en los datos de la Figura 12. Así, mientras la ratio EFS/EPE decrecía en los últimos años del periodo a un ritmo medio del 1,23% anual, el indicador de carbonización crecía al 1,09%. La Figura 14 evidencia lo anterior.

Parece bastante incuestionable que a partir de la segunda mitad de los ochenta y hasta 1995 se produce un muy leve

Figura 14: Consumo de energía primaria por tipos



incremento de la participación de las energías fósiles, un 0,02% interanual acumulativo entre 1988 y 1995, como puede verse en los datos de la Figura 12, y una disminución del $-0,17\%$ del indicador de carbonización, C/EFS , que es fácilmente explicable por la sustitución del carbón por crudo y en mayor medida por gas natural. Sin embargo, aunque a partir de 1995 el peso de los combustibles fósiles en el consumo total de energía primaria disminuyera a un ritmo medio anual acumulativo del $-1,23\%$, el carbón creció en todo este periodo un 3,5%, el petróleo un 24,4%, menos que el gas natural, que incrementa su participación enormemente como se confirma en la Figura 13. Pero el peso del crudo es lo suficientemente sustancial como para explicar su responsabilidad en las emisiones como confirma la Figura 14.

Aunque después de la crisis del petróleo tanto el PIB *per capita* como el consumo energético por unidad de PIB no hayan vuelto a crecer a los ritmos de los años sesenta, y supongan un ritmo más lento en el crecimiento de las emisiones hasta el final del periodo analizado, eso no comporta una disminución de las mismas y, por tanto, tampoco una situación más acorde con los principios del desarrollo sostenible.

Si se analiza con detenimiento la información sobre toda la etapa considerada, se comprueba que, pese a su buen comportamiento, aunque no especialmente relevante, los

efectos carbonización y sustitución han sido insuficientes para compensar el efecto de afluencia de bienes, manteniendo espectaculares ritmos de crecimiento de las emisiones de CO₂. Conviene entonces examinar, cuando menos para fechas más recientes, los efectos que explican el papel jugado por el crecimiento de la actividad económica en su relación con los impactos ambientales que aquí se analizan. Sin duda, el comportamiento de los sectores que conforman la economía española, así como su estrecha relación con el entramado energético, permitirán encontrar explicaciones a los resultados anteriores.

3.3. Análisis sectorial

El análisis de las emisiones de contaminantes atmosféricos desde una perspectiva sectorial presenta algunos problemas de información. En primer lugar, la información que tanto la Agencia Internacional de la Energía (AIE) como el Ministerio de Medio Ambiente proporcionan – este último elabora los inventarios Corine-air³⁰ – distingue las emisiones por medio de transporte, pero no por usuarios. Así, en el caso del transporte por carretera no se distingue entre transporte personal, transporte realizado por las mismas empresas utilizando sus propios medios de transporte y el llevado a cabo por las empresas cuya actividad principal es el transporte, tanto de mercancías como de personas. Este problema se ha solucionado, en parte, por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en la elaboración de su información ambiental. El INE atribuye a cada sector productivo la parte de las emisiones que corresponde al transporte, con sus propios medios, de mercancías. Y al sector productivo de transporte, las suyas. No obstante, en el primer caso, no proporciona información separada entre las emisiones sectoriales referidas al transporte y las generadas por el uso energético en

los procesos de producción. En lo que se refiere a los hogares, sólo se da su cifra de emisión, sin distinguir entre transporte y otros. De ahí que no sea nada fácil un análisis pormenorizado de estos sectores, siendo como es la actividad del transporte una de las que más contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Por tanto, no se considerarán aquí las emisiones de CO₂ relativas al transporte ni tampoco aquellas vinculadas a los consumos energéticos de los hogares. No obstante, los resultados del estudio del comportamiento de los sectores productivos deben permitir determinar el margen de maniobra para actuar sobre los mismos, desde el punto de vista de la política económica y ambiental. Por otro lado, atendiendo a la importancia y las características del impacto de estos sectores, es posible intuir la magnitud y el papel a jugar por los mismos en relación a las mencionadas políticas. Se considerarán ahora las emisiones de los sectores productivos de la economía³¹, con excepción del transporte.

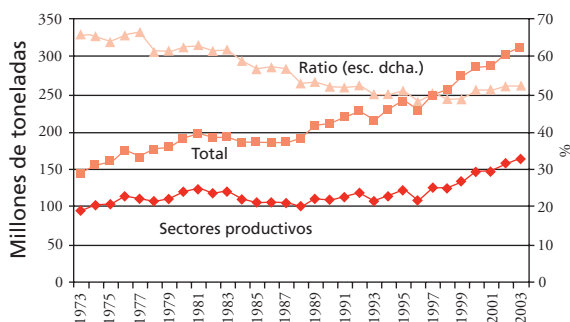
Aclarado lo anterior conviene, no obstante, mostrar la relación que se ha dado a lo largo del tiempo entre las emisiones de los sectores económicos (excluidos el transporte y los hogares), lo que hemos llamado de una forma un tanto laxa “sectores productivos”, y las emisiones totales de CO₂. Con esta finalidad se ha elaborado la Figura 15. Se ha tomado el periodo que va desde 1973 a 2003 y se ha incluido en el eje secundario el porcentaje que suponen las emisiones de los sectores productivos en el total.

Una simple inspección de la figura pone en evidencia el esfuerzo ahorrador de emisiones llevado a cabo por los sectores productivos, aunque no deje de ser cierto que otros países de nuestro entorno llevaron a cabo un esfuerzo mayor (Liaskas *et al.*, 2000). Desde 1981, las emisiones totales comenzaron a caer, así como las de los sectores productivos, y las de estos últimos se mantuvieron más o menos constan-

³⁰ Los inventarios para la *Coordination of information on the environment* (CORINE), se realizan por los Estados Miembros de la Unión Europea anualmente. Cubren también otros ámbitos del medio ambiente además del aire. El Corine-air presenta una información detallada sobre las emisiones contaminantes de los procesos productivos de la economía. No se trata de una información por sectores aunque, aun no siendo sencilla, permiten una imputación sectorial de las emisiones contaminantes atmosféricas.

³¹ La imputación de las emisiones de CO₂ que corresponden a cada sector productivo por sus consumos de energía eléctrica se ha calculado aplicando el coeficiente de emisión estimado por la AIE (2004), para cada unidad de energía eléctrica producida. La AIE calcula este coeficiente de emisión para cada año, por tanto, el mismo contempla el cambio en el tipo de combustible para la obtención de electricidad.

Figura 15: Emisiones de CO₂: sectores productivos y total.
Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2004)



res hasta 1996. Se vuelve pues, prácticamente, a los niveles de 1973. Si, con la información proporcionada por la Agencia Internacional de la Energía (IAE, 2003), para evitar efectos de tipo coyuntural se toman las medias de los tres primeros años del periodo considerado y la media de los tres últimos, las emisiones habrían pasado en total de 154,1 millones de toneladas (Mt) de CO₂ a 301,4 Mt. Esto supone un incremento del orden del 95,7% en el caso de las emisiones totales. De tal manera que, a efectos prácticos, estas últimas se duplicaron.

Los sectores productivos, en cambio, habrían pasado de 100,4 Mt a 156,6 Mt, con un incremento porcentual del 56,1%. No obstante, esta desconexión de los sectores productivos de las emisiones, aunque evidente, debe ser matizada. Si se presta atención a la evolución de la proporción señalada en la figura, la desconexión de las emisiones de la producción se acaba en 1995, aunque la ratio entre sectores productivos y total, que muestra esta desconexión, después se mantiene más o menos constante o con un leve incremento. En efecto, hasta 1995 se dio, como es bien sabido, un cambio tecnológico importante, unido a la reconversión de muchos sectores, lo que incrementó la eficiencia energética, la sustitución de combustibles, así como una mejora sustancial de la eficiencia en la transformación de energía³², entre

³² Ver a este respecto Alcántara y Roca (1995) y (2004). Véase asimismo el trabajo desarrollado por el Instituto de diversificación y ahorro energético (IDAE), 2001.

otras. Desde esta perspectiva, y limitándose al periodo 1973–1992, se puede comprobar esa disociación entre emisión total y particular de los sectores productivos. Así, tomando como antes el valor medio de las emisiones para evitar factores coyunturales, en la etapa que va de 1973/75 a 1991/93 el crecimiento de las emisiones totales fue del 46,3%, mientras que las emisiones ligadas a los sectores productivos fue sólo del 13,4%. Sin embargo, entre el periodo de 1991/93 a 2001/03 se da una evolución paralela y un tanto mayor de los sectores productivos. Las emisiones de los sectores productivos habrían crecido un 37,7% y las emisiones totales un 36,3%. Parece, pues, interesante analizar el periodo más reciente con el fin de mostrar los derroteros por los que han discurrido las emisiones vinculadas a la producción e intuir, en lo posible, las perspectivas futuras.

De nuevo en la figura 15, se observa que después de una cierta estabilidad emisora que va hasta casi finales de los ochenta, en concreto hasta 1986 y/o 1987, se produce una evolución creciente de las emisiones. Con el fin de proceder a un análisis detallado de esta evolución a nivel sectorial se analizará la etapa que va de 1986 a 2002³³. En ella, se han considerado dos intervalos de tiempo: por una parte, el que va de 1986, un momento de clara estabilidad, hasta 1992, y desde este año a 2002. Además, 1992 es la fecha final de un ciclo económico expansivo al que seguiría la recesión de 1993.

El punto de partida sigue siendo la identidad tipo IPAT, sólo que ahora debe considerarse que el volumen total de emisión es la agregación de las emisiones de cada uno de los sectores en que se divide la estructura productiva. El volumen de emisión en el momento t de un sector cualquiera i vendrá dado por la siguiente expresión:

$$(3) \quad C_i(t) = \frac{C_i(t)}{E_i(t)} \times \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \times \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \times Y(t)$$

³³ Nos hemos visto obligados a realizar el análisis hasta 2002 ya que la información sobre la producción sectorial, para 2003, no cubre el nivel de desagregación adecuado para nuestro análisis. Los datos extraídos de la base STAN de la OCDE se basan en información del INE. Sin embargo, tampoco hemos podido obtener la información necesaria a partir de esta institución.

Esto es, las emisiones de CO₂ de un sector cualquiera dependen de cuatro factores: del factor de carbonización medio del sector dado por la relación entre emisiones y consumo energético del sector; de su intensidad energética; de su participación en la escala de la producción; y del nivel de actividad global de la economía dado por el volumen total de producción de los sectores considerados. La emisión total debida a la actividad productiva de toda la economía vendrá dada por la agregación de todos los sectores:

$$(4) \sum_i C_i(t) = \sum_i \frac{C_i(t)}{E_i(t)} \times \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \times \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \times Y(t)$$

A partir de la expresión (4) es posible la descomposición en efectos explicativos de la variación anual de las emisiones que se obtendría utilizando la metodología expuesta en el Apéndice metodológico. Y se tiene:

$$(5) ET_t = EC_t + EI_t + ES_t + EA_t$$

De tal manera que la variación experimentada por las emisiones de CO₂, lo que se llamará “efecto total” (*ET*) se explica por los cambios en el factor de carbonización medio de todos los sectores, que se denominará como antes “efecto carbonización” (*EC*); por la eficiencia en el uso sectorial de la energía, que puede considerarse como “efecto eficiencia energética” o, simplemente, “efecto intensidad” (*EI*); por los cambios experimentados por la estructura productiva o “efecto estructura” (*ES*); y por la “escala de la producción” (*EA*). Conviene notar que el concepto de eficiencia energética es un efecto que podría calificarse de puro, es decir, que se obtiene a estructura constante. Este efecto es, ahora, más significativo que el utilizado en el apartado anterior, ya que el concepto de eficiencia energética que se utilizaba, aun considerando sólo la energía final, era un concepto de eficiencia bruta, muy

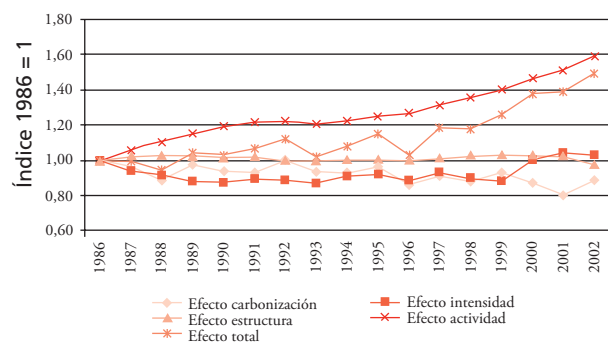
influenciado por la estructura productiva de la sociedad. De ahí el papel que otorgamos al nuevo efecto estructura introducido ahora en el análisis. Evidentemente, los cambios en la estructura productiva pueden, de rebote y sin que los sectores productivos hagan ningún esfuerzo para reducir la energía utilizada por unidad de producto, dar lugar a una disminución global de la intensidad energética y, paralelamente, de las emisiones contaminantes vinculadas al consumo energético.

3.3.1. Una perspectiva global del comportamiento sectorial

Considérese ahora la información del Anexo II, en el cual se recoge, para cada sector analizado, la variación total de sus emisiones (en miles de toneladas, kt) atribuibles a cada uno de los cuatro efectos explicativos a los que nos hemos referido. En la columna “Total”, se recoge la variación, año a año, que corresponde a todos los sectores para cada efecto. Con base en esta información, si, como se hizo antes, se añade al volumen de emisión del año *t-1* los valores de los distintos sumandos obtenidos en la computación de (5) (ver Apéndice metodológico), vuelve a obtenerse la evolución de las emisiones que habrían tenido lugar en el año *t* si sólo hubiera variado ese factor, permaneciendo lo demás constante. Vuelve a tenerse otra vez una especie de índice en cadena expresado en kt de CO₂. Si se toma como base el año 1986, la evolución de las emisiones puede verse en la Figura 16.

Con el fin de hacer patente la mayor o menor importancia de la evolución que se muestra en la figura, se ha elaborado una síntesis sobre el comportamiento de los distintos efectos y etapas en que se ha descompuesto todo el periodo considerado. Ello ayudará al lector a la hora de valorar los distintos comportamientos observados. Esta síntesis se muestra en el Cuadro 5. Desde una perspectiva de conjunto, tal

Figura 16: Evolución de las emisiones de CO₂ a partir del comportamiento agregado sectorial. Fuente: Datos del Anexo II y elaboración propia



como se ve en la Figura 16, las emisiones de CO₂ impulsadas por los sectores económicos entre 1986 y 2002 supusieron un incremento medio anual del 1,9% sobre la emisión total en 1986 (ver última parte del Cuadro 5), que ascendió en ese año a 185.410 miles de toneladas. Las relativas a los sectores económicos (excepto transporte) fueron, para el mismo año, 104.752,7 kt., lo que supuso un incremento medio anual de sus emisiones del 3,3%. Si se tiene en cuenta que el crecimiento medio anual de las emisiones totales, para el mismo periodo, fue del 10,2%, la contribución de la producción sectorial fue relativamente baja. Por tanto, estos resultados apuntan más al sector transporte y al consumo residencial como causantes del problema. Hay que preguntarse, desde una perspectiva global de la producción, por este bajo crecimiento respecto de las emisiones totales.

El factor explicativo más importante para todo el periodo es el efecto carbonización, el que más contribuye a compensar el efecto actividad dado por la expansión de la economía. Si se atiende a lo que se planteaba al principio de este capítulo, la descarbonización se produce por la estabilización de la participación porcentual de los combustibles fósiles, por una parte, y por la sustitución de fuentes energéticas primarias por otra. En efecto, la sustitución del carbón por gas natural,

Cuadro 5: Efectos explicativos de la variación de emisiones de CO₂ en España entre 1987 y 2002. Fuente: Elaboración propia.

Miles de toneladas			
	1992-1987	2002-1993	2002-1987
Efecto carbonización	568	-12166	-11598
Efecto intensidad	-11607	15159	3553
Efecto estructura	726	-2663	-1937
Efecto actividad	23284	38667	61951
Efecto Total	12972	38997	51969

Distribución por periodo índice (Efecto total = 100)			
	1992-1987	2002-1993	2002-1987
Efecto carbonización	4,4	-31,2	-22,3
Efecto intensidad	-89,5	38,9	6,8
Efecto estructura	5,6	-6,8	-3,7
Efecto actividad	179,5	99,2	119,2
Efecto Total	100,0	100,0	100,0

Contribución al crecimiento medio anual de las emisiones totales % crecimiento medio anual sobre emisión total en 1986			
	1992-1987	2002-1993	2002-1987
Efecto carbonización	0,1	-0,7	-0,4
Efecto intensidad	-1,3	0,9	0,1
Efecto estructura	0,1	-0,2	-0,1
Efecto actividad	2,5	2,3	2,2
Efecto Total	1,4	2,3	1,9

con un componente de carbono mucho más bajo, hace que el coeficiente de emisión medio descienda. Por otra parte, en las emisiones sectoriales se han imputado, como se dijo con anterioridad, las emisiones correspondientes a la energía eléctrica, que se beneficia de la sustitución de fuentes para su obtención y, asimismo, se da una disminución del uso de productos petrolíferos y carbón. Esto refleja el comportamiento sectorial desde la perspectiva de los procesos y actividades productivos, sobre todo en lo que se refiere a productos petrolíferos, ya que no se considera aquí el transporte realizado por la propia empresa. El proceso de descarbonización es mucho más importante en la segunda etapa que en la primera dentro del periodo considerado, toda vez que en el segundo periodo se acelera la sustitución del carbón por gas natural. En resumen,

el efecto carbonización contribuyó a una disminución sostenida a lo largo del periodo del orden del 0,4 % anual.

El otro factor que contribuyó a la disminución de las emisiones totales fue el efecto estructura, aunque más modestamente. La simple observación de la figura muestra la invariabilidad de la estructura productiva a lo largo de los años examinados. Los grandes cambios estructurales de la economía se habían producido, como es de sobra conocido, al correr de los ochenta. Sin embargo, en la primera fase del periodo ganan peso en la estructura productiva dos sectores con una intensidad energética destacada: el sector químico y petroquímico y la agricultura, salvando las diferencias entre ambos, claro está. Ésta parece ser la única razón para explicar la contribución de este efecto estructura al incremento de las emisiones totales, en un 0,1% medio anual en este primer intervalo temporal. En el ciclo siguiente, ambos sectores perdieron peso y sólo el sector de la metalurgia y la maquinaria ganó presencia, con una intensidad energética relevante.

Los efectos intensidad energética y actividad productiva, sin embargo, tuvieron un comportamiento poco “amigable” con el medio ambiente. Aunque los resultados del cambio tecnológico fueron notables desde mediados de los ochenta y se dejaron sentir hasta principio de los noventa – de ahí la aportación del efecto intensidad a la ralentización de las emisiones, al menos las sectoriales, hasta mediados de los noventa– estos cambios no son definitivos y, además, si suponen un abaratamiento de los costes, perfilan una sustitución de factores productivos incrementando el consumo energético por unidad de producto, dando lugar a lo que en la bibliografía se conoce como “paradoja de Jevons” (Roca y Padilla (2003)). De ahí el repunte del crecimiento del efecto intensidad a finales de los noventa, y que aún hoy se mantiene. Luego, en el análisis sectorial, se volverá a estas consideraciones con más detalle, y se verá a qué sectores afecta.

En cuanto al efecto actividad, es lógico que éste sea positivo, ya que la economía estuvo creciendo por término medio en torno al 3,5% anual. Pero, si se tiene en cuenta que el efecto actividad mide el crecimiento que las emisiones habrían experimentado en caso de que todos los sectores hubieran crecido a la tasa media, quizás se deba buscar con más ahínco la responsabilidad fuera del sector productivo de la economía.

Al introducir, en este apartado, el factor estructura y los consumos energéticos sectoriales, el análisis se ha enriquecido atendiendo al comportamiento de los actores económicos, aunque bien es cierto que presentando los resultados de una forma agregada. Ciertamente, los resultados obtenidos y comentados nos han permitido identificar los aspectos destacados de la problemática que venimos considerando. No obstante, las medidas de política económica encaminadas a afrontar el reto de la disminución de las emisiones de CO₂ no irán dirigidas a agregados, sino a agentes o grupos de agentes concretos en función de su papel en la actividad económica. Por ello, si bien es cierto que el trabajo desarrollado hasta aquí nos ha permitido identificar las causas, no deja de ser necesario identificar los sectores que se encuentran detrás de las raíces del problema y cuál es el papel jugado por ellos. En definitiva, en qué contribuye quién y a qué problema. Abordaremos esta cuestión en el apartado siguiente.

3.3.2. El papel de los sectores

Se analiza ahora el papel particular de los distintos sectores. A partir de los datos del Anexo III se ha elaborado el Cuadro 6, que, en su primera parte, refleja la variación de las emisiones de CO₂, en miles de toneladas (kt), desde 1986 hasta 2002, distribuidas en los distintos efectos y para todos los sectores. En segundo lugar, el Cuadro expresa el impacto de cada sector y efecto sobre las emisiones totales

de 1986, habiendo medido el impacto como el porcentaje de variación media anual (ver también la Figura 17 con estos porcentajes). A fin de clarificar la exposición, sólo se hablará de las dos etapas aquí consideradas. Para ello, se ha replicado el cuadro para los periodos 1992–1987 y 2002–1993 en el Anexo III.

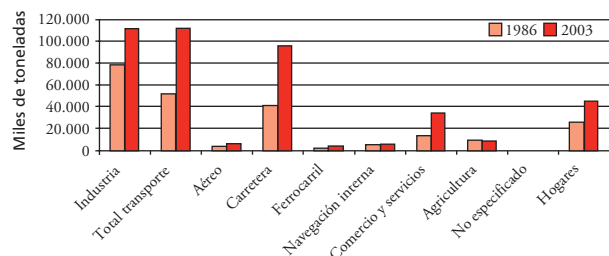
Algo que salta a la vista de inmediato es la importancia del sector comercio y servicios en el efecto total. La contribución incremental de este sector viene a representar en torno al 40% del impacto total. Antes, al hablar del repunte del efecto estructura a finales de los noventa, se planteó el problema de este sector, que no es un problema de estructura, sino de que su importante papel viene dado por su gran impacto desde la perspectiva de la intensidad energética, por un lado, y por su efecto actividad.

Su efecto actividad sólo es superado por el sector de metalurgia y maquinaria. El lector puede comprobar en los datos del Anexo III que esta situación se produce desde el ciclo 1992-1987, en lo que se refiere al importante papel de la intensidad energética. Mientras que, para seguir con la misma comparación, el sector de metalurgia y maquinaria refleja impactos negativos del efecto intensidad en ambos periodos, que ayudan, por tanto, a la disminución de emisiones. Y lo que es más importante, el efecto actividad es entre 2002-1987 prácticamente idéntico al de este sector. Esto es mucho más importante en tanto en cuanto en este sector está incorporada la industria metalúrgica básica, tanto férrea como no férrea. En un trabajo reciente (Alcántara y Padilla, 2006), en el que se calcularon los impactos tanto directos como indirectos en las emisiones de CO₂ de cuarenta y cinco

Cuadro 6: Variación (en miles de toneladas y en % medio anual) de las emisiones de CO₂ en España entre 1987 y 2002, según los efectos considerados. Fuente: Elaboración propia.

	Química y petroquímica	Minerales no metálicos	Equipo transporte	Metalurgia y maquinaria	Alimentación y bebidas	Papel e impresión	Madera y sus productos	Construcción	Textil y cuero	Otras industrias	Agricultura	Comercio y servicios	Total
Efecto carbonización	-951	-2576	-543	-3473	-1513	-1064	-905	-37	-311	395	-155	-465	-11598
Efecto intensidad	-3471	-3481	867	-6485	4379	1687	1507	496	961	818	-3414	9689	3553
Efecto estructura	1314	1463	-42	1327	-2577	-666	-402	113	-1834	20	-1290	637	-1937
Efecto actividad	8701	10839	1454	13706	4218	2821	526	470	2030	1807	4182	11196	61951
Efecto Total	5594	6244	1736	5074	4507	2778	727	1043	846	3039	-677	21057	51969
Efecto carbonización	-0,03	-0,09	-0,02	-0,12	-0,05	-0,04	-0,03	0,00	-0,01	0,01	-0,01	-0,02	-0,42
Efecto intensidad	-0,12	-0,13	0,03	-0,23	0,16	0,06	0,05	0,02	0,03	0,03	-0,12	0,35	0,13
Efecto estructura	0,05	0,05	0,00	0,05	-0,09	-0,02	-0,01	0,00	-0,07	0,00	-0,05	0,02	-0,07
Efecto actividad	0,31	0,39	0,05	0,49	0,15	0,10	0,02	0,02	0,07	0,06	0,15	0,40	2,23
Efecto Total	0,20	0,22	0,06	0,18	0,16	0,10	0,03	0,04	0,03	0,11	-0,02	0,76	1,87

Figura 17: Emisiones de CO₂ según sectores económicos en España. Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2004).



sectores de la economía española, los sectores comerciales aparecían como sectores clave, junto al transporte, los minerales no metálicos, la construcción, y algunos otros de menor entidad. El siguiente sector, en orden de importancia respecto a su impacto total, es el de minerales no metálicos, con un efecto actividad muy cercano al de comercio y servicios. En este caso destaca por el efecto actividad. Esto no es extraño, su vinculación con la construcción, que le hace de motor, explica su importancia, que se come el efecto positivo sobre el medio ambiente debido a la reducción de su intensidad energética. En efecto, junto con la agricultura, metalurgia y maquinaria y la química y petroquímica, es uno de los sectores en los que el impacto de la disminución de la intensidad energética es más importante. Pero, contrariamente a lo que ocurría en el caso del sector del comercio y servicios, en este sector y en los tres últimos citados, el impacto beneficioso del efecto intensidad no es sostenido. Las mayores mejoras de eficiencia energética se dan en el primer periodo. El lector puede comprobar lo dicho consultando el Anexo III.

La agricultura es el único sector con un efecto total negativo, esto es, el único del que podría decirse que tiene connotaciones de sostenibilidad fuerte. Esta situación se explica por las sustanciales mejoras en eficiencia energética, al menos, con los datos disponibles. Sin embargo, esto es algo puramente aparente, porque este sector tiene efectos de arrastre muy importantes sobre sectores altamente emisores, tales

como el químico. En la investigación antes citada el sector agricultura aparece como clave para las emisiones de CO₂³⁴.

Otro sector con características semejantes en cuanto a su capacidad de arrastre en la emisión es el sector construcción. De forma directa, el papel de este sector es mínimo, su impacto en el crecimiento medio anual de las emisiones totales sobre 1986 apenas fue de un 0,4%. Su papel inductor de emisiones en tanto que utilizador de productos generados en sectores tales como minerales no metálicos, metalurgia y maquinaria, transporte, etc., supone impactos indirectos de gran importancia. Uno de los resultados de la investigación citada en este apartado es que, ante un incremento de un 1% de la actividad productiva de la construcción, el impacto generado es de un 1,6% en las emisiones de CO₂.

Aunque no se trate aquí el tema de las emisiones indirectas inducidas por los distintos sectores, es decir su responsabilidad última en las emisiones totales, ésta es una cuestión principal a la hora de diseñar políticas ambientales frente al cambio climático. Cualquier política ambiental que se vincule a la demanda de bienes tiene que tener en cuenta estos efectos indirectos. Es cierto que para las políticas dirigidas sobre el sector directamente emisor basta con un análisis como el realizado en estas páginas, pero no deja de ser un ejercicio interesante el desarrollo de análisis encaminados a determinar lo que podría llamarse la genealogía de la emisión.

3.4. El sector transporte y las unidades familiares (residencial)

El sector transporte merecería un detallado análisis para sí solo, que se escapa del objetivo de estas páginas. Es, sin duda, el sector clave por excelencia desde la perspectiva de las emisiones de gases de efecto invernadero. En lo que sigue, se

³⁴ Aunque no podemos detenernos aquí en el desarrollo de sector clave desde la perspectiva del análisis económico input-output, no obstante, queremos aclarar que consideramos clave desde esa perspectiva a aquel sector productivo cuya emisión directa es relativamente alta y, además, obliga a sus sectores proveedores de inputs a generar emisiones por encima de la media.

desarrollará un planteamiento puramente descriptivo a partir de la comparación de la evolución de las emisiones de este sector con el resto. Se mostrará también cómo la evolución de las emisiones de CO₂ a partir de un determinado momento se desvincula más de los otros sectores económicos y aparece más ligada al sector transporte.

Se va a analizar en primer lugar la evolución del sector desde el punto de vista de las emisiones, en comparación con el resto de sectores. Como en el apartado anterior, se ha procedido a la imputación de las emisiones originadas en la generación de energía eléctrica y el refinado de petróleo a las distintas ramas. El Cuadro 7 sintetiza los datos correspondientes al sector y los otros cuatro grandes grupos: agricultura, industria, comercio y otros servicios, así como las unidades de consumo.

El sector ha pasado de suponer un 28,9% de la emisión total a representar un 35,8%, esto es, más de la tercera parte de las emisiones, experimentando un crecimiento medio anual acumulativo del 11,5%, lo que significa que las emisiones de este sector en 2003 eran más del doble que las de

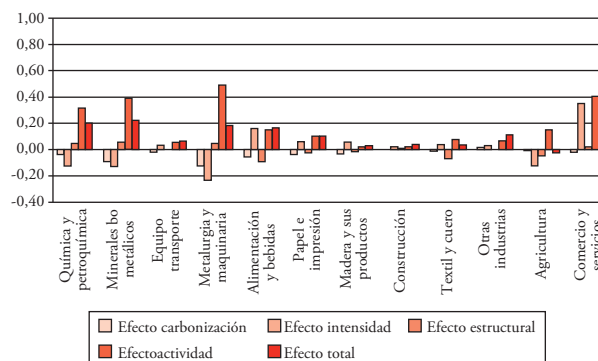
1986. Sólo el sector comercio y servicios experimentó un crecimiento superior, del 14,1%, pero su participación en las emisiones totales únicamente representaba en 2003 el 11%. Eso sí, sus emisiones se multiplicaron en el espacio de tiempo transcurrido entre las dos fechas por 2,5, mientras que las correspondientes a la industria experimentaron un crecimiento del 5,1%, pasando de una participación del 43,7% a un 35,8%. Es decir, en 2003 transporte e industria igualan su aportación a la emisión total. Por lo que se refiere a la agricultura, experimentó un decrecimiento sostenido del -0,4% anual, pasando su cooperación al total del 5,2% al 2,9%. Los hogares, por último, vieron crecer sus emisiones a un ritmo del 7,9%, disminuyendo en unas décimas su participación en la emisión total. La Figura 18 ilustra lo anterior.

Es incuestionable que el sector transporte en general y el transporte por carretera, en particular, representa el sector más importante de cara al desarrollo de políticas encaminadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para hacerse cargo de la importancia de este sector en estas emisiones puede realizarse un pequeño ejercicio numé-

Cuadro 7: Emisiones de CO₂ del Sector Transporte en España entre 1986 y 2003. En miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia.

Emisiones de CO ₂ del sector transporte (kt)				
	1986	%	2003	%
Total transporte	51970,0	28,9	111646,4	35,8
Aéreo	3366,6	1,9	5616,7	1,8
Carretera	40645,1	22,6	95733,9	30,7
Ferrocarril	1639,8	0,9	3385,8	1,1
Navegación interna	5166,0	2,9	5130,2	1,6
No especificado	619,2	0,3	807,5	0,3
Agricultura	9393,7	5,2	9132,8	2,9
Industria	78652,7	43,7	111744,6	35,8
Comercio y servicios	13627,5	7,6	34405,1	11,0
Hogares	26252,5	14,6	44729,7	14,3
Emisión total	179926,5	100	311885,8	100

Figura 18: Variación media anual de los efectos sectoriales en España. Fuente: Elaboración propia con los datos del Anexo III.



rico que mostrará hasta qué punto están cada vez más ligadas al transporte y menos a la industria, ya que, como la figura muestra, la magnitud de la emisión es muy semejante, aunque aún un poco superior la de la industria.

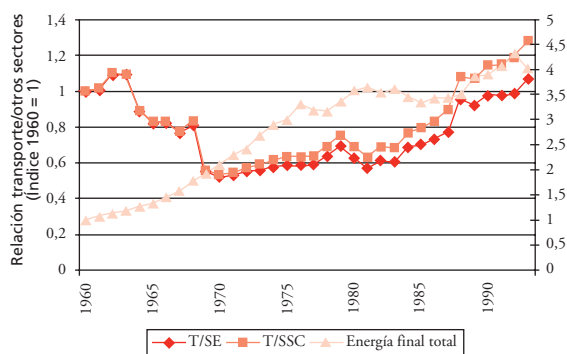
Considérese ahora la evolución en números índices de las emisiones totales, por una parte, y del mismo modo las de los sectores productivos (con excepción del transporte) y descontadas las que corresponderían al comercio y otros servicios. A continuación, tómesese la relación entre el índice que hace referencia a la evolución de las emisiones debidas al transporte y el de las de los sectores productivos, con y sin comercio y servicios. Es obvio que si las relaciones entre índices son crecientes, la evolución de las emisiones totales tiende a depender más del transporte que de los sectores productivos (excepción hecha del transporte). Ello mostraría el grado de desvinculación de las emisiones totales de los sectores productivos (excepto el transporte). En la Figura 19 pueden observarse las posibles tendencias.

La serie *T/SE* expresa la relación entre las emisiones del transporte y las de los sectores productivos. La serie *T/SSC* da

la misma relación, pero ahora no se incluyen en los sectores productivos el comercio y otros servicios. Como se ve, hasta 1970 existe una clara vinculación del crecimiento de la emisión total con los sectores productivos, porque el crecimiento de las emisiones debida a los sectores productivos es mucho mayor que las correspondientes al transporte. Además, las emisiones de estos sectores con o sin comercio y servicios se solapan. A partir de esa fecha y hasta mediada la década de los ochenta ya comienza a ser creciente la relación, es el inicio de una mayor vinculación de la emisión total al transporte. Esta situación se da hasta mediados los ochenta, en que se pone claramente de manifiesto la pérdida de importancia relativa de los sectores productivos frente al transporte, en lo que a emisiones de CO₂ se refiere. Puede verse también el comiendo de otro hecho importante que liga con el análisis del apartado anterior de los sectores productivos, como es que la serie *TSE* se queda ostensiblemente por debajo de la serie *T/SSC*. Naturalmente, al experimentar el comercio y otros servicios un incremento sustancial de su consumo energético y estar éstos incluidos en el consumo de los sectores productivos, la relación *TSE* tiende a ralentizarse, dando la sensación de que el transporte pierde importancia en la generación de emisiones. Si descontamos las emisiones del comercio y los servicios de las emisiones de los sectores productivos el transporte vuelve a presentarse con un peso sustancial en la emisión total. Es lo que muestra la evolución de la relación *T/SSC*. Confirma esto lo que en estas páginas se ha dicho con respecto a la importancia que están cobrando en los últimos años el comercio y otros servicios en el crecimiento de las emisiones.

Sin otro ánimo más que el de mostrar los derroteros por los que se van a mover los grandes sectores observados, se han calculado las tendencias que han seguido a lo largo del periodo analizado, que confirman las conclusiones que se han ido obteniendo. Para ello se han calculado las emisiones

Figura 19: Análisis comparado del transporte y los otros sectores productivos. Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2004)



per capita de los cuatro sectores productivos (sin transporte). La Figura 20 muestra las líneas de tendencia estimadas para éstos a partir de las observaciones existentes desde 1960.

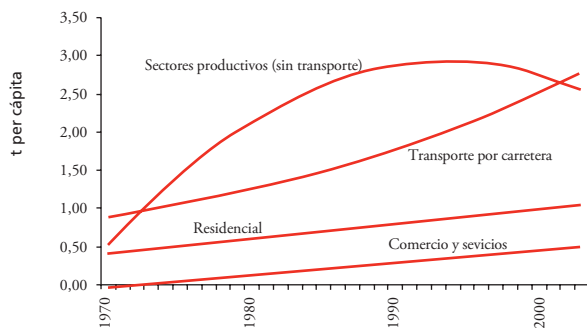
Como se ve, los que se han llamado sectores productivos, aun incluyendo el comercio y los servicios, muestran una tendencia decreciente. De hecho, la mejor estimación para los datos es una parábola con pendiente negativa. En el caso del transporte por carretera el mejor ajuste viene dado por una función exponencial de sus emisiones *per capita*.

Los hogares, así como el comercio y los servicios, muestran una tendencia lineal creciente. En todos los casos el R^2 , por dar alguna medida de la bondad del ajuste, ya que la finalidad de las regresiones es sólo descriptiva, oscila entre 0,9 y 0,95, siendo el mejor ajuste el que corresponde al transporte por carretera, 0,95.

3.5. A modo de síntesis

Convendría ahora, antes de sacar algunas conclusiones de lo anterior, plantear a modo de síntesis cuál es la situación

Figura 20: Tendencias de las emisiones de CO_2 *per capita* en España. Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2004).



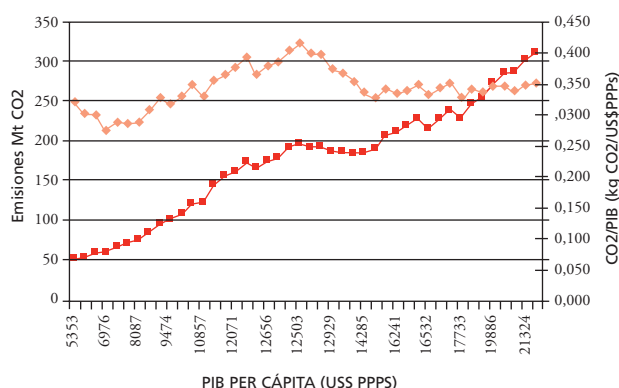
en España de cara al futuro. Se trata de elaborar una imagen global a partir de la historia pasada, que puede dar luz sobre las líneas de política económica y ambiental que sería interesante seguir, en el supuesto de que se quiera abordar seriamente la situación actual y sus tendencias.

El análisis puede plantearse en términos de curva de Kuznets ambiental (EKC). De acuerdo con las hipótesis de la EKC, en los primeros estadios de desarrollo las presiones ambientales (en nuestro caso las emisiones de CO_2) se incrementan conforme lo hace la renta *per capita*. A partir de un determinado punto dicha presión disminuiría con incrementos sucesivos de la renta. La curva tendría forma de U-invertida, lo contrario de la propuesta por Kuznets (1955) para la relación entre desigualdad y renta *per capita*. De ahí el nombre de curva de Kuznets ambiental. Desde la perspectiva de las emisiones, entendemos que la presión ambiental se manifiesta en términos de emisiones absolutas, ya que el problema que se deriva de las mismas viene dado por su acumulación en la atmósfera. De tal manera que, siguiendo a Bruyn y Opschor (1997), se dará una desvinculación en sentido fuerte entre crecimiento y presión ambiental si:

$$(6) \quad d\text{CO}_2/dt < 0$$

Teniendo en cuenta que las emisiones dependen tanto de la intensidad de emisión (unidades de CO_2 por unidad monetaria, a precios constantes de PIB), como del volumen de PIB, el crecimiento económico sólo será “amigo” del medio ambiente si la tasa de crecimiento económico se ve compensada por una tasa de variación negativa mayor de la presión ambiental. Si la tasa de disminución de la presión ambiental fuese menor, en valor absoluto, a la tasa de crecimiento del PIB, estaríamos hablando de desconexión débil (Roca y Alcántara (2001)).

Figura 21: Renta per cápita, intensidad de emisión y emisiones totales de CO₂ en España. Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2004).



La inspección de la Figura 21 muestra muy claramente que no ha sido este el caso en España. Ya era evidente, por todo lo dicho con anterioridad, que el crecimiento económico español no presenta una situación de desconexión o, si se quiere, de sostenibilidad fuerte. La desconexión débil sólo se observa de forma clara entre 1981 y 1988. Y, coincidiendo con este corto periodo, un pequeño lapso de 1981 a 1986 de desconexión fuerte³⁵.

Nótese que la intensidad de emisión refleja de forma condensada los resultados a los que conducía el análisis sectorial y el histórico previo, aunque refundiendo en un sólo indicador los efectos carbonización, composición, transformación y eficiencia. Sin embargo, el comportamiento de la intensidad de emisión, relevante a la vista de la figura, es inexplicable sin aquella descomposición. En cierto modo, justifica la necesidad de la descomposición analítica en efectos explicativos que hemos desarrollado.

Por otro lado, la inexistencia palpable, en el momento presente, de desconexión fuerte y también débil, reclama la actuación de los poderes públicos de cara a enfrentar los retos

de la sostenibilidad y, también, algo más perentorio como es el cumplimiento de los compromisos de Kyoto.

3.6. Algunas conclusiones relevantes

El análisis anterior pone de manifiesto dos cuestiones importantes. Por una parte, no parece que el derrotero seguido por la economía española conduzca a una situación de desconexión o sustentabilidad fuerte en lo que a las emisiones de CO₂ se refiere. Y ni mucho menos se verán cumplidos los compromisos de Kyoto. El “esfuerzo” de los sectores productivos, que como se ha visto, conduce a una situación de estabilidad de sus emisiones no es suficiente para compensar las procedentes del consumo energético de los hogares y el transporte. De otra, en poco tiempo se han dado cambios profundos, tanto desde la perspectiva de la eficiencia energética, como de la estructura productiva, que hacen difícil imaginar transformaciones en profundidad que aceleren la evolución hacia una desconexión fuerte. Esto viene avalado por las últimas investigaciones del Instituto para la diversificación y el ahorro energético (IDAE, 2001), que no prevé mejoras sustanciales en los próximos 14 años.

La vía más razonable es un cambio sustancial en el modelo de transporte, responsable de más del 60% del consumo de los productos petrolíferos en España. De este, exactamente, 61,4%, el tráfico rodado supone un porcentaje del 81,5%, si se da crédito a la información obtenida a partir de los balances energéticos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Por lo que se refiere al sector residencial y al sector de comercio y servicios, se ha visto antes que ambos suponen en total un 25,3% de las emisiones de CO₂ totales contempladas en el Cuadro 7. En un trabajo reciente, Nieto y

³⁵ Esta situación ha sido analizada recientemente por Roca *et al.* (2001) y en Roca y Padilla (2003).

Santamaría (2006), al comentar el nuevo Código Técnico de la Edificación, se hacen eco del importante papel que las medidas en torno al sector de la vivienda –no se olvide que una parte sustancial del consumo energético familiar está relacionado con la estructura de la vivienda, amén de los estilos de vida y consumo, claro está– podrían jugar en el avance hacia la sostenibilidad. En efecto, se señalaba antes que el sector de la construcción tenía sustanciales efectos de arrastre en la emisión. Si se tiene en cuenta que en el caso del sector servicios una parte importante de su consumo energético está, igual que en el caso de las viviendas, o, quizás, en mayor medida, vinculado a la estructura del edificio o local, no es nada disparatado considerar de forma integrada la cuestión de la vivienda así como los problemas en torno al comercio y los servicios. Desde esta perspectiva, no es extraño que estos autores afirmen que “el sector de la vivienda y de los servicios representan más del 40% del consumo final de energía de la Unión Europea”. Con la aplicación de las medidas de eficiencia energética en los edificios, se podría ahorrar la emisión anual de 450 Mt. de CO₂, cifra que representa la octava parte de las emisiones actuales de la UE”. Y concluyan: “La industria de la construcción en un sentido amplio, desde los arquitectos y promotores, a las empresas constructoras y los propios usuarios, juega un papel clave en el avance hacia la sostenibilidad”.

La dificultad para la comprensión y solución del problema se sustenta en la falsa creencia de que una economía de servicios, que se manifiesta en el crecimiento del valor añadido de sus sectores frente a los industriales, es una economía desmaterializada. Aún siendo los procesos productivos de tipo material, generación de energía, siderurgia, agricultura, producción de maquinaria y equipo, industria química, etc., los más vinculados al consumo

energético y, por ende, a las emisiones pertinentes, la raíz de nuestro problema se encuentra, en última instancia, en los sectores demandantes. Los servicios no dejan de tener una base material sobre la que sustentan su actividad. No solamente en España, claro está, sino en la mayoría de los países occidentales. Nuestras formas de vida y consumo, nuestra manera de entender el bienestar, constituye el hito inexcusable para entender el problema desde una amplia perspectiva.

Si se hace hincapié sobre estos aspectos del problema en estas conclusiones es porque necesitamos energía para vivir, la extracción y transformación de la energía no se hace porque sí y, por tanto, de nosotros depende el uso adecuado de la misma, tanto desde el punto de vista de los impactos ambientales vinculados a su uso, como del agotamiento de las fuentes. En última instancia, se ha ido viendo a lo largo de estas páginas, son nuestras formas de producción y consumo las que determinan los resultados de su utilización. Por otro lado, cabe considerar hasta qué punto tiene sentido la insistencia en un crecimiento material que genera una afluencia sostenida de mercancías, la mayoría de las veces impulsada por un consumismo desmedido, que poco tiene que ver con el bienestar, y conduce a unos efectos cuyas secuelas ponen en entredicho los logros futuros del mismo crecimiento.

Somos conscientes de que la metodología tiene limitaciones importantes al olvidar una serie de interrelaciones, como es el uso de inputs industriales (cuya producción y transporte requieren energía) por parte de los sectores energéticos y el hecho de que parte de la energía utilizada para producir energía se gasta en otros países (como es obviamente el caso de la extracción del petróleo importado) y que no queda reflejado ni en los balances energéticos, ni en los indicadores de actividad agregados.

Otras limitaciones vendrían impuestas por el grado de calidad y nivel de desagregación proporcionada por las fuentes utilizadas. Sin embargo, a pesar de todas estas limitaciones, creemos que nuestras estimaciones dan una aproximación (de hecho una infravaloración) de los impactos en las emisiones de gases de efecto invernadero, a partir del

uso energético requerido para su actividad. No obstante, el acercamiento dado en este capítulo permite, al menos, perfilar la marcha del problema y, al mismo tiempo, mostrar algunos objetivos de futuras investigaciones encaminadas a reforzar el diseño de políticas conducentes a un mayor grado de sostenibilidad.

Conclusiones

Para tener la certeza de que el clima está cambiando y que las nuevas condiciones climáticas son significativamente diferentes de las del pasado más o menos reciente hay que disponer de medidas de las variables climáticas relevantes (temperatura, precipitación, cobertura nubosa, extensión de la nieve y del hielo, etc.) en diferentes puntos representativos de la superficie terrestre. Actualmente hay muchas estaciones de observación repartidas por todo el globo que miden éstas y otras variables de interés meteorológico y, además, hay satélites que proporcionan también información global sobre algunas de ellas. Cuando estos datos no estaban disponibles, para obtener información de magnitudes climáticamente importantes se ha recurrido a medidas indirectas, como los registros históricos, los anillos de crecimiento de los árboles, las catas de hielo, etc. De toda esta información, a escala global se puede afirmar que la concentración atmosférica de gases con efecto invernadero aumenta, que durante el siglo XX la temperatura media de la superficie terrestre se ha incrementado, que la pluviosidad no ha cambiado de forma homogénea en todo el planeta, que la extensión de los glaciares y, en general, del hielo y la nieve ha disminuido y que el nivel del mar se ha elevado. Todos estos indicios atestiguan cambios profundos en el medio físico, que son consecuencia de las perturbaciones en el sistema climático atribuibles a una atmósfera con un mayor contenido de energía. Muy probablemente estos cambios son atribuibles a la acción humana, tal como indica el reciente “Resumen para responsables de políticas” del Cuarto Informe IPCC (2 de febrero de 2007).

La variedad geográfica de España, su situación a caballo del clima templado y húmedo de latitudes medias y del subtropical mediterráneo, y entre aguas marítimas al oeste y al este dan lugar a un complejo mosaico climático. Las series climáticas seculares del país presentan un nítido y general incremento de la temperatura media, así como de las medias de las máximas y de las mínimas, paralelo al planetario, concentrándose los años más cálidos en las dos últimas décadas. La precipitación anual, en cambio, no muestra claras tendencias, si se exceptúa el sur peninsular, donde la lluvia ha disminuido en el último siglo.

Estacionalmente, las primaveras se han vuelto más secas en las últimas décadas. Los modelos climáticos dibujan un escenario para las próximas décadas y finisecular notablemente más cálido, con una temperatura de entre 2 y 5° C, dependiendo de los escenarios de emisiones, más elevada que la registrada en el periodo 1961-1990, con veranos marcadamente más cálidos que los actuales. A ello se une una reducción pluviométrica en primavera y verano. Regionalmente, los aumentos de temperaturas serán más acusados en el interior que en el litoral ibérico y en los archipiélagos canario y balear. Aunque resulta difícil de precisar, es previsible una mayor frecuencia e intensidad de los riesgos climáticos (olas de calor, sequías, precipitaciones torrenciales, etc.).

El calentamiento global conllevará fuertes impactos sobre la naturaleza y el bienestar humano. Conforme mayor sea el calentamiento, mayores serán las alteraciones en el medio ambiente y los daños sobre los humanos, mostrando los modelos que éstos aumentan más que proporcionalmente conforme se incrementa la temperatura. Se producirán costes en la agricultura, la disponibilidad de agua, los ecosistemas y la biodiversidad, la salud, los asentamientos humanos, energía e industrias y los servicios de seguros. Los impactos afectarán de forma muy desigual a las diferentes regiones del mundo, siendo especialmente graves en los países en desarrollo y en las poblaciones más desfavorecidas de todos los países. España es, por su situación geográfica, uno de los países de Europa que serán más afectados por el cambio climático, siendo muy superiores los impactos negativos previsible a los positivos. Destacan los costes que se producirán en términos de una menor disponibilidad de agua, erosión e inundación de zonas costeras, mayores incendios forestales, alteración de ecosistemas y pérdida de hábitats, además de importantes impactos negativos sobre el sector turístico.

Hay que considerar los problemas y limitaciones de los modelos que se han venido aplicando para evaluar en términos monetarios los impactos del cambio climático y de las políticas de mitigación. No pueden dejarse de lado las fuertes limitaciones éticas que supone la aplicación del análisis coste-beneficio al cambio climático. Los modelos económicos han tendido a incorporar supuestos, en ocasiones arbitrarios, que infravaloran los costes del cambio climático y sesgan la recomendación de políticas hacia un control leve o inexistente de emisiones. Una excepción es el reciente estudio de Stern (2006), que recomienda una decidida y enérgica actuación para impedir que se produzcan los peores impactos previstos del cambio climático. No obstante, sean cuales sean los resultados de estos modelos, no evitan el debate ético sobre qué riesgos sobre las generaciones futuras se consideran tolerables. Las diferentes alternativas destacadas por el informe Stern (2006) para luchar contra el cambio climático son: aumentar el precio relativo del carbono, fomentar la innovación tecnológica y eliminar las trabas al cambio tecnológico. Los marcos de actuación deberían incluir medidas como el comercio de emisiones, la cooperación tecnológica, medidas contra la deforestación, así como de adaptación. Si se consideran las medidas a tomar como un coste razonable para “asegurarnos” contra los peores efectos del cambio climático, posiblemente aún se esté a tiempo de evitar los peores riesgos.

Si se atiende a la última información facilitada por la Convención Marco sobre el Cambio Climático, las emisiones de gases de efecto invernadero en España ascendieron en 2004 a 427,9 Tg (teragramos) de CO₂ equivalente, descontados los cambios en uso de tierras y reforestación, principalmente. Ello significa que el crecimiento experimentado sobre el año base (1990) ha sido del 49%, sólo superado por Turquía, con un incremento del 72,6%. Si se tiene en cuen-

Conclusiones

ta el porcentaje de crecimiento objetivo, se ve que existen razones más que justificadas para considerar los motivos que nos han conducido a realizar este trabajo, fundamentalmente intentar entrever los posibles rumbos que pueden tomar estas emisiones, y discernir sobre las necesidades futuras de investigación de cara al diseño de políticas ambientales correctas.

Con esa perspectiva, en primer lugar el análisis de largo plazo, con el fin de desentrañar las tendencias que han conducido hasta la actual situación, da como resultado más palpable el que en los años finales del siglo pasado y los primeros del actual se produce claramente un paralelismo entre la afluencia de bienes a la sociedad (crecimiento económico) y las emisiones. Se diría que es el crecimiento de la actividad productiva el que juega aquí un papel destacado. Asimismo, también hay que contar con un mayor uso de energía final por unidad de PIB, que tendría que considerarse como una menor eficiencia, así como un repunte, aunque modesto, en el crecimiento de la población. Por otro lado, se observan mejoras desde el punto de vista de la transformación energética (menores requerimientos de energía primaria por unidad de energía final), así como los cambios que dieron lugar a una sustitución en el tipo de fuentes energéticas y que jugaron a favor de la disminución de las emisiones. No obstante, estos factores no han sido suficientes como para compensar el comportamiento desfavorable para la reducción de emisiones de la actividad productiva y el uso no demasiado eficiente de la energía.

Desde una perspectiva más desagregada, se observa el “esfuerzo” realizado por los sectores productivos, que, como se ha visto, conduce a una situación de estabilidad de sus emisiones, aunque no es suficiente para compensar las procedentes del consumo energético de los hogares y el transporte. Por otra parte, en poco tiempo se han dado cambios

profundos, tanto desde la perspectiva de la eficiencia energética, como de la estructura productiva, que hacen difícil imaginar transformaciones en profundidad que aceleren la evolución hacia una desconexión fuerte de las emisiones respecto a la actividad productiva. Por lo cual no pueden esperarse mejoras sustanciales a corto plazo.

A propósito de lo anterior, la vía más razonable es un cambio sustancial en el modelo de transporte, responsable de más del 60% del consumo de los productos petrolíferos en España. De este, exactamente, 61,4%, el tráfico rodado supone un porcentaje del 81,5%, si se da crédito a la información obtenida a partir de los balances energéticos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Por lo que se refiere al sector residencial y al sector de comercio y servicios, ambos suponen en conjunto un 25,3% de las emisiones totales de CO₂. Si se tiene en cuenta que en el caso del sector servicios una parte importante de su consumo energético está, igual que en el de las viviendas, o, quizás, en mayor medida, vinculado a la estructura del local o del edificio, no es nada disparatado considerar de forma integrada la cuestión de la vivienda así como los problemas en torno al comercio y los servicios.

Como resultado de todo el análisis, cabe plantearse hasta qué punto tiene sentido la insistencia en un crecimiento material que genera una afluencia sostenida de mercancías, la mayoría de las veces impulsada por un consumismo desmedido, que poco tiene que ver con el bienestar, y conduce a unos efectos cuyas secuelas ponen en entredicho los logros futuros del mismo crecimiento.

Bibliografía

- Abaurrea, J.; Asín, J. y Centelles, A. (2002): "Caracterización espacio-temporal de la evolución de la precipitación anual en la cuenca del Ebro", en Guijarro, Grimalt, Laita y Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima*, pp. 113-124, Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 3.
- Abaurrea, J.; Asín, J.; Erdozain, O. y Fernández, E. (2001): "Climate Variability Analysis of Temperature Series in The Medium Ebro River Basin", en Brunet y López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 109-118, Berlín, Springer.
- Alcántara, V. y Padilla, E. (2005): "Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo", *Revista de Economía Crítica*, nº 4, pp. 17-37.
- Alcántara, V. y Padilla, E. (2006): "An input-output analysis of the "key" sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy". Document de Treball, 06.01. Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Alcántara, V. y Roca, J. (1995): "Energy and CO₂ emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-1990", *Energy Economics*, 17 (3), pp. 221-230.
- Alcántara, V. y Roca, J. (1996): "Tendencias en el uso de energía en España (1975-1990). Un análisis a partir de los balances energéticos", *Economía Industrial*, pp. 161-67.
- Alcántara, V. y Roca, J. (2004): "Consumo energético y actividad económica: sobre el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output" en Campos, P. y Casado, J.M (2004), pp. 155-170.
- Ang, B. W. (1999b): "Decomposition methodology in energy demand and environmental analysis", en Jeroen y van den Bergh, *Handbook of Environmental and Resources Economics*, Edward Elgar, Chentelham, UK, pp. 1146-1163.
- Ang, B.W. (1999a): "Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?" *Energy Policy* 27, pp. 943-946.
- Ayala Carcedo, F.J. (2004): "La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos", *Tecno ambiente*, nº 143, pp. 37-41
- Azar, C. (2000): "Economics and distribution in the greenhouse", *Climatic Change*, vol. 47, pp. 233-238.
- Azar, C. y Schneider, S.H. (2002): "Are the economic costs of stabilizing the atmosphere prohibitive?", *Ecological Economics*, vol. 42, pp. 73-80.
- Azar, C. y Sterner, T. (1996): "Discounting and distributional considerations in the context of global warming", *Ecological Economics*, vol. 19, pp. 169-184.
- Barriendos, M. (1997): "Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): An analysis of data from rogation ceremonies", *Holocene*, 7, pp. 105-111.
- Broome, J. (1992): *Counting the Costs of Global Warming*. White Horse Press, Cambridge.
- Bruce, J.P., Hoesung, L. & Haites, E.F. (Eds.) (1996): "Climate Change 1995" *Economic and Social Dimensions of*

Bibliografía

Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed. Cambridge University Press.

Brunet, M.; Aguilar, E.; Saladié, O; Sigró, J. y López, D. (2001): "The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteenth Century Onwards", en Brunet y López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 81-93, Berlín, Springer.

Brunet, M.; Saladié, O; Jones, Ph.; Sigró, J; Aguilar, E.; Moberg, A.; Lister, D.; Walther, A.; López, D. y Almarza, C. (2006): "The development of a new dataset of Spanish Daily Adjusted Temperature Series (SDATS) (1850-2003)". *International Journal of Climatology* (on-line 5 mayo 2006).

Bruyn, S.M. de, Opschoor, J.B., 1997. "Developments in the throughput- income relationship: theoretical and empirical observations". *Ecological Economics* 20, pp. 255-268.

Campos, P. y Casado, J.M (2004): "*Cuentas Ambientales y Actividad Económica*". Ed. Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid

Cañada, R.; Galán, E.; Fernández, F. y Cervera, B.(2001): "Análisis de las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales en la Meseta sur española durante el siglo XX", en Pérez-Cueva, López Baeza y Tamayo, *El Tiempo del Clima*, pp. 53-63, Buñol, Garmas, Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 2.

Capel, Molina, J.J. (2000): *El clima de la península Ibérica*, Barcelona, Ariel.

Chakravorty, U., Roumasset, J. y Tse, K. (1997): "Endogenous substitution among Energy resources and global warming", *Journal of Political Economy*, vol. 105, pp. 1201-1234.

Chazarra, A. y Almarza, C. (2002): "Reconstrucción desde 1864 de la serie de precipitación útil de las cuencas del Sureste y Levante", en Guijarro, Grimalt, Laita y Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima*, pp. 159-168, Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 3.

Choi, Ki-H y Ang, B.W. (2003): "Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference", *Energy Economics*, 25, pp. 615-624

Cline, W.R. (1992): *The Economics of Global Warming*. Insitute for International Economics, Whashington, DC.

Commoner B. (1992): *En paz con el planeta*. Ed. Crítica, Barcelona

De Luís, M.; Raventós, J.; González-Hidalgo, J.C.; Sánchez, J.R. y Cortina, J. (2002): "Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain)". *International Journal of Climatology*, 20, pp.1451-1469.

Fankhauser, S. (1994): "The social costs of greenhouse emissions: An expected value approach", *Energy Journal*, vol. 15, pp. 157-184.

Fankhauser, S. (1995): "*Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*". Earthscan, Londres.

Galán, E.; Cañada, R.; Fernández, F. y Cervera, B. (2001): "Annual Temperature Evolution in the Southern Plateau of

- Spain from the Construction of Regional Climatic Time Series”, en Brunet, M. y López, D. (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp.119-131, Berlín, Springer.
- Gauci, V., Dise, N. y Blake, S. (2005): “Long-term suppression of wetland methane flux following a pulse of simulated acid rain”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L12804, pp. 1-4.
- Goldemberg, J., Squitieri, R., Stiglitz, J., *et al.* (1996): “Introduction: Scope of the Assessment”, in Bruce, J.P. *et al.* (Eds.) (1996)
- Guijarro, J.A. (2002): “Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español”, en Guijarro, Grimalt, Laita y Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima*, pp. 237-246, Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 3.
- Hamaide, B. y Boland, J. J. (2000) “Benefits, costs, and cooperation in greenhouse gas abatement”, *Climatic Change*, vol. 47, pp. 239–258.
- Hamilton, C. y Turton, H. (2002): “Determinants of emissions growth in OECD countries”, *Energy Policy* 30, pp. 63-71.
- Hicks, John (1939): “The Foundations of Welfare Economics,” *Economic Journal*, 49, pp. 696-712.
- Horcas, R.; Rasilla, D. y Fernández-García, F.(2001): “Temperature Variations and Trends in the Segura River Basin. An Exploratory Analysis”, en Brunet y López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp.133-142, Berlín, Springer.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (2000): “Eficiencia Energética y Energías Renovables”. Boletín IDAE 1. IDAE, Ministerio de Economía y Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid.
- International Energy Agency (IEA) (2003): “CO₂ emissions from fuel combustion”, OCED, París.
- International Energy Agency (IEA) (2004): “CO₂ emissions from fuel combustion, 1971 – 2003”, CD-Room Database, Energy Statistics Division, París.
- IPCC (1996): *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2000): *Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de política*. Informe especial del Grupo de Trabajo III del IPCC, disponible en: <http://www.grida.no/climate/ipcc/spmpdf/sres-s.pdf>
- IPCC (2001a): *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2001b): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2001c): *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment*

Bibliografía

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

Kaldor, Nicholas (1939): "Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility," *Economic Journal*, 49:195, pp. 549-552.

Kaya, Y. (1989): "Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios". Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group, May. Cited in Goldemberg, J. *et al.*, (1996)

Labajo, J.L. y Piorno, A. (1998): "Análisis del comportamiento temporal de la temperatura en Castilla y León: primeros resultados", en Fernández, Galán, y Cañada (Coords.), *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*, pp. 577-591, Madrid, Parteluz.

Labajo, J.L. y Piorno, A. (2001): "Regionalization of precipitation in Castilla and Leon (Spain). Analysis of its temporal behaviour", en Brunet y López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 163-173, Berlín, Springer.

Liaskas, K. *et al.* (2000): "Descomposition of industrial CO₂ emissions: The case of European Union", *Energy Economics* 22, pp. 383-394.

Lind, R.C. (1997): "Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency in water policy evaluation", *Climatic Change*, vol. 37, pp. 41-62.

Liu, F. L. y Ang, B.W. (2003): "Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry", *Applied Energy*, 76, pp. 15-23.

Llebot, J.E. (Coord.) (2005): *El canvi climàtic a Catalunya*, CADS, IEC, Barcelona.

Lorentz, E.N. (1963): "Deterministic Nonperiodic Flow", *J. Atmos. Sci.* 20, pp. 130-141.

Manne, A., Mendelsohn, R. y Richels, R. (1995): "MERGE – A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies", *Energy Policy*, vol. 23, pp 17–34.

Manne, A.S. y Richels, R.G. (1999): "The Kyoto protocol: A cost effective strategy for meeting environmental objectives?", *Energy Journal*, Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol – A Multi-model Evaluation, pp. 1–23.

Martín Vide, J. y Olcina, J. (2001): *Climas y tiempos de España*, Madrid, Alianza Editorial.

Martín Vide, J., Calbó, J. y Sánchez Lorenzo, A. (2006): Tendencias recientes de la insolación en la España peninsular y Baleares (1971-2000), en *5ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. Sevilla.

Martín Vide, J. (2002): *El tiempo y el clima*, Rubes ed., Barcelona.

- Mielnik, O., Goldemberg, J. (1999): "The evolution of the carbonization Index in developing countries." *Energy Policy* 27, pp. 307-308.
- Milián, T. (1996): *Variaciones seculares de las precipitaciones en España*, Universidad de Barcelona, 407 pp. (Tesis doctoral inédita).
- Moreno, J.M. (Dir./Coord) (2005): *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE - INFORME FINAL*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Nadal, J. et al. (Comp.) (1987): *La economía española en el siglo XX. Una perspectiva histórica*. Ed. Ariel, S.A., Barcelona
- Nieto, J. y Santamarta, J. (2006): *Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990–2005)*. Ed. Confederación sindical de comisiones obreras. Departamento de Medio Ambiente, Abril.
- Nordhaus, W. D. (1994): *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Nordhaus, W. D. y Yang, Z. (1996): "A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies", *American Economic Review*, vol. 86, pp. 741–765.
- Nordhaus, W.D. (1993): "Rolling the "DICE": An optimal transition path for controlling greenhouse gases", *Resource and Energy Economics*, vol. 15, pp. 27–50.
- Nordhaus, W.D. (1997): "Discounting in economics and climate change", *Climatic Change*, vol. 37, pp. 315–328.
- Nordhaus, W.D. (2006): "The *Stern Review* on the Economics of Climate Change", disponible en: <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/SternReviewD2.pdf>
- Nordhaus, W.D. y Boyer, J.G. (1999): *Roll the DICE Again: Economic Models of Global Warming*. Yale University, MIT Press, Cambridge, MA.
- OECD (2004): *Energy Balances of OECD Countries, 2002–2003*. Head of Publications Service OECD, París.
- Padilla, E. (2004): "Limitaciones, omisiones y juicios de valor del análisis económico convencional de las políticas de cambio climático. Hacia un análisis coherente con el desarrollo sostenible", *Ecología Política*, nº 28, pp. 121–138.
- Pearce, D., Cline, W.R., Achanta, A.N., Fankhauser, S., Pachauri, R.K., Tol, R.S.J. y Vellinga, P. (1996): *The Social Costs of Climate Change: Damages and Benefits of Control*, Intergovernmental Panel of Climate Change: Working Group III Report, Cambridge University Press, Cambridge.
- Peck, S.C. y Teisberg, T.J. (1992): "CETA: a model for carbon emissions trajectory assessment", *Energy Journal*, vol. 13, pp. 55–77.
- Peck, S.C. y Teisberg, T.J. (1994): "Optimal carbon emissions trajectories when damages depend on the rate or level of global warming", *Climatic Change*, vol. 28, pp. 289–314.

Bibliografía

- Peck, S.C. y Teisberg, T.J. (1999): "CO₂ emissions control agreement: incentives for regional participation.", Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol – A Multi-Model Evaluation, *Energy Journal*, pp. 367–390.
- Quereda, J. y Montón, E. (1997): *¿Hacia un Cambio Climático? La Evolución del Clima Mediterráneo desde el Siglo XIX*, Castellón, Fundación Dávalos- Fletcher.
- Raso, J.M. (1997): "The recent evolution of mean annual temperatures in Spain", en MARTÍN-VIDE (Ed.), *Advances in Historical Climatology in Spain*, pp. 201-223, Vilassar de Mar, Oikos-tau.
- Roca, J. (2002): "The IPAT formula and its limitations", *Ecological Economics*, vol. 42/1.
- Roca, J. y Alcántara, V. (2001): "Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case" *Energy Policy* 29, pp. 553-556.
- Roca, J. y Alcántara, V. (2002): "Economic Growth, Energy Use, and CO₂ Emissions" en Blackwood, J.R. (Editor): *Energy Research at the Cutting Edge*. Ed. Nova Science Publishers, Nueva York.
- Roca, J. y Padilla, E. (2003): "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto". *Economía Industrial*, 351, pp. 73-86.
- Roca, J., Padilla, E, Farré, M. y Galletto, V. (2001): "Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis", *Ecological Economics*, vol. 39, nº 1, pp. 85–99.
- Rodrigo, F.S; Esteban-Parra, M.J; Pozo-Vázquez, D. y Castro-Díez, Y.(1999): "A 500-year precipitation record in southern Spain". *International Journal of Climatology*, 19, pp. 1233-1253.
- Romero, R.; Guijarro, J.A.; Ramis, C. y Alonso, S. (1998): "A 30-year (1964-93) daily rainfall database for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study". *International Journal of Climatology*, 18, pp. 541-560.
- Saladí, O. (2004): *Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el sector nororiental de la Península Ibérica (1850-2000)*, Universidad de Barcelona, 496 pp. (Tesis doctoral inédita).
- Salat, J. y Pascual, J. (2006): Principales tendencias climatológicas en el Mediterráneo noroccidental, a partir de más de 30 años de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa catalana, en J.M. Cuadrat Prats, M.A. Saz Sánchez, S.M. Vicente Serrano, S. Lanjeri, M. de Luis Arrillaga y J.C. González-Hidalgo (Eds.), *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Zaragoza, AEC, serie A, nº 5.
- Saz, M.(2003): *Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV*. Zaragoza, C.P.N.A, Diputación General de Aragón.
- Schelling, T.C. (1992): "Some economics of global warming", *American Economic Review*, vol. 82, pp. 1-14.
- Sen, A.K. (1982): "The choice of discount rates for social benefit–cost analysis", en Lind, R.C. (ed.) *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*. Resources for the Future. Washington D.C. pp. 325-52.

- Spash, C.L. (1994): "Double CO₂ and beyond: benefits, costs and compensation", *Ecological Economics*, vol. 10, pp. 27-36.
- Squire, L. y van der Tak, H.G. (1975): *Economic Appraisal of Projects*. John Hopkins University Press, Londres.
- Staudt, M. (2004): *Detección de cambios térmicos en la Península Ibérica con datos homogéneos regionales*. Universidad de Granada, 559 pp. (Tesis doctoral inédita).
- Stern, N. (2006) "Stern Review Report on the Economics of Climate Change"; Cambridge University Press, Cambridge, disponible en: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_index.cfm
- Sudrià, C. (1987): "Un factor determinante: la energía", en Nadal, J. *et al.* (Comp.), 1987.
- Sun, J.W. (1999): "The nature of CO₂ emissions Kuznets curve". *Energy Policy* 27, pp. 691-694.
- Tol, R.S.J. (1995): "The damage cost of climate change toward more comprehensive calculations", *Environmental and Resource Economics*, vol. 19, pp. 67-90.
- Törnqvist, L. (1935): "A memorando concerning the calculation of Bank of Finland consumption price index" citado por Ang (1999)
- Törnqvist, L., Vartia, P. y Vartia, Y. (1985): "How should relative changes be measured?", *The American Statistician*, 39 (1), 43-46
- Trigo, R.; Paredes, D.; Garcia-Herrera, R. y Trigo, I. (2006): "The changing nature of the precipitation regime in the Iberian Peninsula". *Geophysical Research Abstracts*, 8, 02391. European Geosciences Union.
- Wheeler, D. y Martín-Vide, J. (1992): "Rainfall Characteristics of Mainland Europe's most Southerly Stations". *International Journal of Climatology*, 12, pp. 69-76.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987): *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.

Anexos

Anexo I

Descomposición del crecimiento CO2 (Miles de toneladas)							
Pro memoria: Las emisiones totales en 1960 ascendieron a 52.110,0 kt.							
	CO2	CO2/EFS	EFS/EP	EP/EF	EF/PIB	PIB/POB	POB
1961	2990	-382,3	204,2	-670,4	-2157,8	5464,2	532,0
1962	4640	-974,9	399,0	1283,4	-1513,1	4757,2	688,5
1963	430	-732,7	-1124,4	-3061,0	-145,7	4788,8	705,0
1964	6080	-1317,4	935,4	2223,6	971,7	2530,7	736,1
1965	4000	-76,9	310,8	745,1	-1117,6	3354,7	783,9
1966	5660	-1468,0	-988,1	-121,4	3127,7	4277,8	831,9
1967	9200	-2287,6	1794,5	3236,0	3039,9	2514,0	903,2
1968	10520	-1692,6	352,8	3210,3	2882,6	4758,9	1007,9
1969	6090	1464,9	-1814,1	-5314,9	3337,6	7333,1	1083,4
1970	7490	-3089,0	1045,7	-2877,1	8027,3	3231,5	1151,5
1971	11890	202,7	-1754,6	2375,1	5838,0	4167,2	1061,5
1972	2900	-4,4	-3338,9	1915,5	-5272,9	8501,8	1099,0
1973	20420	-664,7	1788,8	1579,6	7669,8	8840,5	1206,0
1974	11490	-313,3	132,4	6526,9	-3060,9	6758,8	1446,1
1975	5940	-343,8	1353,0	3726,3	345,5	-795,6	1654,7
1976	12560	-598,0	1606,4	-918,3	7007,5	3477,3	1985,1
1977	-7870	-951,6	-4147,1	-8233,2	691,0	2743,7	2027,3
1978	9560	-2066,5	128,7	5344,9	3665,4	562,7	1924,8
1979	3180	1774,7	-1169,9	-7833,2	10334,6	-1513,4	1587,2
1980	12560	1828,9	5833,4	9487,9	-8642,5	2053,7	1998,6
1981	5100	4108,4	-1981,6	10158,7	-6927,8	-1451,1	1193,4
1982	-5030	1161,9	-1034,3	-1148,7	-6417,3	1365,4	1042,9
1983	1760	1388,4	-2607,5	-1709,3	1305,7	2475,3	907,3
1984	-7530	-774,3	-11033,2	2621,6	-1703,0	2583,6	775,4
1985	880	676,8	-3248,0	1227,3	-2057,8	3595,8	686,0
1986	-1610	873,7	-6015,9	3156,0	-5585,5	5395,6	566,2
1987	1020	-617,0	-3104,8	-1384,0	-3911,3	9579,4	457,8
1988	3960	-2946,2	-7709,6	-4710,7	9965,3	8947,2	414,1
1989	17510	-3583,1	2194,8	5137,5	4378,6	8997,0	385,1
1990	3370	-468,6	-659,9	-3394,6	114,4	7460,2	318,5
1991	8250	731,9	-806,2	-1045,4	3954,9	5032,6	382,2
1992	8350	1482,6	2274,3	1273,6	1250,8	1546,3	522,4
1993	-11680	-726,9	-3707,6	-2463,5	-2480,5	-2784,6	483,1
1994	12360	405,5	1072,0	-1295,5	6942,0	4838,3	397,7
1995	11460	22,2	-204,4	597,3	4673,4	6030,9	340,6
1996	-10660	1834,1	-8414,8	-5957,4	-3772,2	5315,6	334,8
1997	19150	4320,9	186,1	1478,5	3738,6	9006,8	419,1
1998	7340	-3885,2	-1137,9	-3147,2	4784,8	10053,6	672,0
1999	18660	4693,7	1412,6	5165,0	-3577,3	9806,2	1159,7
2000	11560	3798,5	-5834,0	-4301,5	5818,4	9957,8	2120,7
2001	2300	665,3	-5558,7	-5860,0	5136,0	5489,1	2428,2
2002	14920	6008,3	320,2	4367,2	-2305,4	4480,2	2049,5
2003	9390	6940,2	-7899,6	-7284,8	10036,2	5606,9	1991,1

Fuente: Elaboración propia. Datos estadísticos de bse: AIE (2005) y OCDE (2005)

Anexo II

Evolución del comportamiento sectorial en la evolución de las emisiones
Miles de toneladas (kt) de CO₂

	Química y petroquímica	Minerales no metálicos	Equipo transporte	Metalurgia y maquinaria	Alimentación y bebidas	Papel e impresión	Madera y sus productos	Construcción	Textil y cuero	Otras industrias	Agricultura	Comercio y servicios	Total
Efecto carbonización													
1987	-660	-354	-158	-975	-195	-156	-21	1	0	65	-83	-929	-3466
1988	-640	-720	-321	-2248	-538	-458	-158	-103	-399	-448	-333	-1515	-7881
1989	1772	754	307	2661	998	1325	174	132	393	-2222	592	2196	9083
1990	-1043	-324	-180	-521	-82	-260	-35	-8	-128	-810	-66	-264	-3721
1991	-401	-42	-34	-343	-94	-18	0	0	-5	362	-59	-377	-1011
1992	698	579	218	1852	486	294	117	66	273	1082	203	1697	7565
1993	-687	-880	-219	-1667	-542	-463	-137	-86	-445	359	-361	-1855	-6984
1994	-196	161	-31	-415	-25	34	-21	-13	-31	92	15	-255	-685
1995	886	362	8	715	235	191	90	181	-27	-381	347	1089	3694
1996	-601	-829	-343	-2178	-741	-543	-163	-229	-387	-811	-544	-3250	-10619
1997	446	355	171	1207	253	132	6	24	92	642	78	1857	5263
1998	142	-233	-88	-1490	-129	-100	-95	-50	15	-254	-97	-1186	-3565
1999	619	-969	212	1698	-703	-1339	-1005	51	248	3741	212	2698	5464
2000	-995	-888	-149	-1666	-134	-603	142	-66	-298	168	-218	-1496	-6203
2001	-28	-682	-295	-2501	-672	526	-2	-108	60	-1144	-105	-2227	-7177
2002	-261	1133	358	2399	370	376	203	172	329	-46	264	3353	8648
Efecto intensidad energética													
1987	-980	-1061	11	-2763	-101	-485	-50	-62	-387	-585	-845	1692	-5617
1988	-1243	844	40	-763	361	426	63	258	267	-361	-1825	-1061	-2993
1989	-1456	-521	34	-911	-858	-804	-19	-345	283	3038	-2560	240	-3879
1990	-106	-1888	-105	331	-78	191	10	-48	111	824	35	224	-498
1991	821	401	106	-134	73	-92	-6	-7	108	-352	262	1066	2245
1992	-556	70	-129	-1045	-161	196	-8	58	59	-622	395	879	-864
1993	-1415	-2430	358	-311	212	542	69	74	360	1215	-59	-461	-1846
1994	787	-46	-37	357	835	139	207	14	77	204	830	1264	4630
1995	1641	-342	-167	-2830	798	621	-137	304	280	-689	934	217	630
1996	-2330	2044	8	-1960	-428	-457	-134	21	-255	-335	-1401	1458	-3769
1997	411	683	1	1791	128	427	164	-107	211	179	-466	1645	5067
1998	-1261	-1047	281	-578	-294	154	163	79	-242	-10	-523	-121	-3399
1999	-1161	-343	-232	-1693	1060	1490	1154	-12	-34	-4355	1347	1260	-1518
2000	3310	2434	726	348	1124	-665	-190	134	606	1285	1095	2468	12676
2001	-1479	1400	305	3730	459	-659	155	119	-815	746	-356	263	3868
2002	1548	-3678	-333	-54	1249	664	65	16	332	633	-277	-1343	-1180

Anexo II (Continuación)

Evolución del comportamiento sectorial en la evolución de las emisiones														
Miles de toneladas (kt) de CO ₂														
		Química y petroquímica	Minerales no metálicos	Equipo transporte	Metalurgia y maquinaria	Alimentación y bebidas	Papel e impresión	Madera y sus productos	Construcción	Textil y cuero	Otras industrias	Agricultura	Comercio y servicios	Total
Efecto estructura														
1987	1989	11	84	-252	36	142	-5	10	-54	48	771	-173	2606	
1988	382	770	104	104	-54	-252	-17	26	-231	-20	308	-80	1038	
1989	451	-116	59	240	-232	37	-18	49	-160	-34	-692	1	-414	
1990	-336	344	25	-999	-4	-195	-25	23	-145	118	79	-33	-1146	
1991	428	46	-31	-297	13	35	-16	-2	-145	-24	86	15	108	
1992	-77	-546	152	-1139	211	-195	-1	-43	-161	111	55	166	-1467	
1993	191	-464	-402	452	-116	-161	-43	-38	-21	-218	308	192	-320	
1994	-84	354	95	1227	-347	70	-126	-3	-80	-177	-478	89	540	
1995	-304	386	237	1451	-295	-337	-16	31	-88	53	-719	-21	377	
1996	-379	-1550	36	641	-559	89	3	-35	21	138	1170	-101	-527	
1997	176	993	219	-168	73	37	5	-16	81	41	-103	-43	1297	
1998	480	810	6	410	-89	-5	33	29	55	142	-333	-89	1449	
1999	-285	777	-5	441	-69	14	30	50	-110	115	-664	-25	269	
2000	-863	378	-173	639	-499	309	0	16	-219	90	-170	57	-432	
2001	340	287	-364	315	-80	-102	-146	21	-145	-142	-588	199	-405	
2002	-796	-1018	-83	-1738	-568	-153	-60	-4	-431	-220	-321	482	-4912	
Efecto actividad														
1987	876	1041	121	1513	394	252	50	31	201	143	550	822	5992	
1988	776	944	105	1215	350	211	41	32	164	97	454	702	5091	
1989	766	980	111	1204	346	220	42	33	169	97	345	703	5016	
1990	644	807	99	1052	292	195	38	24	153	103	246	654	4307	
1991	391	481	59	627	178	117	22	15	92	65	156	412	2616	
1992	39	47	6	60	18	12	2	2	9	7	16	44	262	
1993	-224	-262	-36	-350	-110	-72	-14	-9	-56	-55	-103	-271	-1561	
1994	233	260	38	378	119	79	15	10	59	72	113	287	1663	
1995	431	454	65	649	218	144	25	22	103	110	205	519	2944	
1996	323	353	49	463	159	108	16	21	75	66	157	397	2185	
1997	631	768	103	951	308	218	31	36	152	134	302	856	4490	
1998	667	834	119	1019	321	241	38	37	163	156	287	938	4820	
1999	598	762	115	931	296	229	40	37	152	134	267	919	4479	
2000	824	1064	164	1256	419	292	58	54	210	204	399	1364	6308	
2001	679	924	135	1042	346	217	46	47	156	187	320	1102	5202	
2002	1048	1381	201	1697	564	358	78	79	228	289	466	1750	8137	

Anexo II (Continuación)

Evolución del comportamiento sectorial en la evolución de las emisiones Miles de toneladas (kt) de CO ₂													
	Química y petroquímica	Minerales no metálicos	Equipo transporte	Metalurgia y maquinaria	Alimentación y bebidas	Papel e impresión	Madera y sus productos	Construcción	Textil y cuero	Otras industrias	Agricultura	Comercio y servicios	Total
	Efecto Total												
1987	1225	-363	58	-2478	135	-248	-27	-20	-241	-329	393	1411	-485
1988	-726	1838	-72	-1692	119	-73	-71	213	-200	-732	-1396	-1954	-4744
1989	1533	1097	512	3195	253	778	179	-131	684	879	-2314	3140	9806
1990	-841	-1061	-160	-137	128	-68	-12	-8	-9	235	294	580	-1059
1991	1240	887	99	-146	171	42	0	5	49	51	444	1116	3958
1992	104	151	246	-272	553	307	111	83	180	578	670	2786	5496
1993	-2135	-4036	-299	-1876	-556	-154	-125	-58	-162	1301	-215	-2395	-10711
1994	739	729	64	1547	583	322	74	8	24	191	481	1386	6148
1995	2653	859	143	-16	956	619	-37	538	267	-907	767	1803	7645
1996	-2987	18	-250	-3034	-1568	-804	-278	-224	-545	-943	-619	-1496	-12730
1997	1664	2799	493	3781	762	814	206	-63	537	996	-189	4315	16116
1998	28	365	318	-639	-191	290	138	95	-9	33	-666	-458	-695
1999	-230	227	90	1377	584	394	219	126	256	-364	1162	4851	8693
2000	2276	2988	569	577	910	-667	11	138	298	1747	1107	2394	12349
2001	-488	1930	-218	2585	54	-18	52	78	-743	-353	-728	-663	1488
2002	1539	-2183	142	2303	1615	1244	286	262	458	656	131	4241	10693

Fuente: Elaboración propia. Datos estadísticos de base: AIE (2005) y OCDE (2005) y STAN Industry Structural Analysis. Base de datos on-line OCDE.

Anexos

Anexo III

Descomposición de la variación de emisiones por efectos y periodo (kt) 1992-1987													
	Química y petroquímica	Minerales no metálicos	Equipo transporte	Metalurgia y maquinaria	Alimentación y bebidas	Papel e impresión	Madera y sus productos	Construcción	Textil y cuero	Otras industrias	Agricultura	Comercio y servicios	Total
Efecto carbonización	-274	-107	-168	427	575	726	77	88	134	-1971	254	807	568
Efecto intensidad	-3521	-2156	-43	-5285	-764	-568	-10	-146	441	1944	-4537	3039	-11607
Efecto estructura	2838	510	394	-2343	-30	-427	-81	63	-898	197	606	-104	726
Efecto actividad	3492	4301	501	5671	1578	1007	195	137	787	511	1768	3336	23284
Efecto Total	2535	2549	683	-1530	1359	738	180	142	465	682	-1909	7078	12972
% de incremento medio anual sobre 1986													
Efecto carbonización	-0,03	-0,01	-0,02	0,05	0,06	0,08	0,01	0,01	0,01	-0,21	0,03	0,09	0,06
Efecto intensidad	-0,38	-0,23	0,00	-0,57	-0,08	-0,06	0,00	-0,02	0,05	0,21	-0,49	0,33	-1,25
Efecto estructura	0,31	0,05	0,04	-0,25	0,00	-0,05	-0,01	0,01	-0,10	0,02	0,07	-0,01	0,08
Efecto actividad	0,38	0,46	0,05	0,61	0,17	0,11	0,02	0,01	0,08	0,06	0,19	0,36	2,51
Efecto Total	0,27	0,27	0,07	-0,17	0,15	0,08	0,02	0,02	0,05	0,07	-0,21	0,76	1,40

Anexo III (Continuación)

	2002-1993												
	Química y petroquímica	Minerales no metálicos	Equipo transporte	Metalurgia y maquinaria	Alimentación y bebidas	Papel e impresión	Madera y sus productos	Construcción	Textil y cuero	Otras industrias	Agricultura	Comercio y servicios	Total
Efecto carbonización	-676	-2469	-375	-3899	-2088	-1790	-982	-124	-445	2365	-409	-1272	-12166
Efecto intensidad	50	-1325	910	-1201	5143	2256	1517	642	520	-1126	1123	6650	15159
Efecto estructura	-1524	953	-436	3670	-2547	-239	-320	50	-937	-177	-1896	741	-2663
Efecto actividad	5209	6538	954	8035	2640	1814	332	333	1243	1295	2414	7860	38667
Efecto Total	3059	3696	1053	6604	3148	2040	547	901	381	2357	1232	13979	38997
	% de incremento medio anual sobre 1986												
Efecto carbonización	-0,04	-0,15	-0,02	-0,23	-0,13	-0,11	-0,06	-0,01	-0,03	0,14	-0,02	-0,08	-0,73
Efecto intensidad	0,00	-0,08	0,05	-0,07	0,31	0,14	0,09	0,04	0,03	-0,07	0,07	0,40	0,91
Efecto estructura	-0,09	0,06	-0,03	0,22	-0,15	-0,01	-0,02	0,00	-0,06	-0,01	-0,11	0,04	-0,16
Efecto actividad	0,31	0,39	0,06	0,48	0,16	0,11	0,02	0,02	0,07	0,08	0,14	0,47	2,32
Efecto Total	0,18	0,22	0,06	0,40	0,19	0,12	0,03	0,05	0,02	0,14	0,07	0,84	2,34

Fuente: Elaboración propia. Datos estadísticos de base: AIE (2005) i OCDE (2005) i *STAN Industry Structural Analysis*. Base de datos on-line OCDE.
 Pro memoria: Las emisiones totales en 1986 ascendieron a: 104.753,7 kt.

Apéndice metodológico

El problema de la descomposición de la evolución de una variable en efectos explicativos no es nuevo. En realidad, como ha señalado Ang (1999), el problema es similar al de los números índices en economía. Törnqvist (1935) ya se planteaba este problema hace bastantes años y fue retomado nuevamente por Törnqvist *et al.* (1985), planteando cuestiones relativas a problemas que nada tenían que ver con los problemas energéticos y los impactos ambientales. A partir de los primeros años de la década de los ochenta, la descomposición en factores fue ampliamente desarrollada en el análisis de la demanda industrial de energía, y, más recientemente, por la necesidad de disponer de instrumentos de diagnóstico en los problemas relativos a las emisiones contaminantes en general, y de las emisiones de CO₂ en particular. Desde una perspectiva metodológica, el lector debe considerar esta técnica analítica como un problema de análisis de números índices, no comparable a instrumentales más potentes como, por ejemplo, el análisis de descomposición estructural input-output.

Una buena síntesis de los métodos de descomposición se encuentra en el trabajo citado de Ang. Una discusión matemática rigurosa se encuentra en Liu y Ang (2003) y Choi y Ang (2003). Se ha optado por la metodología más oportuna para los objetivos del presente trabajo.

Partiendo de la expresión del texto,

(1)

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EFS_i(t)} \times \frac{EFS(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{EF(t)} \times \frac{EF(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

y con el fin de simplificar las expresiones, sea

$$c_t = \frac{C(t)}{EFS(t)}, f_t = \frac{EFS(t)}{EP(t)}, e_t = \frac{EP(t)}{EF(t)},$$

$$w_t = \frac{EF(t)}{PIB(t)}, y_t = \frac{PIB(t)}{POB(t)} \text{ y } n_t = POB(t)$$

La expresión (1) puede volverse a escribir como sigue:

$$(2) \quad C_t = c_t \times f_t \times e_t \times w_t \times y_t \times n_t$$

El incremento anual de las emisiones de CO₂ (C_t) se puede descomponer de la siguiente forma:

(3)

$$\Delta C_t = L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{c_t}{c_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{f_t}{f_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{e_t}{e_{t-1}} +$$

$$L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{w_t}{w_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{y_t}{y_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{n_t}{n_{t-1}}$$

Si se tiene en cuenta que

$$(4) \quad L(C_t, C_{t-1}) = \frac{C_t - C_{t-1}}{\ln(C_t / C_{t-1})}$$

la descomposición planteada no es sino la parte de la variación atribuible a cada factor atendiendo al peso que su tasa de crecimiento instantáneo tiene sobre la de las emisiones totales. Siendo $L(C_t, C_{t-1})$ (transformación de la función original de Törnqvist) una función que permite una descomposición exacta en efectos explicativos.

Si $t = 0$ es el año que se toma como base (en el texto, 1986) y $C(F)$ la variación de las emisiones debidas a un factor cualquiera F , el valor del índice en base 1 en el año t será:

$$(5) I_t = \frac{C_{t-1} + AC(F)}{C_0}$$

Y así para todos los factores.

En el caso de la siguiente expresión (2) del texto:

$$(6) \sum_i C_i(t) = \sum_i \frac{C_i(t)}{E_i(t)} \times \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \times \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \times Y(t)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ sectores

Si, para simplificar, se operan los siguientes cambios:

$$c_{i,t} = \frac{C_i(t)}{E_i(t)}, e_{i,t} = \frac{E_i(t)}{Y_i(t)}, y_{i,t} = \frac{Y_i(t)}{Y(t)}$$

La expresión (6) puede ser rescrita como sigue:

$$(7) \sum_i C_{i,t} = \sum_i c_{i,t} \times e_{i,t} \times y_{i,t} \times Y_t$$

Y puede establecerse la siguiente descomposición de la variación anual de las emisiones:

$$\Delta C_t = \sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{C_{i,t}}{C_{i,t-1}} + \sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{e_{i,t}}{e_{i,t-1}} +$$

$$\sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{y_{i,t}}{y_{i,t-1}} + \sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{Y_{i,t}}{Y_{i,t-1}}$$

Expresión en la que

$$L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) = \frac{C_{i,t} - C_{i,t-1}}{\ln(C_{i,t}/C_{i,t-1})}$$

La ponderación, pues, viene ahora dada por el crecimiento de las emisiones totales de cada sector.

ctos

micos

mbio



CAIXA CATALUNYA

www.caixacatalunya.es

tico en Es