

para afirmar que éste sería un punto de partida mucho más adecuado para iniciar el análisis de las políticas a aplicar en el caso del cambio climático. Más adelante, en el apartado 5, se plantean algunas de las cuestiones a tener en cuenta en un análisis de las políticas en el cambio climático coherente con el desarrollo sostenible.

4. ALGUNAS LIMITACIONES, SEGOS Y OMISIONES ADICIONALES

Los resultados de los modelos empleados para analizar las políticas en el cambio climático son sensibles a supuestos sobre desarrollo económico, capacidad de adaptación, cambios en clima regional, posibilidades de sustitución, probabilidad de cambios extremos, cambio técnico y capacidad de asimilación, entre otros. Ya se ha visto que el análisis convencional implica toda una batería de supuestos cuestionables como validez del descuento, aceptación del criterio de Kaldor-Hicks, posibilidad de sustitución ilimitada (incluyendo la posibilidad de valorar todo en términos monetarios), así como negación de derechos a las generaciones futuras y los pobres del presente. No obstante, los problemas de los modelos utilizados para determinar las políticas adecuadas de control de emisiones van más allá de las limitaciones propias de la economía convencional. En general, tanto los análisis de optimización como la mayor parte de los análisis de coste-efectividad, incorporan juicios de valor, omisiones y supuestos arbitrarios sobre factores que afectan críticamente a sus resultados. Estos modelos resuelven la incapacidad práctica de incorporar la complejidad del fenómeno del cambio climático asumiendo supuestos sobre relaciones acerca de las que no existe certeza alguna. El problema es que los sesgos que se introducen van siempre en el mismo sentido: tienden a infravalorar las pérdidas y sobrestimar las ganancias económicas del cambio climático, llevando a la recomendación de escasa o nula actuación, al menos en el corto plazo.

Un primer sesgo es el relativo al nivel de crecimiento económico. Se tienden a hacer supuestos altamente optimistas sobre las virtudes del crecimiento económico. Ya se comentó anteriormente que los modelos suponen que se darán importantes tasas de crecimiento económico en el futuro, en muchos casos justificándose en el crecimiento experimentado en el pasado, sin ni siquiera tener en cuenta el impacto negativo de este crecimiento sobre el medio ambiente. Esto conduce a prescripciones contrarias a la reducción de emisiones, ya sea mediante la aplicación de un mayor descuento (por el motivo de la utilidad marginal decreciente) o mediante asumir una mayor capacidad de adaptación, considerándose menos graves los impactos provocados por el cambio climático. En este sentido, Cline (1996) critica que el método de Nordhaus (1994) para computar costes en agricultura está sesgado hacia producir estimaciones bajas.

Otro sesgo es el que señalan Schultz y Kasting (1997). Los modelos de evaluación integrada clima-economía se basan en las tasas de absorción de CO₂ preindustriales. Éstas subestiman la vida del CO₂ en la atmósfera debido a que no consideran la saturación de los sumideros de carbono disponibles. En consecuencia, se subestiman importantemente las concentraciones máximas de CO₂ y la persistencia del calentamiento global. Para predecir las tasas de absorción, los modelos de ciclo de carbono deberían considerar la historia previa de las emisiones de CO₂, lo que quizás no se haya hecho por la complicación de cálculo que implica.⁸⁶ En el mismo sentido, Price (1995) argumenta que el trabajo de Nordhaus (1994) sobreestima la absorción de CO₂ en los océanos.

86 Schultz y Kasting (1997) presentan una parametrización sencilla y comparan sus resultados con los de Nordhaus (1994), obteniendo unas reducciones 'óptimas' mayores.

Las evaluaciones convencionales, como es el caso de los estudios de Nordhaus, ignoran el valor de no-uso de los individuos para la protección de la biodiversidad y los ecosistemas, es más, ignoran en su mayor parte los efectos negativos del calentamiento global en los ecosistemas (Howarth, 1996). Según Birdsall y Steer (1993) los individuos no están dispuestos a dejar un medio ambiente deteriorado; éstos serían valores no económicos de gente viva hoy (que por tanto no se deben descontar) y deberían tenerse en cuenta en el proceso de decisión.⁸⁷

Los modelos climáticos empleados en los estudios son continuos, no reflejan las discontinuidades ni los cambios de equilibrio que puedan darse. Parten de señalar que el cambio en concentraciones de CO₂ en atmósfera lo más probable es que sea suave y marginal (lo que hasta cierto punto puede ser razonable) y pasan a suponer que el cambio climático será uniforme y marginal, y sus impactos suaves y marginales (Pizer, 1996). Esto supone hacer un importante salto cualitativo, obviando cuestiones como la saturación de sumideros y los posibles cambios de equilibrio y discontinuidades que podrían provocar cambios drásticos que contradijeran el movimiento gradual que suponen los modelos. Las corrientes oceánicas y el sistema atmosférico pueden cambiar a equilibrios alternativos, produciéndose cambios rápidos y extremos, con impactos catastróficos en algunos casos. Se niega la naturaleza no lineal de la dinámica climática, quizás simplemente para obtener modelos más manejables. Además, las estimaciones generalmente no tienen en cuenta el efecto de la velocidad del cambio: a mayor velocidad, mayor será el impacto. En general tampoco se consideran los efectos de cambios en la variabilidad climática (IPCC, 2001b).

Como se ha comentado anteriormente, en el caso del cambio climático no se dan las condiciones para que los métodos convencionales de gestión de riesgo puedan llevar a asignaciones eficientes. La mayor parte de los modelos asumen que la incertidumbre es modesta y manejable (Weyant et al., 1995). En el cambio climático se dan muchas interacciones entre complejos sistemas naturales y sociales acerca de los cuales no se sabe mucho. Las estructuras de los modelos son inciertas. No reconocer los niveles de incertidumbre e ignorancia en los modelos lleva a resultados erróneos que, en cualquier caso, no deberían ser calificados como 'óptimos'. Además, los modelos obvian la posibilidad de fenómenos extremos, o simplemente les asocian una probabilidad mínima, cuando en realidad se ignoran tanto los posibles resultados como sus respectivas probabilidades. No se tiene en cuenta un factor que debería ser importante en la toma de decisiones, lo que sesga el resultado hacia un menor control respecto al caso en que sí se tuviera en cuenta. Como afirma Schelling (1992), un seguro contra catástrofes sería motivo suficiente para hacer un sacrificio importante de reducción de emisiones. En este sentido, el valor de la información justifica los esfuerzos en investigación para reducir la incertidumbre sobre la posibilidad de impactos extremos, como se muestra en Peck y Teisberg (1993). Algunos autores opinan que sale a cuenta gastar dinero para mantener la flexibilidad; Lind (1995, 1997) y Dixit y Pyndyck (1994) argumentan que lo mejor no es establecer por una vez y para siempre un curso de actuación comprometiendo al futuro a seguirlo, sino intentar evitar las irreversibilidades, dejando opciones abiertas. No obstante, evitar irreversibilidades puede implicar una muy fuerte actuación del presente en la disminución de la contaminación.

La mayor parte de análisis ignoran que, además de por su impacto en el efecto invernadero, el control de emisiones tiene otros efectos positivos asociados muy importantes (beneficios secundarios). La reducción en las partículas que acompañan la combustión de combustibles fósiles (como el SO_x y el NO_x) llevaría a una disminución de la contaminación y a la consiguiente mejora en términos de salud y bienestar.⁸⁸ Si esto se tuviera en cuenta, el control de las emisiones así como el ritmo de disminución de éstas sería bastante mayor del que indican la mayoría de análisis (Ekins, 1996).

87 Por otro lado, critican la 'manipulación' del descuento que consideran hace Cline y recomiendan aplicar un descuento alto (8-10%).

88 En el capítulo V se describen los efectos de estos gases, así como sus principales fuentes de emisión.

Distintos estudios (e.g. Nordhaus y Yang, 1996; McKibbin *et al.*, 1999; Nordhaus y Boyer, 1999; Hamaide y Boland, 2000) asumen un coste negativo o muy bajo de reducción en países con bajo ingreso y costes marginales de reducción más grandes en países más ricos. El resultado es que, para alcanzar la 'eficiencia' global, la mayor reducción debe realizarse en países pobres. No obstante, no existe base teórica o empírica suficiente que apoye estos supuestos, Chapman y Khanna (2000) hacen una fuerte crítica a la supuesta evidencia al respecto. Es evidente que centrar los esfuerzos de control en el tercer mundo no puede llevar a una política ambiental demasiado ambiciosa.

Muchos estudios también suponen que aunque no se actuara se produciría un pico en las emisiones de gases de efecto invernadero a partir del cual éstas disminuirían. Es decir, suponen la existencia de lo que se ha dado a conocer como curva de Kuznets ambiental, lo que haría menos urgente la actuación de control de emisiones, ya que a la larga el problema tendería a disminuir gracias al mismo crecimiento económico. La evidencia en torno a la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental en el caso de los gases de efecto invernadero es bastante precaria, los estudios empíricos más bien tienden a refutar esta hipótesis, especialmente para el caso del CO₂ (véase capítulo V). Aún en el caso más optimista de que la hipótesis fuera cierta, el punto de desvinculación entre presión ambiental y crecimiento económico se daría para niveles demasiado altos de renta y emisiones, lo que no restaría urgencia a las políticas a aplicar (Selden y Song, 1994; Stern *et al.*, 1996). Además, las sucesivas previsiones de emisiones futuras son cada vez menos optimistas (véase los escenarios de emisiones del IPCC, 2000), lo que, si se tuviera en cuenta, modificaría las conclusiones actuales de los análisis.

La mayor parte de los modelos utilizados suponen que el cambio técnico se produce de forma exógena, es decir, que cada año se da una ganancia autónoma de eficiencia energética. Se asumen rápidas mejoras de eficiencia energética (reducciones en la demanda de energía por unidad de producto) independientes del impacto de los precios de la energía. Chapman y Khanna (2000) muestran que entre 1980 y 1996 la intensidad energética se ha mantenido constante a nivel global, con una disminución en los países ricos y un aumento en los países pobres. Luego, la experiencia pasada no justificaría la aplicación de tales supuestos.

Por otro lado, generalmente no se considera la posibilidad de un cambio técnico inducido, determinado de forma endógena por la respuesta de las empresas a las condiciones de mercado. Existe evidencia de que una parte muy importante del cambio técnico en el sector energético es endógeno (Grubb y Walker, 1992). Grubb y Köhler (2000) analizan las consecuencias de asumir uno u otro tipo de cambio técnico. En primer lugar, el cambio técnico inducido puede hacer que el control de emisiones sea mucho más barato a largo plazo. El aprendizaje acumulado (*learning-by-doing*) en tecnologías limpias permitiría bajos o nulos costes de mitigación. En segundo lugar, el supuesto de ganancia autónoma de eficiencia tiende a retardar el control de emisiones, ya que sale a cuenta esperar la aparición de nuevas tecnologías que permitan la reducción a menor coste mientras que el cambio técnico inducido tiende a acelerar el control de emisiones ya que la misma mitigación desarrolla el conocimiento necesario para resolver el problema a bajo coste. Una actuación decidida avanzaría el pico de la curva de Kuznets ambiental a un nivel de emisiones y renta más bajo. En tercer lugar, las externalidades positivas y los beneficios ambientales relacionadas con la innovación serían mucho más importantes en el caso del cambio técnico inducido. Las tecnologías limpias, inducidas por las políticas de mitigación, se difundirían globalmente. Según Grubb y Köhler, los efectos de derrame positivos compensarían sobradamente los efectos negativos de la migración de industrias contaminantes.⁸⁹

Chapman y Khanna (2000) destacan otro factor que quizás explicaría por qué los sesgos van siempre en el mismo sentido. La fuente de financiación de las principales evaluaciones economi-

⁸⁹ En cuanto a los instrumentos de política, en el caso del cambio técnico inducido los incentivos de mercado a la innovación en sectores relevantes tendrían mucha más importancia.

cas integradas de políticas de cambio climático proviene del sector energético “*con la destacable excepción de Nordhaus*”. La motivación de estas organizaciones, que se verían afectadas de forma muy negativa por políticas agresivas de control de emisiones, lleva a poner en tela de juicio su objetividad e independencia.

Por último, hay que señalar que hasta el momento no se han investigado los impactos asociados con el margen máximo de calentamiento estimado por el último informe del IPCC (2001b). Esto también hace suponer que la reducción de emisiones adecuada se habría infraestimado, incluso desde el punto de vista de estos modelos.⁹⁰

5. HACIA UN ANÁLISIS INTEGRADO DE LAS POLÍTICAS DE CAMBIO CLIMÁTICO COHERENTE CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Como se ha visto en el apartado 3, el análisis económico convencional parte del supuesto de que todos los derechos son del presente y de que cualquier acción para mitigar el cambio climático es un coste para el presente. Este criterio choca frontalmente con la perspectiva del desarrollo sostenible, la cual implica partir de una situación inicial donde el futuro tiene derecho a una capacidad global (ecológica y económica) no deteriorada. No se puede suponer de entrada que cualquier impacto es compensable y por tanto permisible como se asume habitualmente. En el caso del cambio climático, dada la imposibilidad de establecer una compensación adecuada por las incertidumbres, ignorancia, problemas de sustitución, irreversibilidades, cambios no marginales e inconsistencia del descuento temporal que implica, 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).⁹¹ De esta forma, garantizando sus oportunidades ecológicas, se aseguraría un trato justo al futuro. Las consecuencias de equivocarse son muy peligrosas, si no se actúa a tiempo puede exponerse la Tierra a presiones climáticas sin precedentes que perjudiquen gravemente la capacidad legada al futuro. Por otro lado, como se destaca en el capítulo I, el respeto a los derechos del futuro debe hacerse de la forma que implique un menor sacrificio al presente, como establece la CMNUCC “*las políticas y medidas para manejar el cambio climático deberían ser coste-efectivas para asegurar los beneficios globales al menor coste*”.

La obligación de respetar los derechos del futuro conjuntamente con las limitaciones del análisis convencional imponen un análisis de políticas de mitigación que incorpore restricciones en términos de impactos sobre el clima. Las ciencias naturales deben estudiar qué nivel de concentraciones de gases de efecto invernadero y ritmo de calentamiento evitarían “*interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático*.” Se deben identificar los umbrales a partir de los cuáles se provocan cambios intolerables que comprometan la capacidad global del futuro y que por tanto no están sujetos a compensaciones. El análisis económico, por su parte, debe ayudar a determinar la forma más eficiente de cumplir con el requisito de sostenibilidad.

90 Chapman *et al.* (1995) examinan las consecuencias de doblar la concentración de CO₂ en la atmósfera causando mayores temperaturas que las esperadas por Nordhaus.

91 El objetivo continúa: “*Esta estabilización debe conseguirse en un plazo suficiente para permitir a los ecosistemas adaptarse naturalmente, asegurar que la producción de alimentos no peligre y permitir que el desarrollo económico proceda de un modo sostenible*”, CMNUCC (Artículo 2. Objetivo).

En la literatura se han realizado diversos modelos estudiando las sendas coste-efectivas de reducción de emisiones para alcanzar distintos objetivos de concentraciones definidos a priori. Lamentablemente, la mayoría no se han preocupado en cómo determinar cuál es el nivel de concentraciones adecuado o coherente con el desarrollo sostenible, ni en intentar incorporar toda la información relevante para la toma de decisiones, sino que se han presentado como simples ejercicios técnicos de minimización de costes. Anteriormente se han visto los muchos problemas que mantienen estos modelos, con la consecuencia de que algunos implican incluso una menor reducción de emisiones a corto plazo que la optimización del análisis coste-beneficio (como p. ej. el análisis de Richels y Edmonds, 1995). Hammitt (1999) muestra, para distintas metas de concentración, la menor agresividad a corto plazo de estos modelos. Esto se ha explicado por las siguientes causas: evitar retirar prematuramente el estoc de capital existente; existencia de sumideros que implican que la proporción de CO₂ quedándose en la atmósfera es menor para las primeras emisiones; progreso tecnológico, que hace que en el futuro sea más barato reducir emisiones; y por el descuento, que hace que el valor presente de los costes sea menor si se retrasa la reducción (Wigley *et al.*, 1996). No obstante, estas explicaciones son muy cuestionables y ponen en duda la validez de los resultados de los modelos. Ya se ha visto que si se asume que el cambio técnico es inducido y no exógeno como se hace habitualmente, es mejor reducir a corto plazo (Grubb y Köhler, 2001). Además, si el cambio técnico inducido es importante, las políticas a corto plazo para reducir las emisiones (con incentivos de mercado o con restricciones en emisiones o tecnologías) acelerarían el desarrollo de los cambios que reducirían el coste de mitigar el cambio climático. Grubb (1997) pone en duda la oportunidad de retrasar la renovación del capital y argumenta que esto incluso podría suponer mayores costes totales, al retrasar la innovación que permite reducir los costes. En los resultados también influye que, en general, no se tienen en cuenta los impactos de distintos ritmos de aumento de temperatura, así como las discontinuidades y posibles cambios de equilibrio. Si se tuvieran en cuenta, muy posiblemente se pondría en cuestión la idoneidad de saturar los sumideros prematuramente que señalan estos modelos. A ello se suma la inconsistencia, ya indicada, que supone aplicar el descuento en problemas intergeneracionales. En resumen, un modelo enfocado a objetivos no tiene por qué implicar una menor reducción a corto plazo que el análisis coste-beneficio convencional, como se tiende a señalar. Más bien al contrario, si es que se pretende que el objetivo sea coherente con el desarrollo sostenible.⁹²

Uno de los enfoques que quizás haya ido más lejos en la línea de buscar un análisis integrado coherente con el desarrollo sostenible es el que se ha denominado enfoque de las ventanas tolerables (*tolerable windows approach*, TWA), explicado en Petscher-Held *et al.* (1999), Yohe (1999) y Dowlatabadi (1999). El TWA, a partir de las restricciones en cambios permisibles, impone limitaciones hacia atrás en el ritmo de calentamiento, el nivel de concentraciones, las sendas de emisiones y finalmente los instrumentos políticos.⁹³ El análisis permite considerar distintos tipos de información, no requiere convertir todo en dinero y tiene en cuenta cuestiones distributivas y valoraciones no expresables en mercados (ignoradas en la mayoría de modelos). Como afirman Petscher-Held *et al.* (1999) se clarifica explícitamente la frontera entre ciencias naturales (análisis causal del sistema climático) y política (juicios sobre cambios tolerables). De esta manera (si el análisis se hace correctamente) no se utiliza la sofisticación del modelo para esconder los juicios de valor, como ocurre con otros análisis. El enfoque ayuda a identificar las metas de la política climática y a determinar una senda de emisiones futuras con la seguridad de que sus impactos serán tolerables. Mediante el TWA, la obligación de

92 Como muestra Grubb (1997) "para cada argumento que se ha avanzado para justificar retrasar las restricciones de emisiones, existen contra argumentos que podrían utilizarse apoyando un control de emisiones a corto plazo" (p. 159).

93 Petscher-Held *et al.* (1999) recalcan que la temperatura media global en los milenios anteriores no ha sido más de 2° C superior y en el periodo la temperatura ha variado lentamente. Esto lo convierten en ventanas tolerables para el incremento en (2° C) y la tasa de cambio (0,2° C por década) de temperatura global.

preservar el medio natural para las generaciones futuras que se asume en este trabajo se puede convertir en restricciones cuantitativas en políticas.

Hay quien como Hasselmann (1999) ha criticado que el enfoque orientado a metas de estabilización es inconsistente con determinar la asignación óptima de todos los recursos. No obstante, esta crítica parte de la base, propia del análisis convencional, de no otorgar ningún derecho al futuro. La función de bienestar social que pretende maximizar Hasselmann no incluye adecuadamente los intereses de las generaciones futuras, sino que simplemente considera las preferencias de las generaciones presentes y su valoración de los impactos futuros (véase capítulo I). Incluso Nordhaus (1997), autor del más conocido modelo de optimización neoclásico, ve una clara oposición entre la optimalidad económica y el desarrollo sostenible y sugiere el establecimiento previo de objetivos fijos a los niveles permisibles de cambio climático, y por tanto a las concentraciones o emisiones de gases de efecto invernadero.

No obstante, una grave limitación de la mayor parte de análisis coste-efectividad realizados es que han renunciado a tener en cuenta los impactos a corto o medio plazo, centrándose únicamente en el objetivo final a largo plazo. Esto podría retrasar la reducción, ya que las emisiones a corto plazo se podrían compensar con reducciones mayores a largo plazo, cosa que no ocurre bajo la óptica del análisis coste-beneficio convencional que sí considera estos impactos (Grubb, 1997). Los sacrificios que implica la reducción a corto y largo plazo se contabilizan bajo ambos análisis, pero las consecuencias a corto o medio plazo de las emisiones sólo se cuentan bajo el análisis coste-beneficio, ya que el análisis coste efectividad sólo considera el beneficio final que supone la estabilización de emisiones. Desde la perspectiva del desarrollo sostenible esto sería incorrecto. El establecimiento de límites que aseguren que los impactos del cambio climático no pongan en peligro la capacidad global a disfrutar por las generaciones futuras, no debe implicar que se dejen de tener en cuenta los distintos impactos que se pueden causar y se intenten asignar los recursos de la forma más adecuada posible en la determinación de la senda de emisiones a seguir, como lamentablemente ocurre en la mayoría de análisis de coste-efectividad realizados (incluyendo los TWA). Partiendo de la situación donde no existe derecho natural a contaminar, cualquier impacto del cambio climático sobre el futuro implica una alteración de la dotación a disfrutar por las generaciones futuras, y por tanto un intercambio de derechos entre generaciones que no debe ser perjudicial para el futuro y debe ser tenido en cuenta en la determinación de las políticas adecuadas.

El reconocimiento de una estructura de derechos como la que implica nuestra concepción del desarrollo sostenible, convierte cualquier impacto que disminuya la capacidad del futuro en una obligación del presente. En este sentido, una vez se evita cualquier tipo de impacto intolerable (y por tanto no susceptible de ser compensado), se debe contabilizar y hacer efectiva la compensación por cualquier deuda ecológica asumida con el futuro por la contaminación presente. En este punto, las instituciones, cuya creación se reclama en el capítulo I, deben recoger la información necesaria para determinar qué impactos serían intolerables. Además, estas instituciones deberían articular las compensaciones por los impactos climáticos causados de forma que éstas lleguen al futuro. Se lograría así una asignación adecuada de los recursos muy diferente a la del análisis convencional, donde no se otorgan derechos a las generaciones futuras.

En la determinación de la senda adecuada debe ser tenida en cuenta toda la información disponible, no únicamente el esfuerzo económico de reducir emisiones. No obstante, para esto no es suficiente con la modificación del análisis coste-beneficio (considerando la existencia de generaciones y las restricciones en impactos tolerables), sino que éste se debería incorporar dentro de un proceso de evaluación integrado donde se tengan en cuenta todas las variables relevantes para la sociedad, no únicamente las que pueden ser valoradas monetariamente. El análisis coste-beneficio sería un instrumento más para aportar la información necesaria para una toma de decisiones informada. No se

conocen todos los costes y beneficios, y muchos de los impactos son poco factibles de ser expresados en términos monetarios. Quizás sea más razonable intentar obtener soluciones que se puedan considerar satisfactorias o adecuadas utilizando toda la información disponible, que la pretensión del análisis convencional de obtener puntos óptimos en el margen a partir de unos modelos basados en supuestos irreales e incapaces de reflejar todas las facetas del problema.

Una política de mitigación del cambio climático coherente con el desarrollo sostenible no sólo protegería los intereses de las generaciones futuras sino los derechos de todos los seres vivos de la tierra.

6. CONCLUSIONES

En el presente capítulo se ha realizado una revisión crítica a las limitaciones de los modelos de evaluación empleados en el problema del cambio climático. Una primera conclusión del trabajo es que la aplicación de los criterios del análisis coste-beneficio convencional, como son el descuento y el criterio de compensación de Kaldor-Hicks, pierde sentido en el caso del cambio climático. Se violan buena parte de los supuestos que justificarían su uso: impactos marginales; posibilidad de valorar toda la información relevante en términos monetarios y por tanto certeza sobre los impactos y la posibilidad de sustituir cualquier bien o servicio; efecto ingreso negligible; o distribución equitativa de los recursos, entre otros. El análisis convencional parte, además, del supuesto de que existe el derecho natural a contaminar e incluso destruir el sistema climático. El presente trabajo rechaza que esta premisa sea adecuada y sugiere un planteamiento alternativo donde el futuro tenga el derecho a un sistema climático no deteriorado, y por tanto el presente tenga la obligación de evitar o compensar cualquier alteración de éste. No se puede pretender que la política del cambio climático sea una simple cuestión de equilibrar costes y beneficios marginales.

Si embargo, los problemas del análisis económico del cambio climático no se han limitado a los que conlleva aplicar el análisis convencional a cuestiones con la complejidad de este fenómeno. La mayoría de estudios han tendido a incorporar juicios de valor y supuestos arbitrarios, o incluso a obviar buena parte de la información relevante, con la particularidad de que esto casi siempre ha contribuido a sesgar los resultados hacia la conclusión de que el cambio climático no es un problema que requiera una actuación urgente.

El trabajo señala que, para un análisis más adecuado de las políticas a aplicar en el cambio climático, es necesario tener en cuenta adecuadamente cuestiones como el cambio técnico, los efectos asociados de disminución de contaminación, el reconocimiento de la incertidumbre e ignorancia acerca de los impactos, la posibilidad de impactos catastróficos, así como la incorporación del conocimiento creciente sobre el fenómeno y las complejas interacciones entre sistemas sociales, ecológicos y geofísicos que implica. En la evaluación de las políticas adecuadas debe tenerse en cuenta toda la información relevante. En todo caso, debe hacerse de la forma más clara y transparente posible, sin utilizar la complejidad de los modelos para esconder juicios de valor sobre factores cuestionables y ocultar elementos determinantes para la toma de decisiones, como se ha hecho en gran parte de los análisis realizados. Bien al contrario, el análisis debe servir para clarificar cuáles son los conflictos (trade-offs) y las elecciones a hacer en el problema del cambio climático. Amparándose en el formalismo matemático y la pretendida ausencia de juicios de valor, los análisis coste-beneficio han tendido a esconder más que a mostrar las elecciones a hacer en el cambio climático.

La evaluación integrada debe permitir aumentar el conocimiento del fenómeno a través del mismo proceso. La recolección de información, el estudio de alternativas, la estimación de impactos y el conocimiento de los parámetros críticos deben llevar a una mejor posición para una toma de decisiones informada. El análisis integrado debe servir para sintetizar el conocimiento y las incertidumbres existentes y llegar a una mejor comprensión de la situación y de las posibilidades que existen. Los modelos de evaluación integrados podrían utilizarse además para explorar las implicaciones de diferentes supuestos sobre valores, visiones culturales y criterios de decisión (Schneider, 1997; Jansen y de Vries, 1998).

No obstante, aunque se elaboren modelos que determinen las políticas adecuadas, coherentes con el desarrollo sostenible, es necesario que se establezcan las instituciones capaces de establecer programas de control de emisiones con garantías de que se mantengan en el tiempo y de encargarse de establecer las transferencias y compensaciones que se consideren adecuadas. No tiene sentido que los modelos busquen las políticas globales adecuadas si no existen instituciones con la capacidad de aplicarlas. Estas instituciones deben ser capaces de alcanzar compromisos de reducción de emisiones por parte de los distintos países en función de su capacidad y su responsabilidad en el problema. Es urgente la adopción de compromisos internacionales que vayan más allá del protocolo de Kyoto y del descafeinado acuerdo de Bonn 2001 respecto a su aplicación. Es indispensable que estas instituciones tengan la capacidad de sancionar las prácticas de los *'free-riders'* de la atmósfera, eliminando los fuertes incentivos de los países a incumplir los acuerdos. La desaparición a la mención de sanciones (además de la amplia consideración que se hace de los sumideros naturales) del acuerdo final de Bonn cuestiona seriamente su eficacia.

De nuevo, hay que señalar que la financiación del paso a un desarrollo sostenible debe correr a cargo de quienes han acumulado esta deuda a lo largo de muchos años. Los pobres están sufriendo y sufrirán con más crudeza los impactos del cambio climático, mientras que algunos países han ocupado y ocupan mucho más espacio ambiental en términos de emisiones históricas de CO₂ del que les correspondería en términos per cápita (véase Alcántara y Roca, 1999). Los países ricos tienen la obligación moral de pagar la deuda ecológica contraída al haber expropiado y destruido el derecho de los países pobres a un clima no deteriorado. Por último, desde un punto de vista ético, a largo plazo no se puede justificar otro criterio de reparto de derechos de emisión que el que dé el mismo derecho a cada ser humano (presente o futuro). El reparto en función de la emisión per cápita actual, como se establece en los acuerdos alcanzados, premia fuertemente a los que más ha contribuido al problema, lo que es claramente injusto.

CAPÍTULO V

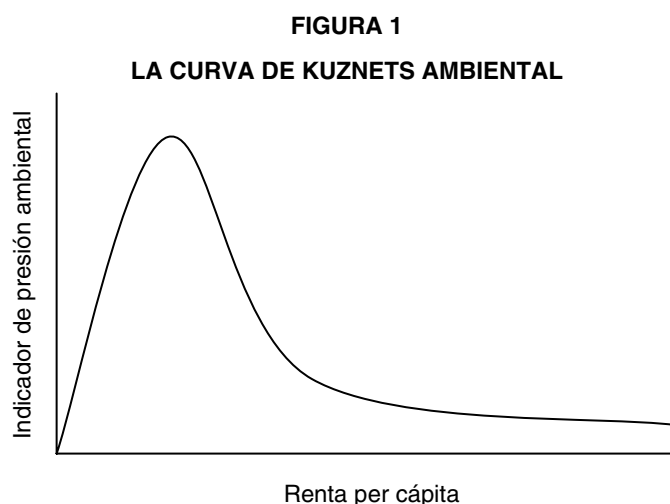
CRECIMIENTO ECONÓMICO Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL: DISCUSIÓN DE LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA EL CASO ESPAÑOL

RESUMEN DEL CAPÍTULO

La hipótesis de la curva de Kuznets ambiental postula una relación en forma de U invertida entre presión ambiental y renta per cápita. Diversos trabajos han examinado esta hipótesis para diferentes contaminantes en distintos países. A pesar de que cierta evidencia empírica muestra que algunas presiones ambientales específicas han disminuido en los países económicamente desarrollados, la hipótesis de ninguna forma podría generalizarse a la relación global entre la economía y el medio ambiente. En este capítulo se contribuye a este debate analizando las tendencias de los flujos de emisiones anuales de seis contaminantes atmosféricos en España. El estudio encuentra evidencia de que no existe correlación entre un mayor nivel de renta y menores emisiones, excepto para el SO_2 , cuya evolución podría ser compatible con la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental. Se argumenta que la relación entre nivel de ingreso y los distintos tipos de emisión depende de muchos factores. Por tanto, no se puede pensar que el crecimiento económico, por sí solo, resuelva los problemas ambientales. Si no se actúa con políticas ambientales decididas, lo más probable es que los problemas intergeneracionales empeoren, especialmente los derivados del efecto invernadero.

1. INTRODUCCIÓN: LA HIPÓTESIS DE LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL

En los últimos años han surgido diversos estudios sugiriendo la existencia de una relación en forma de U invertida entre la presión (o bien la calidad) ambiental y la renta per cápita.⁹⁴ Según la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental (CKA), en un primer estadio del desarrollo económico la problemática ambiental aumenta conforme incrementa la renta per cápita, pero se llega a un punto a partir del cual ésta disminuye con mayores niveles de renta. Esta hipótesis se ha dado a conocer como la CKA por su similitud con la relación encontrada por este autor entre el nivel de desigualdad y la renta per cápita (Kuznets, 1955).



Esta hipótesis ha llevado a los más 'optimistas' a sugerir que el crecimiento económico no conlleva problemas ambientales, sino que, muy al contrario, es la solución a los mismos ya que la mejora ambiental sería una consecuencia casi inevitable de dicho crecimiento (Beckerman, 1992). En consecuencia, no habría conflicto de intereses entre generaciones, ya que la búsqueda de un mayor crecimiento económico en el presente no conllevaría el deterioro del medio ambiente del futuro, sino al contrario. No obstante, esta ingenua interpretación cuenta con numerosos problemas. Entre ellos es importante destacar que la degradación ambiental no sólo se explica por los flujos actuales de emisiones o las concentraciones de contaminantes, sino que depende de la historia de las presiones ambientales que afecta a la capacidad de asimilación y la resiliencia de los ecosistemas; esto es particularmente relevante cuando se producen cambios irreversibles (Arrow *et al.*, 1995). Tampoco se ha tenido en cuenta la interdependencia entre economía y medio ambiente: si el crecimiento económico provoca una degradación ambiental irreversible, o difícilmente reversible, es posible que ésta imposibilite un crecimiento futuro (Stern *et al.*, 1996). Esto lleva a la justificación de políticas ambientales más estrictas antes de que se causen estas irreversibilidades (Schlinder, 1996).

Si bien existe cierta evidencia empírica de que algunos problemas ambientales han disminuido en los países ricos, ninguno de los contaminantes que se han considerado en la literatura muestra

⁹⁴ Algunos de los primeros estudios que aparecieron al respecto son los de Grossman y Krueger (1991), Shafik y Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), Selden y Song (1994) y Holtz-Eakin y Selden (1995). Se han dedicado números especiales sobre el tema en *Ecological Economics* (1995, 1998) y en *Environment and Development Economics* (1997). En el World Development Report de 1992 y el de 1995 del Banco Mundial se discuten sus implicaciones en cuanto a políticas. Ekins (1997), Stern *et al.* (1996) y Stern (1998) hacen una revisión crítica de la literatura sobre el tema.

seguir de forma inequívoca la hipótesis de la CKA (Ekins, 1997). Muchos autores afirman que es factible que la hipótesis de la CKA únicamente se cumpla en el caso de contaminantes con efectos locales y a corto plazo (caso del SO_2),⁹⁵ donde los impactos ambientales y sobre la salud son más claros y los costes de actuación menores, mientras que en el caso de contaminantes con efectos más globales, a más largo plazo y cuya reducción parece más costosa (caso del CO_2) el problema ambiental persistiría. La hipótesis no sería por tanto generalizable a la relación global entre economía y medio ambiente (Selden y Song, 1994; Arrow *et al.*, 1995; Cole *et al.*, 1997). Por otro lado, los estudios que reflejan la CKA muestran puntos de inversión en la relación entre economía y medio ambiente que están muy lejos de poder ser alcanzados por la mayoría de países en desarrollo, al menos a medio plazo, lo que indica que, de no actuar decididamente con las políticas ambientales adecuadas, se alcanzarán niveles de degradación ambiental muy superiores a los actuales (Selden y Song, 1994; Stern *et al.*, 1996).

Es importante remarcar que cuando existe una correlación negativa entre la magnitud de un problema ambiental y la renta per cápita, esto no dice demasiado acerca de cuáles son las causas que explican dicha correlación. Las estimaciones se han realizado habitualmente mediante un modelo simple donde se estima el hipotético efecto total de la renta per cápita sobre el nivel de emisiones. Se supone que este modelo captura un modelo estructural donde la renta per cápita influye en factores (tales como la tecnología, la composición del producto económico o la política ambiental) cuyos cambios son los que influyen a su vez en la presión o calidad ambiental (de Bruyn *et al.*, 1998). La virtud del modelo simple es que toda la influencia (directa e indirecta) de la renta per cápita sobre la presión ambiental se captura en la estimación. Su defecto es que no se puede saber a qué se debe esta relación. El motivo de utilizar el modelo simple es que la estimación directa del modelo estructural conlleva problemas econométricos ya que, al estar correlacionadas las variables explicativas, no se pueden interpretar adecuadamente los coeficientes estimados.

Los diversos estudios realizados muestran patrones de comportamiento muy variados, incluso dentro de los mismos grupos de contaminantes. Según de Bruyn y Heintz (1999) una explicación general de estas diferencias es que los datos y métodos empleados varían entre los estudios.⁹⁶ En general, cuando se introducen más variables además de la renta, la hipótesis de la CKA queda debilitada. Esto podría sugerir que en algunos casos la CKA surge simplemente por la omisión de variables relevantes en la estimación realizada. En las estimaciones con datos de panel existen variables omitidas correlacionadas con el PIB y estas variables no son comunes a todos los países. Por tanto, las variables omitidas pueden resultar en unas estimaciones sesgadas de la CKA en muestras no aleatorias de países (Stern y Common, 2001).

La mayoría de investigaciones que muestran el comportamiento sugerido por la CKA han dedicado poca atención a investigar qué motivos hay detrás de esta relación. En general, lo que han hecho ha sido extrapolar explicaciones, en algunos casos *ad hoc*, sin que exista una contrastación de éstas. Los factores explicativos que más aparecen en la literatura son:

Calidad ambiental como bien de lujo. Se argumenta que con un mayor nivel de renta se da una mayor demanda de calidad ambiental. Los individuos ricos estarían dispuestos a dedicar más recursos a la protección ambiental y a asumir patrones de consumo menos perjudiciales para el medio ambiente. Pero la calidad ambiental está integrada por infinidad de bienes ambientales, parte de los cuáles pueden tener incluso un efecto renta negativo y algún autor pone en entredicho que asumir la calidad am-

95 Incluso en el caso del SO_2 la evidencia sugiere que la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental no está clara, ya que los resultados dependen de la muestra y son muy diferentes dependiendo del modelo específico considerado (Stern y Common, 2001).

96 Más específicamente de Bruyn y Heintz (1999) atribuyen las diferencias al uso de emisiones o de concentraciones como indicadores de presión ambiental; a los diferentes métodos de estimación empleados; a los diferentes grupos de países que se han incluido en el panel; a los diferentes métodos empleados para transferir los datos de renta per cápita nacional a unidades monetarias comparables y a la inclusión de unas u otras variables adicionales además de la renta.

biental como un bien de lujo sea una explicación adecuada de las CKA observadas para algunos contaminantes (McConnell, 1997). Los incentivos que tienen los ricos para mejorar el medio ambiente se dan en la medida que son ellos los afectados por la degradación, pero no cuando los efectos se desplazan en el tiempo o en el espacio a otros ciudadanos (Arrow *et al.*, 1995; Perrings y Ansuategi, 2000), como es en el caso de contaminantes globales como el CO₂, para los cuales existe un incentivo a comportarse de manera oportunista (el ya comentado problema del 'free-rider' o del gorrón, dicho en términos más coloquiales). La calidad ambiental es un bien público y el papel de las políticas ambientales es crucial.

Composición de la producción. Según este argumento, en un primer estadio de desarrollo la economía, básicamente agraria, la actividad económica causa escaso impacto ambiental. En una segunda etapa se da un incremento progresivo del sector industrial, lo que implica un aumento de los procesos contaminantes y, por tanto, una mayor degradación ambiental. Finalmente se da paso a una etapa con mayor peso del sector servicios, causando menor impacto sobre el medio ambiente. Este argumento olvida, sin embargo, que el sector servicios es un agregado que incluye actividades con un elevado impacto (como es el transporte aéreo o el turismo en masa). El cambio en la composición de la producción quizás podría explicar bien la disminución de impacto ambiental por unidad de PIB o de RN, pero no en términos absolutos, que es la relevante para medir el efecto final del crecimiento de la renta (de Bruyn *et al.*, 1998). Además, las CKAs observadas podrían ser el resultado (al menos en parte) de un desplazamiento de las industrias más contaminantes desde los países ricos hacia los más pobres, mientras que la composición del consumo (y su contenido en términos de contaminación) no habría variado sustancialmente o incluso habría empeorado, (Arrow *et al.*, 1995; Stern *et al.*, 1996; Ekins, 1997; Suri y Chapman, 1998). Esta sospecha lleva a Rothman (1998) a proponer la elaboración de medidas de presión ambiental mediante índices de la composición del consumo. Si se ha producido un movimiento de industrias contaminantes de países ricos a pobres, es poco probable que este comportamiento se pueda reproducir en un futuro para los países en desarrollo económico.

Progreso tecnológico. Según este argumento, el progreso tecnológico provoca una disminución de la necesidad de recursos y de la contaminación de los distintos sectores productivos. Sin embargo, la innovación tecnológica en algunos casos puede ser perjudicial para el medio ambiente (caso del perfeccionamiento en las técnicas de pesca) de forma que no puede darse por supuesto que el saldo ambiental sea positivo. Debería, además, profundizarse sobre la relación entre nivel de renta per cápita y posibilidades tecnológicas: no son necesariamente las técnicas con mayor impacto las más baratas y más accesibles a los países pobres.

Desde un punto de vista 'optimista', estas explicaciones podrían ser coherentes con la idea de que el crecimiento económico conlleva endógenamente la solución a los problemas ambientales que acarrea, pero todas ellas se encuentran con claras limitaciones. La mayoría de estudios realizados resaltan la importancia de las políticas ambientales en hacer posible la desvinculación entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental. No hay ninguna evidencia de que esta desvinculación emerja de forma endógena con el proceso de crecimiento, siendo necesaria una política ambiental decidida si se quiere hacer compatible el crecimiento futuro con el desarrollo sostenible (Ekins, 1997). La gran mayoría de autores opinan que es más que probable que las políticas locales, nacionales y los tratados internacionales hayan jugado un papel primordial en la disminución observada en algunos contaminantes. Dichas políticas podrían analizarse como 'shocks' independientes que como otros importantes 'shocks' (como, por ejemplo, cambios de precios relevantes o avances tecnológicos) pueden producirse a niveles muy diferentes de renta y a veces afectar simultáneamente a países con niveles de renta muy diferente. Así, Unruh y Moomaw (1998) muestran que el shock de los precios del petróleo de 1973 tiene una enorme influencia para el comportamiento de las emisiones de CO₂ en todos los países considerados en su estudio a pesar de las enormes diferencias en renta per cápita. Por último, Torras y Boyce (1998) encuentran que factores sociales como los derechos civiles, la educación y la desigualdad en el ingreso son muy importantes (según los autores, a mayor igualdad menor presión ambiental).

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que los distintos factores están fuertemente interrelacionados entre sí. Es posible que las preferencias de los consumidores provoquen cambios institucionales incorporando políticas ambientales más estrictas. Esto, a su vez, puede provocar un movimiento de empresas contaminantes hacia países más pobres con políticas ambientales más permisivas. Por otro lado, las políticas ambientales pueden incentivar la investigación que genere una tecnología más eficiente y mucho menos nociva. Los cambios estructurales en la composición del producto económico pueden a su vez estar motivados por cambios en las preferencias, en la tecnología o en las políticas aplicadas.

2. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN ESPAÑA: UNA PERSPECTIVA LONGITUDINAL

Una conclusión del apartado anterior es que la evidencia empírica sobre la CKA es parcial y muy limitada. La mayoría de estudios se han realizado utilizando datos de 'cross-section' para una serie de países (o para diferentes estados de Estados Unidos, como Carson *et al.*, 1997). Aunque algunas de estas estimaciones parecen dar argumentos favorables a la hipótesis, no garantizan que a lo largo del tiempo los países individuales se comporten siguiendo la relación estimada para el panel de países (de Bruyn *et al.*, 1998). Sería más adecuado estudiar la relación entre crecimiento económico y cada tipo de impacto ambiental analizando la experiencia histórica de países individualizados, utilizando tanto el análisis econométrico como el histórico (Stern *et al.*, 1996). En palabras de Dijkgraaf y Vollebergh (1998) "*los autores hacen el supuesto implícito que hay detrás del 'pooling': el efecto de un cambio en el PIB per cápita para los miembros 'cross-section' es el mismo (...)* Por tanto, la curvatura y los puntos de inflexión son idénticos para cada país. La pregunta, no contestada por los estudios empíricos, es cuál es la intuición que hay detrás de este supuesto implícito. Parece raro que países, que son muy diferentes en condiciones geográficas, cultura e historia reaccionen idénticamente" (p. 3-4). Estos autores encuentran que la estimación agrupada de emisiones de CO₂ y nivel de ingreso utilizando datos de los países de la OCDE de 1960 a 1990 esconden que la relación es muy diferente para distintos países de la OCDE. Las particularidades de cada país y el momento histórico en que pasan por sus diferentes fases de desarrollo hacen que los análisis de datos de panel no sean demasiado significativos para explicar el comportamiento de la relación entre economía y medio ambiente en cada caso individual. De hecho, existe un creciente interés por el análisis longitudinal como en un estudio sobre el CO₂ para varios países ya citado (Unruh y Moomaw, 1998), en otro sobre diversos contaminantes atmosféricos para cuatro países desarrollados (de Bruyn *et al.*, 1998), en el de Vincent (1997) sobre Malasia o en el artículo de Lekakis (2000) sobre el caso de Grecia. Las conclusiones del análisis longitudinal han sido en general aún más escépticas sobre la CKA en forma de U que los análisis 'cross-section'.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento a lo largo del tiempo de seis contaminantes atmosféricos en España en términos de flujos de contaminación anual y no de concentraciones: las concentraciones de contaminantes dependen de los flujos de contaminación, pero la relación es compleja pudiendo depender entre otros factores de la mayor o menor concentración espacial y temporal de dichos flujos y de procesos de dispersión y transformación (por ejemplo, algunos contaminantes 'primarios' dan lugar a otros 'secundarios'). Los primeros estudios tendían a considerar datos de contaminación ambiental de áreas urbanas, pero como Stern (1998) afirma: "*Esto es apropiado en tanto en cuanto se refiera a los efectos sobre la salud humana. Sin embargo (...) concentraciones ambientales decrecientes no significan que la carga ambiental total disminuya.*" (p. 182).

La selección de los contaminantes se ha basado tanto en su relevancia ambiental como en la disponibilidad de datos, de forma que sólo se han considerado contaminantes para los cuales existiese una estimación de flujo anual desde 1980. En concreto, se han considerado los datos anuales de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOC). En el caso del CO₂, se dispone de una serie más larga, para el periodo 1973-1996; las emisiones se refieren a las provocadas por el uso de combustibles fósiles y proceden de la Agencia Internacional de la Energía (AIE, varios años). Para el resto de los contaminantes, los datos desde 1980 hasta 1996 han sido proporcionados por el Inventario de Contaminantes a la Atmósfera CORINE-AIRE⁹⁷ (según la metodología IPCC) del Ministerio de Medio Ambiente. Este inventario fue aprobado por la Comunidad Europea en 1985 dentro del proyecto CORINE para la recogida, coordinación y coherencia de la información sobre la situación del medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad. Éstas pueden considerarse las mejores estimaciones oficiales disponibles (aunque su fiabilidad se ha de considerar con cautela). Dichos datos permiten también una cierta desagregación sectorial y espacial de las emisiones. El inventario establece la siguiente clasificación de grupos de actividades emisoras:

1. Generación de electricidad.
2. Combustión comercial, institucional y residencial.
3. Combustión industrial
4. Procesos industriales sin combustión directa.
5. Extracción, primer tratamiento y distribución de combustibles fósiles.
6. Uso de disolventes orgánicos.
7. Transporte por carretera.
8. Otros modos de transporte.
9. Tratamiento y eliminación de residuos.
10. Agricultura y ganadería.
11. Naturaleza.

Se ha obviado el grupo 11, las emisiones naturales, ya que las emisiones relevantes para el estudio de la relación entre crecimiento económico y presión ambiental son las emisiones antrópicas.

Los tres primeros contaminantes considerados (CO₂, CH₄ y N₂O) son de especial relevancia porque son (junto a los CFCs, cuya comercialización para uso interno está ya prohibida en España como en muchos otros países) los que más contribuyen al aumento del efecto invernadero. Los flujos de estos tres gases son los tres primeros indicadores que Eurostat considera en el tema 'cambio climático' dentro de su proyecto de indicadores de presión ambiental para la Unión Europea (Eurostat, 1999). Además, España tiene, como todos los países del llamado anexo 1 del convenio de cambio climático, un compromiso específico de limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero derivado de los acuerdos de Kioto (diciembre de 1997) y su posterior concreción dentro de la Unión Europea. El compromiso se refiere a las emisiones de 6 gases de efecto invernadero (los tres

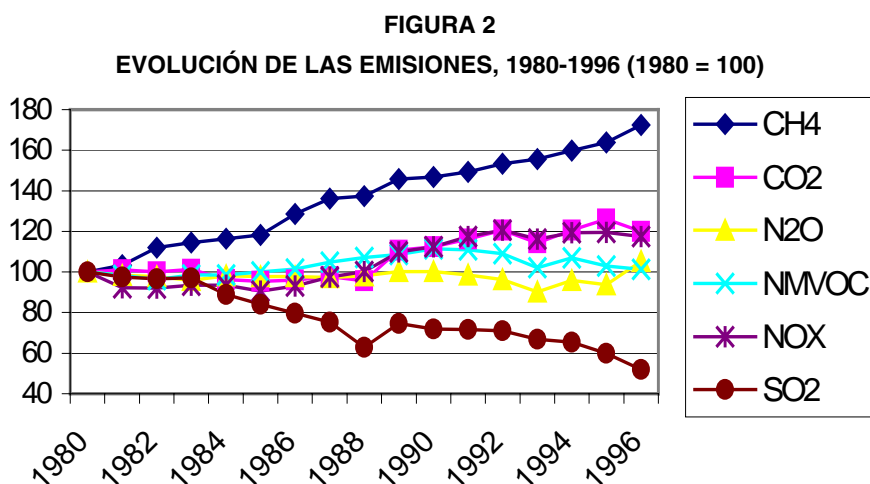
97 En dicha metodología las emisiones de SO₂ y de SO₃ se engloban dentro de las emisiones de SO₂ (en equivalente de SO₂) y las de NO y de NO₂ dentro de las de NO_x (en equivalente de NO).

principales de los cuales son precisamente CO_2 , CH_4 y N_2O ⁹⁸ que globalmente no deberían aumentar en más del 15% en 2008-2012 con respecto al nivel de 1990.⁹⁹

El SO_2 , el NO_x y los NMVOC son los tres compuestos considerados como más relevantes por el citado proyecto de Eurostat (Eurostat, 1999) en su capítulo sobre 'contaminación atmosférica' y sus efectos no son principalmente de carácter global sino regional o local. El SO_2 se asocia al problema de 'lluvia ácida' y es uno de los principales responsables (junto a la emisión de partículas) del llamado '*winter smog*' o niebla de invierno. Los NO_x también tienen un papel destacado en la 'lluvia ácida'¹⁰⁰ y juntamente a los NMVOC son precursores de la formación de ozono (O_3) troposférico generando así la llamada 'contaminación fotoquímica', que afecta a la vegetación así como a la salud humana y animal.

3. UN PRIMER ANÁLISIS GLOBAL DE LAS TENDENCIAS EN ESPAÑA PARA EL PERÍODO 1980-96

Una primera aproximación a las tendencias durante el período considerado permite avanzar algunas conclusiones sobre el supuesto proceso de desvinculación entre crecimiento económico y presión ambiental que se deriva de la versión optimista de la CKA. Las emisiones antropogénicas globales (véase figura 2) en el conjunto del período aumentan mucho en el caso del metano (casi un 70%); también aumentan significativamente (alrededor del 20%) para otros dos gases considerados (CO_2 y NO_x). En cambio, para el N_2O y los compuestos orgánicos volátiles el flujo de emisión en 1996 es muy similar al de 1980. Sólo en el caso del SO_2 , las emisiones disminuyen de forma muy apreciable, como cabría esperar de cumplirse la CKA y suponiendo que a principios de los ochenta España hubiese alcanzado un nivel de renta per cápita suficientemente elevado como para situarse ya en el tramo decreciente de dicha curva.



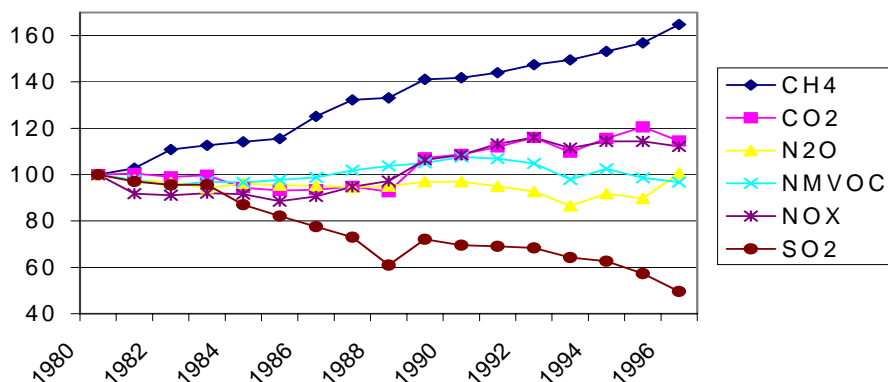
98 Los otros tres son los HFCs, los PFCs y el SF_6 .

99 Recuérdese que la Unión Europea ha asumido su compromiso de reducción del 8% como una 'burbuja' de forma que a unos países se les permite aumentar y a otros se les pide una reducción mucho mayor.

100 Ambos gases fueron objeto de sendos protocolos del Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia.

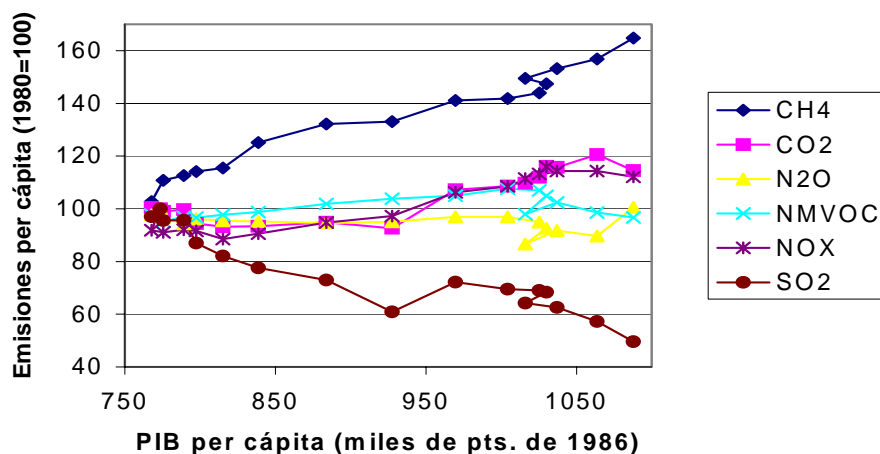
Puede argumentarse que, para el debate sobre la CKA, los datos a utilizar no deberían ser los de emisiones sino los de emisiones per cápita. Sin embargo, dado que la población española durante 1980 y 1996 aumentó muy moderadamente, puede observarse cómo las tendencias de la figura 3 son prácticamente idénticas a las de la figura 2, si bien los índices se sitúan en valores siempre algo más bajos. Lo importante a destacar es que tampoco se aprecia ninguna tendencia a la disminución, excepto en el caso del SO_2 y quizás un muy ligero decrecimiento para los compuestos orgánicos volátiles en los años noventa.

FIGURA 3
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES PER CÁPITA, 1980-1996



La CKA no mantiene que sea el paso de los años el que explica la supuesta disminución de la presión ambiental sino el crecimiento económico. En 1996 el nivel de renta per cápita era considerablemente más elevado que en 1980, pero en el periodo 1980-1996 hay etapas muy diferentes por lo que se refiere a la variación anual de la renta per cápita. Es por ello interesante relacionar directamente emisiones per cápita con PIB per cápita, como se hace en la figura 4.¹⁰¹ Las figuras resultantes son más complejas, pero de nuevo se puede afirmar que no parece en absoluto que exista una correlación entre mayor crecimiento económico y menores emisiones: la excepción es el SO_2 cuya evolución es compatible con la hipótesis de la CKA.

FIGURA 4
RELACIÓN ENTRE PIB PER CÁPITA Y EMISIONES PER CÁPITA, 1980-1996



101 Se utiliza el PIB a precios constantes de 1986. Para estos datos y las series de población se han tomado los datos del Instituto Nacional de estadística, *Banco de Datos Tempus*.

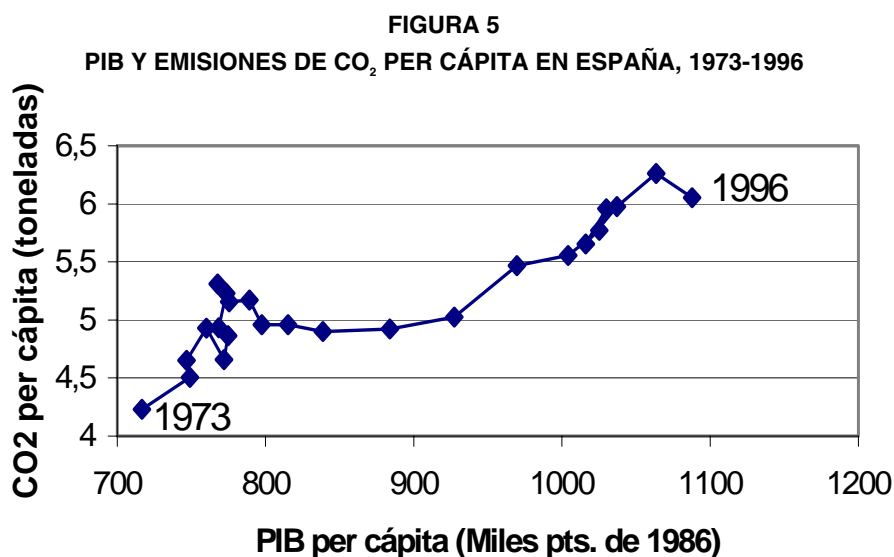
4. ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

4.1. Las emisiones de CO₂

En este apartado se analiza con mayor detalle el comportamiento de las emisiones de CO₂ en España de 1973 hasta 1996.

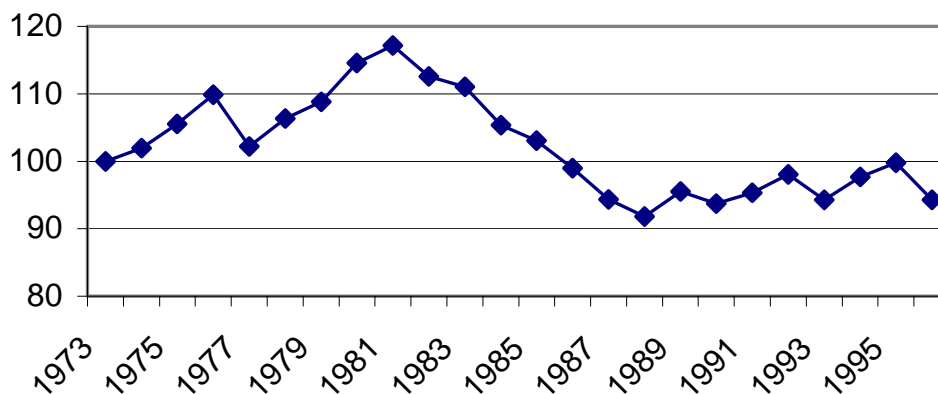
Varios estudios recientemente publicados han estimado la relación entre las emisiones de CO₂ per cápita y el PIB per cápita utilizando datos de panel de varios países. Los resultados a los que han llegado son contradictorios pero, en general, no avalan la existencia de una CKA y parecen indicar que las emisiones de CO₂ continuarán aumentando en la medida que los países persigan políticas de crecimiento económico, lo que impediría alcanzar el objetivo de reducir, incluso, estabilizar las emisiones de CO₂. Algunos estudios observan una relación estrictamente creciente entre emisiones de CO₂ y crecimiento del PIB (Shafik, 1994); otros observan que los valores de renta de transición necesarios para empezar a estabilizar las emisiones son muy elevados (Holtz-Eakin y Selden, 1995) y otros aún encuentran evidencia de una curva en forma de N, significando que pasado un segundo nivel de transición, las emisiones vuelven a mostrar una tendencia creciente (Grossman y Krueger, 1995).

Analizando la evolución de las emisiones de CO₂ per cápita entre 1973 a 1996 a medida que varía la renta per cápita (figura 5), se observan tres etapas: un fuerte crecimiento de las emisiones hasta finales de los setenta; una relativa estabilización de las emisiones; y una tendencia posterior al aumento de las emisiones.¹⁰² Ello supone una diferencia respecto a otros países ricos ya que, en muchos de ellos, en 1973 se produjo un 'pico' de emisiones (Moomaw y Unruh, 1997): esto refleja un mayor retraso en el ajuste de la economía española a la nueva situación de fuertes incrementos en los precios energéticos. La misma evolución puede alternativamente describirse a través del indicador de la 'intensidad de emisiones' o CO₂/PIB, el cual primero aumenta, sólo disminuye significativamente entrada la década de los ochenta y más o menos se estabiliza posteriormente (figura 6). En otras palabras, el crecimiento económico sólo transitoriamente comporta un aumento de las emisiones menos que proporcional al del PIB.



¹⁰² Con algún año de excepción, sin que ello parezca significar un cambio de tendencia.

FIGURA 6
EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD DE EMISIONES DE CO₂, (CO₂/PIB), 1973-1996



Para profundizar en el análisis, se pasa a modelizar econométricamente la relación entre las emisiones y la renta como se hace en los artículos que tratan de contrastar la CKA. Esto se hace mediante un modelo del siguiente tipo:

$$(CO_2/P)_t = \beta_0 + \beta_1(PIB/P)_t + \beta_2(PIB/P)_t^2 + \beta_3(PIB/P)_t^3 + \varepsilon_t \quad (1)$$

donde $t = 1, \dots, T$ se refiere a los años, $(CO_2/P)_t$ a las emisiones de CO₂ per cápita, $(PIB/P)_t$ al PIB per cápita y ε_t es un término de error.

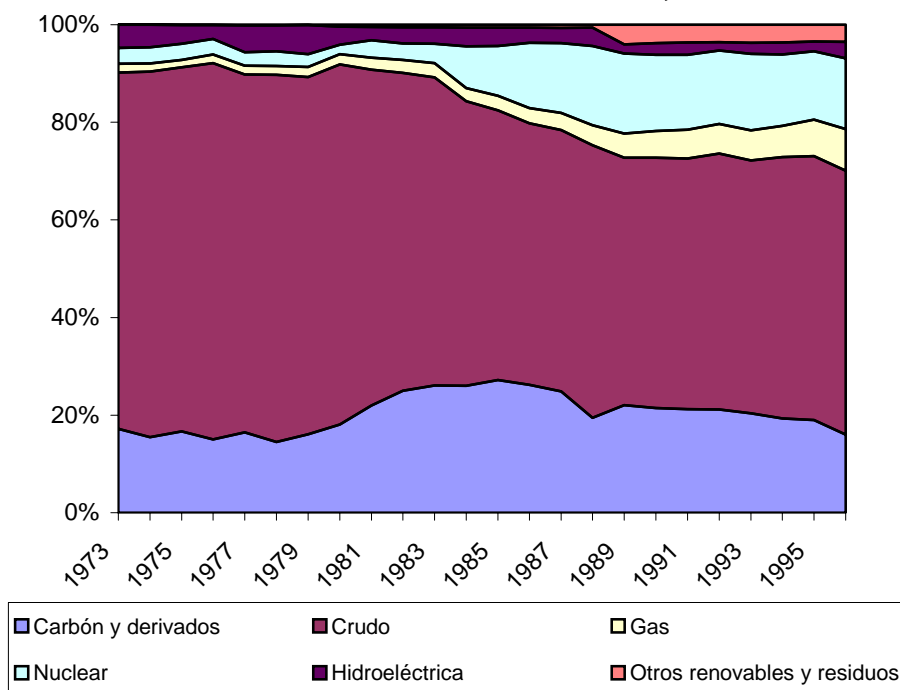
Como era de esperar del análisis gráfico anterior, para los datos disponibles para España, el modelo no cumple con los mínimos requisitos econométricos.¹⁰³ El mismo tipo de problema se presenta cuando se estima el modelo tomando las variables en logaritmos.¹⁰⁴ Por tanto, se hace necesario buscar variables explicativas adicionales.

El resultado anterior no implica necesariamente que renta y emisiones no estén relacionadas entre sí, sino que la relación puede quedar escondida por la influencia de otras variables. Dado que las emisiones de CO₂ se explican no sólo con el consumo energético, previsiblemente muy relacionado con la renta, sino también por la estructura de la oferta energética, los cambios en dicha estructura pueden ser candidatos a explicar los cambios en la relación entre renta y emisiones. Durante el periodo analizado, caracterizado por las crisis energéticas de los setenta y ochenta, se dan dos cambios importantes en la estructura de energía primaria que son muy relevantes para nuestro análisis: un fuerte crecimiento de la energía nuclear y del uso del carbón para generación de electricidad.

¹⁰³ Las variables de la ecuación (1) son integradas de distinto orden (ver apéndice A), por tanto el modelo no está cointegrado.

¹⁰⁴ En el modelo en logaritmos, los términos al cuadrado y al cubo son no significativos y muestran problemas de multicolinealidad. Tomando $\ln(PIB/P)_t$ como la única variable explicativa, el estadístico Durbin-Watson (0,59) indica autocorrelación en los errores estimados.

FIGURA 7
FUENTES DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA, 1973-1996



Para captar la influencia conjunta de la variación de la renta per cápita y de los cambios principales en la estructura energética sobre la variación de las emisiones per cápita, se ha estimado el siguiente modelo para el mismo período de 1973-1996:

$$\ln(\text{CO}_2/\text{P})_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{PIB}/\text{P})_t + \beta_2 \ln \text{Nuclear}_t + \beta_3 \ln \text{Carbon}_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

donde Nuclear_t y Carbon_t son dos indicadores del peso que tienen la energía nuclear y el carbón dentro del sistema energético en cada momento. En concreto, se ha utilizado las participaciones de la energía de origen nuclear y del carbón sobre el total de energía primaria consumida.¹⁰⁵ Como las series están calculadas en logaritmos la interpretación de los coeficientes es en términos de elasticidades: el tanto por ciento de aumento de la variable independiente que provoca un tanto por ciento de variación de cada una de las variables dependientes.

Dado que se tratan de series de 24 observaciones temporales, parece conveniente realizar un análisis de series temporales para asegurar que no se realicen regresiones espúreas, en el sentido de que puede darse que la única relación que exista entre las variables del modelo sea puramente *casual* y no sea de tipo *causal*. Para esto es necesario comprobar, en primer lugar, que todas las series presenten un comportamiento similar, esto es, que todas sean del mismo orden de integración. A continuación, hay que comprobar la estacionariedad del residuo generado por la combinación lineal de las variables incluidas en el modelo, esto es, contrastar que las variables están *cointegradas*. Como se puede ver en el apéndice A, la conclusión es que las cuatro series consideradas son no estacionarias en niveles, pero sí son estacionarias en primeras diferencias, es decir, son todas integradas de orden 1.

105 Datos de Nuclear, y de Carbon, tomados de la AIE, *Energy Balances* (varios años).

Así pues, ya se puede realizar la estimación del modelo propuesto en que la variable dependiente son las emisiones per cápita y las explicativas son, además de la renta per cápita, las participaciones de la energía de origen nuclear y del carbón sobre el total de energía primaria, variables todas ellas tomadas en logaritmos, obteniendo el resultado siguiente:¹⁰⁶

TABLA 1
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN. LA VARIABLE DEPENDIENTE ES $\ln(\text{CO}_2 / P)_t$ (1973-1996)

Variable		Coficiente	Estadístico-t
Constante	(β_0)	-13,70	-18,31
$\ln(\text{PIB}/P)_t$	(β_1)	1,24	11,48
$\ln(\text{Nuclear})_t$	(β_2)	-0,13	-6,26
$\ln(\text{Carbón})_t$	(β_3)	0,19	4,54
R ² : 0,9224			
R ² Ajustado: 0,9107			
Durbin-Watson: 2,2725			

La estimación tiene una gran bondad de ajuste. Los coeficientes estimados muestran que la relación entre el PIB y las emisiones de CO₂ es muy fuerte. Es más, el coeficiente indica que la elasticidad entre las dos variables es incluso superior a la unidad. Como consecuencia, la intensidad de emisiones de CO₂ del PIB incluso tiende a aumentar conforme aumenta el PIB. Asimismo, se observa que, efectivamente, la energía de origen nuclear ha jugado un papel importante en la reducción de las emisiones de CO₂, mientras que el aumento del uso del carbón jugó en sentido contrario; de los dos factores el primero es el que en conjunto ha tenido mayor peso. Se ha estimado también una regresión SUR (*seemingly unrelated regression*) a las tres ecuaciones estimadas en el trabajo (ver apéndice B). Los resultados son casi idénticos a los obtenidos con las estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios, por lo que se han dejado en el apéndice.

El análisis de los datos energéticos muestra que el crecimiento económico en España no se ha desligado del uso de la energía, ni siquiera en sentido 'débil', como consecuencia en gran parte del creciente gasto energético del transporte (Alcántara y Roca, 1995).

4.2. El dióxido de azufre (SO₂)

Este contaminante tiene dos características que hacen particularmente plausible la idea de que a partir de un determinado nivel de renta cuanto mayor sea éste menores serán las emisiones: primero, los efectos afectan a la población local (aunque muchas veces traspasan las fronteras de un país) y, segundo, los focos de emisión son bastante localizados y con inversiones adecuadas es fácil reducir mucho las emisiones (incluso sólo con medidas de 'final de tubería').

La figura 2 muestra que la evolución temporal de las emisiones de SO₂ en España para el período que va de 1980 hasta 1996 se caracteriza por una tendencia clara a la disminución en el nivel de emisiones.

En cuanto al peso de los diferentes grupos de actividades emisoras, en la tabla 2 se puede observar que la mayoría de las emisiones tiene su origen en un sector muy concreto, el de

¹⁰⁶ El estadístico Dickey-Fuller de los residuos generados (-6,00) indica que éstos son estacionarios. Por tanto, las series están cointegradas y los parámetros estimados son consistentes.

generación de electricidad. A pesar de que las emisiones de este sector han disminuido mucho entre 1980 y 1996, tanto en términos relativos como absolutos, las centrales termoeléctricas convencionales continúan siendo el mayor foco emisor de SO₂. Es la existencia de centrales térmicas de carbón muy contaminantes, algunas de ellas de las más contaminantes de Europa, lo que explica que las emisiones per capita españolas se sitúen muy por encima de la media europea (Eurostat, 1999, p. 18). La elevada concentración espacial de las emisiones refleja el mismo hecho: las emisiones en cuatro de las 52 provincias españolas representan más de la mitad de las emisiones (tabla 3). Otro sector que también aglutina un importante porcentaje, aunque muy por debajo del sector anterior, es el de la combustión industrial. El resto de sectores tienen una aportación relativa muy inferior, no sobrepasando en ningún caso el 4% y sin que hayan experimentado cambios sustanciales durante el período considerado.

TABLA 2
EMISIONES SO₂ EN ESPAÑA, 1980-1996

	1980		1996	
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total
Generación de electricidad	2.336.147	78,75	1.067.901	69,37
Combustión industrial	375.817	12,67	245.582	15,95
Otros	254.730	8,57	225.837	14,67
Total	2.966.694	100,00	1.539.320	100,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

TABLA 3
CONCENTRACIÓN ESPACIAL DE LAS EMISIONES DE SO₂ En 1996
(% respecto al total)

	1996
Coruña	26,4%
Teruel	18,4%
León	7,2%
Asturias	6,4%
Total de las 4 provincias	58,4%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

Para profundizar en el análisis de la relación entre crecimiento económico y emisiones, también se ha probado llevar a cabo un análisis econométrico. No obstante, los resultados obtenidos deben tomarse con suma cautela, dado el escaso número de observaciones disponibles. En primer lugar, se estimó un modelo en que la variable dependiente es la emisión de SO₂ per cápita, y la variable explicativa el PIB per cápita.¹⁰⁷ No obstante, este cálculo tenía problemas de autocorrelación. Luego, con la información aportada por la tabla 2, se introdujo un indicador del consumo de carbón. Sin embargo, y en contra de lo que cabría esperar en un principio, la inclusión de diferentes especificaciones de tal variable (como consumo per cápita y porcentaje del carbón sobre el total de energía

107 Todas las variables son integradas de orden 1 (véase apéndice A).

eléctrica generada, y las mismas especificaciones para los lignitos) no resultó ser significativa y en cambio, sí resultó significativa la inclusión de la generación de energía eléctrica en centrales térmicas convencionales per cápita ((Térmica / P)_t).

$$\ln(\text{SO}_2/P)_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{PIB}/P)_t + \beta_2 \ln(\text{Termica}/P)_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

Así pues, el resultado de esta estimación, tomando las variables en logaritmos, muestra que existe una relación inversa entre nivel de emisiones de dióxido de azufre per cápita ($\ln(\text{SO}_2/P)_t$) y el nivel del PIB per cápita ($\ln(\text{PIB}/P)_t$) pero, en cambio, y como cabría esperar, esta relación es positiva para el caso de la variable $\ln(\text{Termica}/P)_t$ (tabla 4). De este modo pues, a mayor nivel de PIB per cápita menor nivel de emisiones de SO_2 y, en cambio, a mayor nivel de electricidad generada por centrales térmicas, mayor nivel de emisiones. El valor del estadístico de Durbin-Watson no indica la presencia de problemas de autocorrelación.¹⁰⁸ El coeficiente de determinación corregido (R^2 ajustado) tiene un valor alto, por tanto el nivel de ajuste del modelo es muy alto.

TABLA 4
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN. LA VARIABLE DEPENDIENTE ES $\ln(\text{SO}_2/P)_t$ (1980-1996)

Variable		Coefficiente	Estadístico-t
Constante	(β_0)	11,88	22,03
$\ln(\text{PIB}/P)_t$	(β_1)	-1,20	-15,67
$\ln(\text{Termica})_t$	(β_2)	0,60	8,02
R ² : 0,9726			
R ² Ajustado: 0,9687			
Durbin-Watson: 1,6930			

No obstante, como ya se señaló, correlación no es igual a causalidad, y la correlación negativa entre el nivel de emisiones y el PIB per cápita no dice mucho sobre qué factores han provocado esta disminución. El caso español de reducción de emisiones no es único sino que es, en general, característico de los países desarrollados (de Bruyn, 1997). De hecho, el ritmo de reducción (y la propia reducción) de emisiones no puede explicarse sin referencia a la existencia de convenios internacionales y a la pertenencia de España a la Unión Europea, ya que se establecen objetivos a nivel comunitario. Así, en el primer protocolo sobre emisiones de azufre (1985) se acordó una reducción del 30% en 1993 respecto a 1980, mientras que en el segundo protocolo (1994) se establecieron compromisos más complejos, no uniformes, basados en el modelo RAINS atendiendo a las características climáticas y los efectos sobre los diversos ecosistemas. En el caso español implicaba una reducción mínima del 35% en 2000 respecto a 1980.

Ello no significa que no exista ninguna relación entre nivel de renta y emisiones. De hecho, en las citadas negociaciones del segundo protocolo, los compromisos finales para cada país no fueron totalmente independientes de los objetivos previos de cada país, y de Bruyn (1997) concluye que en general fueron más ambiciosos para los países ricos, aunque éste sólo es uno de los factores que interviene (otro es el nivel de contaminación en términos de mayores emisiones por kilómetro cuadrado). En todo caso la relación entre nivel de renta y reducción de emisiones es muy indirecta (a través de las prioridades de las políticas ambientales).

¹⁰⁸ De todas formas, se llevó a cabo la estimación incluyendo un término AR(1), para tener en cuenta la posible autocorrelación entre los residuos. Éste resultó ser no significativo, como cabía esperar.

Sin duda, el probable endurecimiento de los límites de emisiones de contaminantes atmosféricos por parte de la Unión Europea comportará una disminución importante de SO₂ ya que posiblemente significará el cierre de diversas centrales térmicas en los próximos años.¹⁰⁹ El hecho de que los países del Sur de Europa avancen en política ambiental, en gran parte como resultado de los avances legislativos en la Unión Europea, es un hecho más general y que ya ha sido señalado por otros autores (Lekakis, 2000). Sin embargo, las demandas locales también tienen un papel muy relevante. Así, hace años se desencadenó un conflicto de protesta por parte de poblaciones afectadas y grupos ecologistas por las elevadas emisiones producidas por la central térmica de carbón de Andorra (provincia de Teruel, donde se concentra casi la quinta parte de emisiones: tabla 3) que llevó a una demanda por delito ecológico. Finalmente, se produjo un compromiso por parte de la empresa de asumir una inversión en desulfuración de gases de 25.000 millones de pesetas que, según algunas fuentes, reducirán las emisiones en un 95%.¹¹⁰

4.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno, al igual que el SO₂, tienen un efecto más local que global, de forma que podría esperarse que se encuentren entre los contaminantes para los cuales es más factible que se cumpla la hipótesis de la CKA. Sin embargo, la evolución temporal de las emisiones de NO_x, como ya se ha visto no muestra ninguna tendencia decreciente; al contrario, las emisiones en 1996 son superiores a las de 1980.

Una diferencia importante con las emisiones de azufre es que se trata de una contaminación más difusa. Cabe recordar que los NO_x contribuyen a la lluvia ácida y son además precursores de ozono (O₃) troposférico. El transporte y, más concretamente, el transporte rodado en carretera, es el sector que más contribuye a la emisión de dióxido de nitrógeno. No sólo es el más influyente sino que además, es el sector que más ha aumentado en los últimos años. De representar el 34% del total de emisiones en 1980, ha pasado al 45% en 1996. Esta evolución no es extraña a pesar de que actualmente muchos vehículos han reducido significativamente las emisiones por kilómetro recorrido: la expansión del transporte en carretera (de mercancías y de personas) de las últimas décadas ha sido tal que la mayor 'eficiencia ambiental' ha sido más que compensada por la mayor 'escala de actividad'.¹¹¹ Por otro lado, las emisiones ligadas a la generación de electricidad también tienen un papel relevante (tabla 5).

TABLA 5
EMISIONES NO_x EN ESPAÑA, 1980-1996

	1980		1996	
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total
Transporte por carretera	372.469	34,14	575.151	44,90
Otros modos de transporte	258.664	23,71	233.081	18,20
Generación de electricidad	262.307	24,04	265.934	20,76
Otros	197.615	18,11	206.697	16,14
Total	1.091.061	100,00	1.280.862	100,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

109 Las grandes compañías eléctricas prevén importantes inversiones en centrales térmicas de gas natural y, dado que existen limitaciones al aumento de su cuota de mercado destinadas a asegurar un mínimo de competencia, ello puede acelerar el cierre "voluntario" de centrales (*Cinco Días*, 26-6-2000, p.3)

110 *Cinco Días*, 15.10.1998.

111 El uso de carburantes por coches y camiones en España pasó de 306 kg. de equivalente petróleo por persona y año a 551 kg. entre 1985 y 1996 (un aumento del 80%). Ver Eurostat (1999, p.22).

El análisis espacial pone de manifiesto que las emisiones de estos gases son más importantes en aquellas provincias donde existen ciudades con importantes redes de carreteras y con elevadas poblaciones y, consecuentemente, mayor número de vehículos. También se observa un mayor nivel relativo de emisiones en provincias donde se ubican algunas importantes centrales termoeléctricas (como La Coruña, León o Asturias).

TABLA 6
CONCENTRACIÓN ESPACIAL DE EMISIONES DE NO_x En 1996
(% total)

	1996
Barcelona	7,01%
Madrid	6,38%
Asturias	6,28%
León	5,64%
Coruña	4,44%
Total de las 5 provincias	29,75%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

Dada la influencia que tienen tanto el sector transporte como las centrales térmicas en el nivel de emisiones antrópicas de NO_x, se ha realizado una regresión econométrica entre el nivel de emisiones per cápita ($\ln(\text{NO}_x/P)_t$) y estas variables.¹¹² Las variables independientes del modelo estimado son $\ln(\text{Transporte}/P)_t$, que es el consumo de energía primaria del sector transporte per cápita¹¹³ y la ya utilizada $\ln(\text{Térmica})_t$ (generación de energía eléctrica en centrales térmicas convencionales per cápita). Todas las variables se han considerado en logaritmos.¹¹⁴ Al igual que en el caso del SO₂, los resultados obtenidos deben tomarse con suma cautela dado el escaso número de observaciones disponibles.

$$\ln(\text{NO}_x/P)_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{Térmica}/P)_t + \beta_2 \ln(\text{Transporte}/P)_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

TABLA 7
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN. LA VARIABLE DEPENDIENTE ES $\ln(\text{NO}_x/P)_t$ (1980-1996)

Variable		Coficiente	Estadístico-t
Constante	(β_0)	3,59	161,44
$\ln(\text{Térmica}/P)_t$	(β_1)	0,20	5,20
$\ln(\text{Transporte}/P)_t$	(β_2)	0,49	20,71
R ² : 0,9690			
R ² Ajustado: 0,9645			
Durbin-Watson: 1,6832			

112 Otra vez, la estimación con el PIB per cápita ($\text{PIB}/P)_t$ como única variable explicativa presenta problemas de autocorrelación (el estadístico Durbin-Watson es 0,610 en este caso).

113 Calculado a partir de datos de AIE, *Energy Balances* (varios años).

114 Todas las variables son integradas de orden 1 (véase apéndice A).

El valor de la R^2 ajustada es elevado y el signo positivo de los parámetros estimados se ajusta a lo esperado. La inclusión del PIB per cápita en el modelo estimado resultó ser no significativa,¹¹⁵ por lo que puede descartarse un comportamiento como el esperable de la CKA y se deduce que, en todo caso, la probable influencia positiva del nivel de renta sobre las emisiones es indirecto y se manifiesta en que a mayores niveles de renta suele dispararse el uso del vehículo privado y el consumo eléctrico, que hoy por hoy se obtiene mayoritariamente a partir de la quema de combustibles fósiles.

4.4. Metano (CH₄)

El metano constituye junto al CO₂, el N₂O y los CFCs uno de los gases que más contribuyen al efecto invernadero. Como gas de efecto invernadero con efectos globales y a largo plazo, y cuyas causas de generación son, además, bastante variadas, entra en el grupo de los que más difícilmente pueda esperarse que se cumpla la hipótesis de la CKA. Expectativa que se confirma claramente en el análisis realizado a continuación.

Si se observa la figura 2, la evolución de las emisiones antrópicas de CH₄ a lo largo de los años considerados ha sido de un aumento constante y considerable. Este incremento viene determinado fundamentalmente por el aumento que ha habido en la cantidad de residuos sólidos urbanos que son depositados en vertederos.

Si se observa la composición sectorial de las emisiones antrópicas de metano, la tabla 8 muestra que los principales focos emisores de este gas se concentran en aquellas actividades relacionadas con la agricultura y la ganadería, y en segundo lugar, con el tratamiento de residuos. Este último sector de actividades ha sido el que ha experimentado un mayor aumento: de representar un 19% el año 1980 ha incrementado su participación hasta el 37%. Ello no es extraño si tenemos en cuenta el enorme aumento en la generación de residuos urbanos ligado al aumento del consumo per cápita, el escaso grado de reutilización de residuos y el hecho de que su destino hoy mayoritario son los vertederos, sin aprovechamiento del metano para uso energético. Si tienen éxito diversos proyectos orientados a un cambio en la gestión de residuos, dichas emisiones podrían disminuir significativamente.

TABLA 8
EMISIONES ANTRÓPICAS DE CH₄ EN ESPAÑA, 1980-1996

	1980		1996	
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total
Agricultura y ganadería	754.636	64,56	999.471	51,62
Tratamiento de residuos	222.764	19,06	711.060	36,72
Otros	191.521	16,38	225.755	11,66
Total	1.168.920	100,00	1.936.286	100,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

La estimación de un modelo econométrico mediante el cual se relaciona el PIB per cápita y el nivel de emisiones de CH₄ no ofrece resultados satisfactorios en términos estadísticos (se dan graves problemas de autocorrelación), aunque parece evidente que no ha actuado ningún mecanismo en el sentido de desvincular crecimiento económico y contaminación. El crecimiento económico en este caso se habría visto asociado con más emisiones.

115 El t-estadístico asociado a la variable $\ln(\text{PIB}/P)$, es de $-1,106$.

4.5. Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso es otro de los gases directos de efecto invernadero. El interés suscitado por el calentamiento global del planeta y la existencia de compromisos internacionales han llevado a la recogida de datos y el estudio de su evolución. Como pasa otros gases de efecto invernadero, las características del problema hacen particularmente poco factible que se dé la relación empírica postulada por la CKA.

En cuanto a la evolución temporal de las emisiones antrópicas de N₂O en España, éstas se mantienen constantes desde 1980 hasta inicios de los noventa (figura 2). A partir de entonces se observa una ligera disminución provocada por la reducción de las emisiones originadas por los suelos agrícolas y por los procesos industriales, especialmente en el sector de fabricación de nítrico, el cual sufrió un descenso en su producción a principio de los noventa. A partir de 1994, la recuperación de este sector provoca que, de nuevo, aumente el nivel de emisiones, consolidándose sobre todo a partir de 1995 (Cristóbal López; 1999, p. 82). Como resultado, el nivel de emisiones en 1995 no ha variado sustancialmente respecto a 1980.

La tabla 9 muestra la distribución sectorial de las emisiones antrópicas de óxido nitroso. Éstas se generan fundamentalmente en las actividades agrarias debido al uso de fertilizantes. Las emisiones del sector agrario y ganadero representan más del 80% del total. Aunque no ha habido un aumento excesivo en el nivel de emisiones originadas en este sector, tampoco se puede hablar de una disminución.

La relación de las emisiones con un sector específico que, en términos de valor, representa actualmente una parte muy pequeña del PIB total hace que no sea posible identificar ninguna relación clara entre la evolución de emisiones y el PIB global.

TABLA 9
EMISIONES N₂O EN ESPAÑA, 1980-1996

	1980		1996	
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total
Agricultura y ganadería	106.820	82,35	110.624	80,99
Otros	22.899	17,65	25.961	19,01
Total	129.719	100,00	136.585	100,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

4.6. Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM)

Los COVNM son unos de los compuestos precursores del ozono (O₃) troposférico. Como muestra la figura 2, el nivel de emisiones se ha mantenido más o menos constante hasta 1991, a partir de entonces y durante los siguientes cuatro años hubo un ligero descenso que mientras que en 1994 volvieron nuevamente a recuperarse. Desde entonces han ido disminuyendo. En conjunto, no se observa ninguna tendencia ya que en 1996 el nivel de emisiones se mantiene alrededor del nivel inicial de 1980.

En cuanto a la distribución sectorial de las emisiones, los principales sectores emisores son el de agricultura y ganadería, el de transporte por carretera y el de disolventes orgánicos (tabla

10). Puede observarse una tendencia a un cambio en los pesos relativos: el sector de agricultura y ganadería pierde peso (aunque sigue siendo el más importante) y aumenta el peso del resto de sectores, destacando como el sector de transporte por carretera es superado por el de disolventes, que pasa a ser el segundo en importancia (aunque téngase en cuenta que una de las principales industrias consumidoras de dichos disolventes es la automovilística).

TABLA 10
EMISIONES DE COVNM EN ESPAÑA EN 1980-1996

	1980		1996	
	Toneladas	% del total	Toneladas	% del total
Agricultura y ganadería	812.545	48,52	615.480	35,00
Uso de disolventes	291.429	17,40	401.043	22,80
Transporte por carretera	324.911	19,40	394.144	22,41
Otros	245.700	14,67	347.951	19,79
Total	1.674.585	100,00	1.758.618	100,00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente.

5. CONCLUSIONES

Los datos de contaminación atmosférica en España permiten descartar la visión más optimista, según la cual el aumento del nivel de renta lleva necesariamente a una disminución de las emisiones y, en consecuencia, a un menor deterioro del medio ambiente. De hecho, el crecimiento económico sólo ha ido acompañado de una disminución de las emisiones en uno de los contaminantes analizados (el SO₂) y parece claro que en su disminución ha jugado un papel muy relevante la política ambiental conjunta de los países ricos que ha afectado a todos ellos de forma bastante independiente de su particular nivel de renta. Aunque en este caso específico puede argumentarse que el nivel de renta puede ser un factor que juega cierto papel en la adopción de dicha política, desde luego no se puede analizar como un efecto inevitable. Es más, las protestas sociales contra la contaminación no han sido protagonizadas por los sectores de población con más renta per cápita sino por aquellos más afectados por el problema y/o más concienciados de sus efectos.

Con la excepción anterior, las emisiones de otros contaminantes han aumentado o, como mínimo, no han disminuido. Esto ha ocurrido de forma muy clara para los contaminantes con fuertes efectos intergeneracionales, como es el caso de los gases de efecto invernadero, aunque también para aquellos cuyos efectos tienen una dimensión más local.

Sin embargo, el análisis anterior también permite argumentar que el crecimiento económico, aunque en principio es problemático, no necesariamente se ha de ver acompañado de una mayor problemática ambiental. La relación entre nivel de renta y emisiones de diversos tipos depende de muchos factores. En algunos casos las emisiones podrían reducirse considerablemente concentrándose en un tipo de actividad específica (por ejemplo, sustituyendo los disolventes orgánicos por otro tipo de sustancias) mientras que en otros el reto es mayor porque implica cambios relevantes en

el modelo de transporte dominante o en la composición de las fuentes energéticas o en la política de gestión de residuos. Para afrontar todas estas cuestiones es necesario adoptar medidas decididas de política ambiental coherentes con un desarrollo sostenible y, desde luego, no puede pensarse que el propio crecimiento económico solucionará los problemas intergeneracionales, porque lo más probable es que los agrave.

APÉNDICE A

Estadísticos de la pruebas de integración (estadísticos Dickey-Fuller) para cada una de las series.

Variable	Estadístico de las series en niveles	Estadísticos de las series en diferencias
CO ₂ /P	-2,26	-15,18***
PIB/P	0,56	-1,87*
(PIB/P) ²	0,23	-1,50
(PIB/P) ³	0,53	-1,31
ln (CO ₂ /P)	-1,51	-4,62***
ln (PIB/P)	-0,31	-2,08**
ln Nuclear	-0,71	-4,05***
ln Carbon	-1,16	-4,42***
ln (SO ₂ /P)	-0,12	-3,25***
ln (Termica/P)	-2,13	-3,16***
ln (NO _x /P)	-0,94	-3,46***
ln (Transporte/P)	-0,15	-2,06**

* Rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria al 10 %.

** Rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria al 5 %.

*** Rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria al 1 %.

APPENDICE B

Resultados de la estimación SUR (*Seemingly unrelated regression*).

$$\ln(\text{CO}_2/\text{P})_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{PIB}/\text{P})_t + \beta_2 \ln(\text{Nuclear})_t + \beta_3 \ln(\text{Carbon})_t + \varepsilon_t$$

Variable		Coficiente	Estatístico-t
Constante	(β_0)	-13,70	-20,24
$\ln(\text{PIB}/\text{P})_t$	(β_1)	1,24	12,68
$\ln(\text{Nuclear})_t$	(β_2)	-0,13	-6,93
$\ln(\text{Carbon})_t$	(β_3)	0,19	-4,99
R ² : 0,9224			
R ² ajustado: 0,9107			
Durbin-Watson: 2,2717			

$$\ln(\text{SO}_2/\text{P})_t = \beta_4 + \beta_5 \ln(\text{PIB}/\text{P})_t + \beta_6 \ln(\text{Termica}/\text{P})_t + \varepsilon_t$$

Variable		Coficiente	Estatístico-t
Constante	(β_4)	11,88	24,66
$\ln(\text{PIB}/\text{P})_t$	(β_5)	-1,19	-17,49
$\ln(\text{Termica}/\text{P})_t$	(β_6)	0,61	9,02
R ² : 0,9726			
Adjusted R ² : 0,9687			
Durbin-Watson: 1,7140			

$$\ln(\text{NO}_x/\text{P})_t = \beta_7 + \beta_8 \ln(\text{Termica}/\text{P})_t + \beta_9 \ln(\text{Transporte}/\text{P})_t + \varepsilon_t$$

Variable		Coficiente	Estatístico-t
Constante	(β_7)	3,59	178,66
$\ln(\text{Termica}/\text{P})_t$	(β_8)	0,20	5,81
$\ln(\text{Transporte}/\text{P})_t$	(β_9)	0,50	23,27
R ² : 0,9690			
R ² ajustado: 0,9645			
Durbin-Watson: 1,6872			

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha hecho patente que el análisis económico convencional trata de una forma injusta a las generaciones futuras y, de hecho, prácticamente las ignora en la toma de decisiones. Se ha visto además que un mayor crecimiento en la actividad económica no lleva necesariamente a un menor impacto ambiental, como sugieren los más optimistas.

La investigación se ha centrado en la búsqueda de una solución satisfactoria a la consideración de las generaciones futuras en la evaluación de políticas y proyectos. Las premisas que justifican la aplicación de las herramientas convencionales del análisis coste-beneficio no parecen cumplirse en los problemas intergeneracionales como el cambio climático: los efectos de las acciones presentes se extienden más allá del horizonte de vida de los individuos que toman la decisión; los impactos no son marginales y son de una magnitud y unas características inciertas; se pueden producir irreversibilidades; la distribución entre los individuos afectados es muy desigual; no existe certeza sobre la posibilidad de sustituir los bienes afectados; existen muchos bienes que no pueden ser valorados monetariamente; entre otros problemas. En consecuencia, no se justifica aplicar el análisis coste-beneficio marginal, con la aplicación que éste implica del descuento convencional y del criterio de compensación de Kaldor-Hicks.

El descuento convencional resta importancia a los impactos que se dan en el futuro, dando un peso casi negligible al consumo de las generaciones futuras. Los argumentos más utilizados para justificar este descuento (preferencia temporal pura y utilidad marginal del consumo decreciente) pierden legitimidad en el contexto intergeneracional. Que los individuos valoren menos su consumo futuro que su consumo presente es una cuestión diferente a cuál es la valoración que otorgan al consumo de sus descendientes. Las preferencias son de distinta índole, luego la preferencia temporal pura representa una ponderación arbitraria cuando se aplica a las generaciones futuras. En cuanto al argumento de la utilidad marginal decreciente (debido al supuesto de que en el futuro siempre se será más rico), una aplicación coherente del mismo requeriría ponderar a todo el mundo, presente y futuro, en función de su riqueza (lo que llevaría a un resultado muy diferente) y tener mucho cuidado de que la menor ponderación que se pone al futuro no haga peligrar la sostenibilidad y por tanto el mismo supuesto de que el futuro será más rico.

Las alternativas que han aparecido en la literatura, en general tampoco son capaces de dar una respuesta adecuada al problema. En la siguiente tabla, que no pretende ser exhaustiva, se recogen algunas de estas propuestas:

RESUMEN DE LAS DISTINTAS PROPUESTAS

Soluciones propuestas	Autores	Problemas
Soluciones basadas en el descuento intertemporal		
<i>Análisis coste-beneficio convencional</i> Se justifica por motivos de eficiencia.	Teoría neoclásica, p.ej. Nordhaus (1994)	Grave perjuicio a las generaciones futuras. Se obvian las preferencias de los individuos respecto al consumo de las generaciones futuras. Criterio de Kaldor-Hicks pierde legitimidad en contexto intergeneracional.
<i>Modificación del descuento a la baja</i> Se justifica para evitar el castigo que los métodos habituales aplican a los impactos futuros.	P.ej. Daly y Cobb (1989), Sen (1982)	Se obvian las preferencias temporales y se aplica un descuento a las generaciones futuras que no refleja las preferencias de los individuos. Conduce a aprobar proyectos con baja rentabilidad social.

(Sigue.)

(Continuación.)

Soluciones propuestas	Autores	Problemas
Soluciones basadas en el descuento intertemporal		
<p><i>Modificación del descuento al alza</i></p> <p>Se justifica porque un mayor descuento puede llevar a una menor actividad económica y por tanto un menor uso de recursos naturales.</p>	<p>Citada por Pearce y Turner (1990)</p>	<p>También se obvian las preferencias temporales y respecto al consumo del futuro. Además, un descuento alto puede acentuar la discriminación a las generaciones futuras.</p>
<p><i>Cambios en la valoración de flujos relacionada con el tiempo</i></p> <p>La valoración del medio ambiente es creciente con el tiempo, justificando una tasa de descuento ambiental más pequeña que la tasa de descuento social.</p>	<p>Weitzman (1994), Fisher y Krutilla (1975), Tol (1994), Rabl (1996), Hasselmann (1999)</p>	<p>Los cambios en la valoración no tienen por qué seguir la lógica exponencial del factor de descuento. Al igual que las anteriores, no incorpora la existencia de distintas generaciones en el análisis, ni por tanto las preferencias por el consumo de los descendientes ni el requisito de sostenibilidad</p>
Soluciones que introducen distintas generaciones en el análisis		
<p><i>Método de descuento modificado</i></p> <p>Suma de las valoraciones hechas desde el punto de vista de cada individuo afectado por el proyecto, sin aplicar a éstas ponderación alguna.</p>	<p>Kula (1988)</p>	<p>No refleja las verdaderas preferencias de la sociedad, que no es indiferente entre un consumo ahora o dentro de un milenio.</p>
<p><i>La ponderación intergeneracional social</i></p> <p>Suma de las valoraciones que cada generación hace de sus consumos, ponderada según las preferencias sociales respecto a qué generación realiza el consumo.</p>	<p>Bellinger (1992), Nijkamp y Rouwendal (1988)</p> <p>Pasqual (1999)</p> <p>Collard (1981)</p>	<p>Inconsistencia entre preferencias individuales y sociales: consideran individuos egoístas mientras que las preferencias sociales reflejan altruismo intergeneracional.</p> <p>Identificación de la tasa social con la individual sin justificación teórica o empírica.</p> <p>Al igual que las anteriores, por sí solas, no dan cabida a la consideración de derechos de las generaciones futuras. No elaboran una metodología adecuada que permita traducir el grado de altruismo de los individuos en ponderaciones intergeneracionales sociales. No se introduce el requisito de sostenibilidad.</p>
Soluciones que introducen de alguna forma el requisito de sostenibilidad		
<p><i>Acciones asociadas a los proyectos para garantizar el criterio de sostenibilidad</i></p> <p>Se propone mantener las existencias de capital natural constante. Esto se haría compensando los proyectos que dañan el medio ambiente con otros que aumenten deliberadamente el capital natural.</p>	<p>Markandya y Pearce (1988), Pearce y Turner (1990)</p>	<p>Solución parcial. No válida cuando se afecta a bienes insustituibles. No señalan cómo se pueden medir, ni por tanto asignar correctamente, las cantidades de capital natural. Se limita a proyectos medioambientales.</p>

(Sigue.)

(Continuación.)

Soluciones propuestas	Autores	Problemas
Soluciones que introducen de alguna forma el requisito de sostenibilidad		
<p><i>Estandar mínimo de seguridad</i> Se propone como prioridad preservar determinadas cantidades críticas de bienes naturales necesarias para la sostenibilidad, siempre que esto no sea 'inaceptablemente costoso' desde un punto de vista social.</p> <p><i>Principio de precaución</i> Evitar llevar a cabo cualquier proyecto que implique riesgos a la sostenibilidad del sistema.</p> <p><i>Sistema de bonos ambientales</i> Pago monetario igual a estimación de daño futuro. Reembolsado en caso de que se demuestre que no existe el peligro.</p>	<p>Ciriacy-Wantrup (1952), Bishop (1978), Farmer y Randall (1998)</p> <p>O'Riordan y Jordan (1995)</p> <p>Perrings y Costanza (1990)</p>	<p>Solución parcial. Al igual que la anterior, su aplicación se limita a proyectos medioambientales. No queda claro cómo ni quién decide qué es 'inaceptablemente costoso'.</p> <p>Como el anterior, no es un método de evaluación completo sino un criterio a aplicar en casos de incertidumbre. Se limita a algunos casos. Su aplicación indiscriminada puede llevar a ineficiencias.</p> <p>Solución aplicable a algunos casos. Es necesario estudiar sus limitaciones prácticas. Requiere valoración monetaria y posibilidad de sustituir el daño.</p>
Aplicado al cambio climático		
<p><i>Análisis coste-efectividad con metas específicas</i> Ante la incapacidad de estimar con precisión los impactos del cambio climático, se establecen objetivos de concentraciones previas y se buscan las sendas de emisiones coste-efectivas.</p>	<p>P.ej. Richels y Edmonds (1995)</p>	<p>Ignoran los impactos a medio plazo del cambio climático. La mayoría incluyen supuestos arbitrarios sobre cuestiones inciertas que tienden a retrasar las acciones. No se preocupan por determinar qué metas son las adecuadas.</p>

En el presente trabajo se ha argumentado que una alternativa coherente necesita introducir la existencia de distintas generaciones en el análisis y tomar en cuenta adecuadamente las preferencias respecto al consumo de las generaciones futuras. Sin embargo, esto no lleva automáticamente a conseguir un desarrollo sostenible. Se hace necesario incorporar ciertos criterios de equidad.

Para tratar adecuadamente con los problemas intergeneracionales es necesario superar las fuertes limitaciones que conlleva el análisis ortodoxo, como son la desigual distribución entre generaciones, o el supuesto de la posibilidad de sustitución infinita. En el presente trabajo se argumenta que para asegurar un trato justo a las generaciones futuras deberíamos reconocer y proteger su derecho a disfrutar al menos de la misma capacidad en cuanto a recursos económicos y ecológicos que disfrutamos en la actualidad. La sostenibilidad se asumiría como un compromiso de equidad con las generaciones futuras. Con este objetivo, el trabajo ha presentado un procedimiento de evaluación alternativo, coherente con el requerimiento de sostenibilidad. En este procedimiento, la información de distintas disciplinas es de una importancia esencial para poder determinar la forma más eficiente de respetar el derecho del futuro a un medio no deteriorado. Los supuestos que se tienden a hacer de forma acrítica en la economía convencional, sobre cuestiones inciertas y desconocidas, deberían

sustituirse por la integración de toda la información disponible y algo más de prudencia, especialmente cuando estos supuestos pueden llevar a perjudicar al futuro.

Para que los intereses de las generaciones futuras sean respetados en la actuación de presente, y por tanto, el nuevo proceso de evaluación sea aplicado, es necesario que se establezcan las instituciones adecuadas. El trabajo ha señalado alguna de las funciones y competencias que estas instituciones deberían tener para forzar el paso a un desarrollo sostenible. Los beneficios que una parte de la sociedad presente obtiene del uso de recursos que pertenecen a todos los individuos presentes y futuros debería financiar los instrumentos necesarios para su administración sostenible.

En cuanto a la adecuada consideración de los impactos sobre las generaciones futuras, ésta requiere de la aplicación de una ponderación intergeneracional que muestre las preferencias sociales al respecto. Si se considera que las preferencias sociales deben derivarse de las individuales, como se asume en la economía del bienestar, las preferencias sociales deberían reflejar las preocupaciones altruistas de los individuos por las generaciones futuras. En el trabajo, se ha partido de una función de bienestar social utilitarista incluyendo preferencias altruistas por el bienestar de los descendientes y se ha derivado una ponderación intergeneracional social que difiere claramente del peso que supone la aplicación del descuento temporal a todos los impactos que recaen sobre el futuro. Esta ponderación, no obstante, no se puede identificar con la de un individuo típico, dado la coexistencia de distintas generaciones en la sociedad y el hecho de que la función de bienestar social represente a estas distintas generaciones. El método del VAN impide una correcta consideración de las generaciones futuras, por lo cual se ha propuesto un método alternativo que incorpore la consideración de los impactos futuros en función de las preferencias al respecto, el VAN multigeneracional. Éste método aplica una ponderación al consumo de las generaciones futuras que se deriva de las preferencias individuales y, por otro lado, no ignora las preferencias temporales que cada generación tiene respecto a su propio consumo.

El trabajo ha utilizado la formalización y los procedimientos de optimización convencionales para estudiar qué consecuencias tiene la inclusión de altruismo intergeneracional en un modelo de generaciones solapadas respecto a las condiciones de optimalidad de las inversiones públicas. Como cabía esperar de los resultados anteriores, se muestra que las decisiones de inversión óptimas que se derivan de las preferencias individuales y sociales implican algunos factores que habitualmente no son tenidos en cuenta en el análisis. Se hace patente la necesidad de adoptar nuevos métodos de evaluación si es que se quieren tomar decisiones coherentes con las preferencias, como defiende tradicionalmente la economía del bienestar. Así, la aplicación del VAN multigeneracional llevaría a decisiones más acordes con las preferencias de los individuos. No obstante, como ya se ha indicado, la incorporación del requisito de sostenibilidad debe estar por encima de la consideración de preferencias.

La revisión crítica de los modelos de evaluación aplicados al cambio climático ha servido para ejemplificar las limitaciones e inconsistencias que conlleva el análisis convencional y que lo hacen inapropiado o insuficiente para tratar este tipo de problemas globales e intergeneracionales. Se ha visto además que en el caso del cambio climático los problemas no se han limitado a los ya comentados del análisis económico ortodoxo. En el caso del cambio climático se han tendido a incorporar juicios de valor y supuestos arbitrarios, en muchas ocasiones escondidos tras la sofisticación de modelos matemáticos muy elaborados, mientras que por otro lado también se ha tendido a ignorar parte de la información relevante. Se podría justificar que esto es necesario para simplificar la complejidad que implica el problema y poder obtener algunos resultados. No obstante, lo que no tiene justificación aparente es que la mayor parte de estas elecciones o simplificaciones han tendido a sesgar el resultado hacia la recomendación de un menor control de emisiones, lo que es puesto de relieve en el trabajo.

Siguiendo las premisas del trabajo, se cuestiona el derecho natural a contaminar que se asume en el análisis convencional. El análisis de las políticas a aplicar en el cambio climático debe ser coherente con el desarrollo sostenible, que en este caso implicaría 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). Cualquier daño causado al futuro en términos de alteraciones climáticas debe ser evitado o compensado adecuadamente. Se ha destacado, además, la necesidad de integrar toda la información disponible en el análisis y en el proceso de toma de decisiones, haciendo lo más explícitos posibles los juicios de valor y los supuestos relevantes.

La versión más ‘optimista’ del crecimiento económico considera que no hace falta preocuparse por los problemas ambientales ni por las externalidades entre generaciones. Según esta visión, llegados a un nivel determinado de renta, el crecimiento económico por sí mismo traerá automáticamente la solución a todos los problemas y por tanto la preocupación por la sostenibilidad sería innecesaria (véase p. ej. Beckerman, 1994). El trabajo ha analizado la evolución de las emisiones de algunos contaminantes para el caso español. La principal conclusión es que un mayor crecimiento económico no implica automáticamente una mejora del medio ambiente, sino más bien al contrario. Esto se hace especialmente evidente en el caso de los contaminantes con mayores efectos intergeneracionales, como son los gases de efecto invernadero. No se dan los incentivos adecuados para que se produzca la desvinculación entre crecimiento y presión ambiental. Este resultado refuerza la idea de que es necesario actuar con políticas ambientales decididas, así como modificar los métodos de gestión y evaluación, para incorporar las prescripciones esbozadas a lo largo del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abel, A. B. (1985): "Precautionary saving and accidental bequests", *American Economic Review*, vol. 75, n. 4, pp. 777-791.
- Agencia Internacional de la Energía (AIE) (varios años): *Energy Balances of OECD Countries*, OCDE, París
- Aguilera Klink, F. (1992): "El fin de la tragedia de los comunes", *Ecología Política*, vol. 3, pp. 137-147.
- Ainslie, G. (1991): "Derivation of 'rational' economic behaviour from hyperbolic discount curves", *American Economic Review (Papers and Proceedings)*, vol. 81, pp. 334-340.
- Alcántara, V., y Roca, J. (1995): "Energy and CO₂ emissions in Spain", *Energy Economics*, vol.17, pp. 221-230.
- (1999): "CO₂ emissions and the occupation of the 'environmental space'. An empirical exercise", *Energy Policy*, vol. 27, pp. 505-508.
- Altonji, J. G.; Hayashi, F., y Kotlikoff, L. J. (1992): "Is the extended family altruistically linked? direct text using micro data", *American Economic Review*, vol. 82, pp. 1177-1198.
- Arrhenius, S. (1896): "On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground", *Philosophical Magazine*, vol. 41, pp. 237-277.
- Arrow, K. J. (1951): *Social Choice and Individual Values*, John Wiley and Sons, New York.
- Arrow, K. J.; Boling, B.; Costanza, R.; Dasgupta, P.; Folke, C.; Holling, S.; Jansson, B. O.; Levin, S.; Mäler, K. G.; Perrings, C., y Pimentel, D. (1995): "Economic growth, carrying capacity and the environment", *Science*, vol. 268, pp. 520-521.
- Azar, C. (1998): "Are optimal CO₂ emissions really optimal?", *Environmental and Resource Economics*, vol. 11, pp. 301-315.
- (1999): "Weight factors in cost-benefit analysis of climate change", *Environmental and Resource Economics*, vol. 13, pp. 249-268.
- (2000): "Economics and distribution in the greenhouse", *Climatic Change*, vol. 47, pp. 233-238.
- Azar, C., y Sterner, T. (1996): "Discounting and distributional considerations in the context of global warming", *Ecological Economics*, vol. 19, pp. 169-184.

- Barrett, C. B. (1996): "Fairness, stewardship and sustainable development.", *Ecological Economics*, vol. 19, pp. 169-184.
- Barro, R. J. (1974): "Are government bonds net wealth?", *Journal of Political Economy*, vol. 82, pp. 1095-1117.
- Barry, B. (1991): *Liberty and Justice: Essays in Political Theory 2*. Clarendon Press, Oxford.
- Baumol, W. (1952): *Welfare State Economics and the Theory of State*. Harvard University Press, Cambridge.
- (1968): "On the social rate of discount", *American Economic Review*, vol. 58, pp. 788-802.
- Becker, G. S. (1974): "A theory of social interactions", *Journal of Political Economy*, vol. 82, pp. 1063-1093.
- Beckerman, W. (1992): "Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment?", *World Development*, vol. 20, pp. 481-496.
- (1994): "'Sustainable development': Is it a useful concept?", *Environmental Values*, vol. 3, pp. 191-209.
- Bellinger, W. K. (1991): "Multigenerational value: modifying the modified discount method", *Project Appraisal*, vol. 6, pp. 101-108.
- Benzion, U.; Rapoport, A., y Yagil, J. (1989): "Discount rates inferred from decisions: An experimental study.", *Management Science*, vol. 35, pp. 270-284.
- Bernheim, B. D. (1991): "How strong are bequest motives? Evidence based on estimates of the demand for life insurance and annuities", *Journal of Political Economy*, vol. 99, n. 5, pp. 899-927.
- Bernheim, B. D.; Shleifer, A., y Summers, L. H. (1985): "The strategic bequest motive", *Journal of Political Economy*, vol. 93, pp. 1045-1076.
- Birdsall, N., y Steer, A. (1993): "Act now on global warming –but don't cook the books", *Finance and Development*, vol. 30, pp. 6-8.
- Bishop, R. (1978): "Endangered species and uncertainty: The economics of a safe minimum standard", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 57, pp. 10-18.
- Bromley, D. W. (1989): "Entitlements, missing markets, and environmental uncertainty", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 17, pp. 181-194.
- Broome, J. (1992): *Counting the Costs of Global Warming*. White Horse Press, Cambridge.
- Cabeza Gutiérrez, M. (1996): "The concept of weak sustainability", *Ecological Economics*, vol. 17, pp. 147-156.
- Carson, R. T.; Jeon, Y., y McCubbin, D. R. (1997): "The relationship between air pollution emissions and income: US data", *Environment and Development Economics*, vol. 2, pp. 433-450.
- 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.
- Chapman, D., y Khanna, N. (2000): "Crying no wolf: why economists don't worry about climate change, and should.", *Climatic Change*, vol. 47, pp. 225-232.
- Chapman, D.; Suri, V., y Hall, S. G. (1995): "Rolling DICE for the future of the planet", *Contemporary Economic Policy*, vol. 13, pp. 1-9.

- Chichilnisky, G., y Heal, G. (1993): "Global environmental risks", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 7, pp. 65-86.
- Ciriacy-Wantrup, S. V. (1952): *Resource Conservation: Economics and Policy*. University of California Press, Berkeley.
- Cline, W. R. (1992): *The Economics of Global Warming*. Insitute for International Economics, Whashington, DC.
- (1993): "Give greenhouse abatement a fair chance", *Finance and Development*, vol. 30, pp. 3-5.
- (1996): "The impact of global warming on agriculture: comment", *American Economic Review*, vol. 86, pp. 1309-1311.
- Cole, M. A.; Rayner, A. J., y Bates, J. M. (1997): "The environmental Kuznets curve: an empirical analysis", *Environment and Development Economics*, vol. 2, pp. 401-416.
- Collard, D. (1981): *Altruism and Economy*. The Pitman Press, Bath.
- Costanza, R. (1994): "Three general policies to achieve sustainability" In Jansson, A.; Hammer, M.; Folke, C., y Costanza, R. (eds.) *Investing in Natural Capital: the Ecological Economics Approach to Sustainability*. Island Press, Washington DC, pp. 392-407.
- Costanza, R., y Cowell, P. (1992): "The 4P approach to dealing with scientific uncertainty", *Environment*, vol. 34, pp. 12-20 y 40.
- Costanza, R., y Perrings, C. (1990): "A flexible assurance bonding system for improved environmental management", *Ecological Economics*, vol. 25, pp. 55-57.
- Cristóbal López, A. (1999): "Inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en España", en Hernández Álvarez, F. (coord.) *El Calentamiento Global en España. Un Análisis de sus Efectos Económicos y Ambientales*, CSIC, Madrid.
- Daly, H. E., y Cobb, J. B. Jr. (1989): *For the Common Good: Redirecting the Economy Toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*. Beacon Press, Boston.
- Dasgupta, P., y Heal, G. (1979): *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge University Press.
- De Bruyn, S. M. (1997): "Explaining the environmental Kuznets curve: structural change and international agreements in reducing sulphur emissions", *Environment and Development Economics*, vol. 2, pp. 485-503.
- De Bruyn, S. M., y Heintz, R. J. (1999): "The environmental Kuznets curve hypothesis." en van den Bergh, J. (Ed.) *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Edgar. Cheltenham, UK, pp. 656-677.
- De Bruyn, S. M.; van den Bergh, J. C. J. M., y Opschoor, J. B. (1998): "Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves", *Ecological Economics*, vol. 25, pp. 161-175.
- Dijkgraaf, E., y Vollebergh, H. R. J. (1998): "Environment Kuznets revisited. Time-series versus panel estimation: The CO₂ case", Research memorandum 9806, OCFEB, Erasmus University, Rotterdam.
- Dixit, A. K., y Pyndyck, R. S. (1994): *Investment Under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

- Doeleman, J. A. y Sandler, T. (1998): "The intergenerational case of missing markets and missing voters", *Land Economics*, vol. 74, pp. 1-15.
- Dowlatabadi, H. (1999): "Climate change thresholds and guardrails for emissions", *Climatic Change*, vol. 41, pp. 297-301.
- Ekins, P. (1996): "The secondary benefits of CO₂ abatement: how much emission reduction do they justify?", *Ecological Economics*, vol. 16, pp. 13-24.
- (1997): "The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence", *Environment and Planning A*, vol. 29, pp. 805-830.
- Emanuel, K. A. (1987): "The dependence of hurricane intensity on climate", *Nature*, vol. 326, pp. 483-485.
- Eurostat (1999): *Towards Environmental Pressure Indicators for the EU*. Comisión Europea/Eurostat, Luxemburgo.
- Fankhauser, S. (1994a): "The economic costs of global warming damage: a survey", *Global Environmental Change*, vol. 4, pp. 301-309.
- (1994b): "The social costs of greenhouse emissions: An expected value approach", *Energy Journal*, vol. 15, pp. 157-184.
- Farmer, M. C., y Randall, A. (1998): "The rationality of a safe minimum standard", *Land Economics*, vol. 74, pp. 287-302.
- Fischer, A. C., y Krutilla, J. V. (1975): "Resource conservation, environmental preservation, and the rate of discount", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 89, pp. 358-370.
- Fischhoff, B. (1991): "Value elicitation: is there anything in there?", *American Psychologist*, vol. 46, pp. 835-847.
- Goodland, R., y Daly, H. E. (1994): "Environmental sustainability: Universal and non-negotiable", Documento presentado en Ecological Society of America, Knoxville, Tennessee, 7-11 Agosto.
- Grossman, G. M., y Krueger, A. B. (1991): "Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement", NBER working paper 3914, National Bureau of Economic Research (NBER), Cambridge.
- (1995): "Economic growth and the environment", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, pp. 353-357.
- Grubb, M. (1997): "Technologies, energy systems and the timing of CO₂ emissions abatement. An overview of economic issues", *Energy Policy*, vol. 25, pp. 159-172.
- Grubb, M., y Köhler, J. (2000): "Induced technical change: Evidence and implications for energy-environmental modelling and policy", Working Paper 0031, Department of Applied Economics, Cambridge University.
- Grubb, M., y Walker, J. (1992): *Emerging Energy Technologies: Impacts and Policy Implications*. Royal Institute of International Affairs, London.
- Hamaide, B., y Boland, J. J. (2000): "Benefits, costs, and cooperation in greenhouse gas abatement", *Climatic Change*, vol. 47, pp. 239-258.
- Hammit, J. K. (1999): "Evaluation endpoints and climate policy: atmospheric stabilization, benefit-cost analysis, and near-term greenhouse-gas emissions", *Climatic Change*, vol. 41, pp. 447-468.
- Hardin, G. (1968): "The tragedy of the commons", *Science*, vol. 162, pp. 1243-1248.

- Martínez Alier, J. (1998): "Deuda ecológica vs. deuda externa". En <http://www.cosmovisiones.com/DeudaEcologica/>.
- Martínez Alier, J., y Roca, J. (2000): *Economía Ecológica y Política ambiental*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Fondo de Cultura Económica, México, D. F.
- Mas-Colell, A. (1994): "Elogio del crecimiento económico", en Nadal, J. (ed.) *El mundo que viene*. Alianza Editorial, Madrid.
- McConnell, K. E. (1997): "Income and the demand for environmental quality", *Environment and Development Economics*, vol. 2, pp. 383-399.
- McKibbin, W. J.; Ross, M. T.; Shackleton, R., y Wilcoxon, P. J. (1999): "Emissions trading, capital flows and the Kyoto protocol", *Energy Journal*, Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol-A Multi-Model Evaluation, pp. 287-333.
- Meade, J. (1966): "Life-cycle savings, inheritance and economic growth", *The Review of Economic Studies*, vol. 33, pp. 61-78.
- Mendelsohn, R.; Nordhaus, W. D., y Shaw, D. (1994): "The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis", *American Economic Review*, vol. 84, pp. 753-771.
- Ministerio de Medio Ambiente (2000): *Inventario de Contaminantes a la Atmósfera*. CORINE-AIRE (IPCC). Madrid.
- Mohr, E. (1995): "Greenhouse policy persuasion: towards a positive theory of discounting the climate future", *Ecological Economics*, vol. 15, pp. 235-245.
- Moomaw, W. R., y Unruh, G. C. (1997): "Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO₂ emissions", *Environment and Development Economics*, vol 2, pp. 451-463.
- Morgan, M. G.; Kandlikar, M.; Risbey, J., y Dowlatabadi, H. (1999): "Why conventional tools for policy analysis are often inadequate for problems of global change", *Climatic Change*, vol. 41, pp. 271-281.
- Munda, G. (1997): "Environmental economics, ecological economics, and the concept of sustainable development", *Environmental Values*, vol. 6, pp. 213-233.
- Muradian, R. (2001): "Ecological thresholds: a survey", *Ecological Economics*, vol. 38, pp. 7-24.
- National Academy of Sciences (1991): *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. National Academy Press, Washington, DC.
- National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) (1993): "Report of the NOAA panel on contingent valuation", *Federal Register* 58, January 15, pp. 4601-4614.
- Neumayer, E., (1999): *Weak versus Strong Sustainability. Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Nijkamp, P., y Rouwendal, J. (1988): "Intergenerational discount rates in long-term plan evaluation", *Public Finance/Finances Publiques*, vol. 43, pp. 195-211.
- Nordhaus, W. D. (1993): "Rolling the "DICE": An optimal transition path for controlling greenhouse gases", *Resource and Energy Economics*, vol. 15, pp. 27-50.
- (1994): *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge, MA.
- (1997): "Discounting in economics and climate change", *Climatic Change*, vol. 37, pp. 315-328.

