

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DETERMINANTES DE LA EVOLUCIÓN
DE LAS EMISIONES DE CO₂ Y DE AZUFRE EN PAÍSES OCDE
MEDIANTE UNA DESCOMPOSICIÓN ECONOMETRICA.

*EXPLAINING THE EVOLUTION OF CO₂ AND SULFUR EMISSIONS
IN OECD COUNTRIES: AN ECONOMETRIC DECOMPOSITION.*

M. Rosario Díaz-Vázquez
Universidad de Santiago de Compostela
rosario.diaz@usc.es

M. Teresa Cancelo
Universidad de Santiago de Compostela
maite.cancelo@usc.es

Recibido: octubre de 2008; aceptado: junio de 2010.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es avanzar en la investigación de los factores que han resultado más influyentes en el hecho de que, en algunos países, determinadas emisiones contaminantes se hayan reducido a pesar de los incrementos del PIB. Para ello, se lleva a cabo una descomposición de las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ y de azufre de países OCDE utilizando técnicas econométricas, prestando una especial atención al papel desempeñado por la elevación en los precios del petróleo.

Palabras clave: Análisis de descomposición; Modelo econométrico; Emisiones de CO₂ y azufre.

ABSTRACT

The aim of this paper is to investigate some of the key factors that have contributed to the existence of an inverse relationship between GDP growth and some pollutants in several countries. We use econometric techniques to make a decomposition analysis of the growth rates of CO₂ and sulphur emissions in OECD countries. In explaining the fall in emissions, we pay special attention to the influence of the rise in oil prices.

Key words: Decomposition Analysis; Econometric Model; CO₂ and Sulphur Emissions.

Clasificación JEL: Q56.

1. INTRODUCCIÓN.

El estudio que presentamos persigue profundizar en el análisis de los acontecimientos económicos que han conducido a que, en algunos países, determinadas emisiones contaminantes se hayan reducido a pesar de los incrementos del PIB.

En concreto, centramos nuestra atención en las emisiones per cápita de CO₂ y de azufre en países OCDE. Esta elección se justifica por el hecho de que la curva PIB-emisiones de estos contaminantes se ha tornado decreciente en algunos países de ese ámbito (especialmente evidente en el caso del azufre), exhibiendo en algunos casos una trayectoria con forma de U invertida.

Conviene precisar que la afirmación anterior no implica que estemos necesariamente en presencia de una curva de Kuznets ambiental (CKA) para estos contaminantes. La hipótesis CKA sostiene que la relación entre la renta per cápita y la degradación medioambiental puede representarse por una U invertida, de forma que el deterioro ambiental mantendría una relación creciente con la renta hasta alcanzar un nivel crítico de ingreso per cápita a partir del cual los incrementos en la renta avanzarían parejos a mejoras en la calidad ambiental. Ahora bien, es posible que existan aumentos iniciales y posteriores reducciones de la contaminación que no deban considerarse una CKA aunque se produzcan cuando se está incrementando el ingreso per cápita ya que, como precisa Vogel (1999: 26), para que pueda hablarse de la evolución CKA como un fenómeno real y robusto, las mejoras medioambientales que se producen con un ingreso per cápita creciente “deben incluir un componente sistemático que esté asociado a características típicas de una economía creciente y en desarrollo”.

De lo anterior y de los numerosos estudios sobre la CKA se deduce que el diagnóstico sobre las causas del cambio en la trayectoria PIB-emisiones no es simple ni inmediato sino que requiere un análisis detallado de las relaciones entre los indicadores medioambientales y el PIB, para lo cual resulta conveniente el empleo de diferentes técnicas y herramientas de análisis.

Centrándonos en los indicadores medioambientales que hemos seleccionado, los estudios basados en la estimación econométrica del

modelo CKA en forma reducida para un panel de países distan de evidenciar la existencia de una CKA (Stern y Common, 2001; Díaz-Vázquez, 2009). Por otra parte, varios trabajos (Moomaw y Unruh, 1997; Díaz-Vázquez y Cancelo, 2008; Cancelo, 2010 y Díaz-Vázquez y Cancelo, 2009) han destacado la influencia de las crisis energéticas de los setenta (especialmente la de 1979) tanto en la ruptura de la relación creciente entre las emisiones de CO₂ y el PIB per cápita en algunos países OCDE como en el cambio que experimenta la trayectoria PIB-azufre a partir de la década de los setenta en países de ese ámbito. Cabe precisar que el citado cambio en la senda PIB-azufre consiste, en algunos casos, en el paso de una pendiente positiva a una negativa pero, en otros, simplemente se agudiza una pendiente negativa previa. Ahora bien, como se deduce de estos estudios, en el caso del azufre, además del impacto de las crisis se deben considerar otros factores, entre ellos los acuerdos internacionales y las políticas internas.

El objetivo de nuestro estudio reside en determinar con mayor precisión las condiciones que han favorecido la ruptura en la relación creciente entre emisiones y PIB. Con tal fin, llevamos a cabo una descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones utilizando técnicas econométricas. Dado el posible impacto de las crisis energéticas sobre las emisiones analizadas, se presta especial atención al papel desempeñado por los precios de la energía en el proceso de reducción de las emisiones.

El trabajo se estructura del siguiente modo: en el epígrafe 2, describimos las principales técnicas de descomposición, centrando nuestra atención en aquellas que se van a emplear; en el epígrafe 3, utilizamos un modelo econométrico para analizar los factores que han incidido en la tasa de crecimiento de las emisiones; por último, comentamos las principales conclusiones.

2. TÉCNICAS DE DESCOMPOSICIÓN.

Las causas que pueden explicar una ruptura de la relación creciente entre el deterioro medioambiental y el PIB pueden explorarse, según Vogel (1999: 21), desde dos niveles: “En el primer nivel se podrían explicar las mejoras en la calidad ambiental por el simple hecho de que los agentes han emitido menos que antes, dada una capacidad asimilativa natural lo suficientemente elevada como para permitir mejoras absolutas. Cómo se han logrado esas menores emisiones es meramente una cuestión técnica. (...) pero uno todavía se pregunta por qué los agentes económicos han emitido menos que antes. Dar estas razones más profundas corresponde al segundo nivel”.

Ciñéndonos al primer nivel, en la literatura se han desglosado tres efectos económicos básicos que explican el crecimiento de las emisiones (Grossman y Krueger, 1991):

- a) Efecto escala. Si todo lo demás permanece constante, el crecimiento de la actividad económica debería producir un incremento proporcional de las emisiones contaminantes.

- b) Efecto composición o estructura. Recoge los aumentos o disminuciones en las emisiones debidas a una variación en la composición sectorial de la producción, *ceteris paribus*.
- c) Efecto técnico. Recoge las variaciones en las emisiones provocadas por los cambios en la tecnología, *ceteris paribus*. Está relacionado, básicamente, con las siguientes actuaciones: (i) la introducción de tecnologías (técnicas, procesos, formas de organización) más eficientes que reduzcan la cantidad de *inputs* necesarios, (ii) la sustitución de *inputs* por otros menos contaminantes, y (iii) la aplicación de tecnologías reductoras de la contaminación o de tratamiento de los residuos ("*end-of-pipe technologies*").

Con el fin de captar los citados efectos, con mayor o menor grado de desagregación, se han aplicado diversas técnicas de descomposición. La lógica subyacente tras estas técnicas queda reflejada en Ekins (1997: 819). Sintetizando, tenemos que, para un sector económico cualquiera *i*, la relación medio ambiente-venta podría ser expresada como:

$$E_i = a_i y_i \quad (1)$$

donde E_i es el efecto medioambiental del sector *i*, y_i es el *output* del sector y a_i es un coeficiente técnico que recoge la intensidad medioambiental del sector.

El efecto medioambiental total de la producción podría expresarse como:

$$E = \sum E_i = \sum a_i y_i \Rightarrow E = Y \sum a_i \frac{y_i}{Y} = Y \sum a_i s_i \quad (2)$$

donde s_i es el porcentaje del sector *i* en el *output* total e Y es la producción total. Si la ecuación 2 se deriva con respecto al tiempo se obtiene:

$$E' = Y' \sum a_i s_i + Y \sum s_i a_i' + Y \sum a_i s_i' \quad (3)$$

donde E' es dE/dt , etc. Si se divide la ecuación 3 entre $E (= Y \sum a_i s_i)$ y tras algunas manipulaciones se llega a:

$$\hat{E} = \hat{Y} + \sum \frac{e_i}{a_i} a_i' + \sum \frac{e_i}{s_i} s_i' \Rightarrow \hat{E} = \hat{Y} + \sum e_i \hat{a}_i + \sum e_i \hat{s}_i, \quad (4)$$

donde $\hat{E} = \frac{E'}{E}$, $\hat{Y} = \frac{Y'}{Y}$, etc. y $e_i = \frac{E_i}{E}$

Centrándonos en el segundo miembro de la ecuación, el primer término –la tasa porcentual de crecimiento de Y – es el efecto *escala*; el segundo término –la tasa porcentual de cambio del coeficiente técnico a – es el efecto *técnico*; y el tercer término –la tasa porcentual de cambio del peso de los diferentes

sectores en el *output* total s — es el efecto *composición*. De esta forma, dado un incremento en la producción sin cambios ni en la composición sectorial ni en la tecnología, se esperaría un incremento proporcional en sus efectos medioambientales.

Hemos observado en la literatura el uso de, al menos, cuatro tipos de técnicas de descomposición del crecimiento de las emisiones: a) Análisis de descomposición con datos agregados, b) Análisis de descomposición basada en índices (*Index Decomposition Analysis*, IDA), c) Análisis de descomposición estructural (*Structural Decomposition Analysis*, SDA) y d) Análisis de descomposición econométricos.

En rigor, las tres primeras pueden considerarse variantes de una misma técnica cuya racionalidad básica reside en la separación de los diferentes componentes de una identidad con el fin de analizar, desde la estática comparativa, en qué medida la variación de dichos componentes puede haber contribuido al cambio en el indicador seleccionado. De ellas, las que permiten utilizar datos con desagregación sectorial son los IDA y los SDA.

Desde una perspectiva medioambiental, estas técnicas de descomposición se han aplicado, fundamentalmente, a contaminantes atmosféricos derivados de la producción y el uso de energía (en especial, al CO_2 y al SO_2), a la intensidad energética y al consumo de energía, considerando a este último como un indicador representativo del gran número de contaminantes asociados a los procesos de producción y consumo de energía.

Procedemos a referirnos brevemente a cada una de estas técnicas.

La descomposición con datos agregados es la más sencilla que puede llevarse a cabo ya que no incorpora información relativa al comportamiento de los diferentes sectores ni tampoco introduce información específica sobre la combinación de combustibles utilizada, sino que considera las variables agregadas. Como ejemplos, podemos citar la conocida como identidad Kaya (Kaya, 1990) y la descomposición aplicada en la primera parte de su estudio por Proops et ál. (1993)¹. La diferencia entre ambas estriba en que la primera de ellas incluye la población.

Los IDA permiten una descomposición más amplia en la que se incorpora información sectorial. La revisión realizada por Ang y Zhang (2000) recoge las cuestiones más relevantes relacionadas con la selección y clasificación de los métodos IDA. También se pueden encontrar comparaciones entre métodos IDA, aunque menos completas, en Ang (1994) y en Greening et ál. (1997).

Los SDA se caracterizan por utilizar el modelo y los datos *input-output*. Rose y Chen (1991: 3) definieron el SDA como “el análisis del cambio económico por medio de un conjunto de cambios estáticos comparativos en parámetros

¹ En concreto, nos referimos a la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta C}{C} \approx \frac{\Delta(C/E)}{(C/E)} + \frac{\Delta(E/Y)}{(E/Y)} + \frac{\Delta Y}{Y}$$

siendo C las emisiones de CO_2 , E el consumo de energía e Y el PIB.

clave en una tabla *input-output*". Hoekstra y van den Bergh (2002) llevan a cabo una revisión de la literatura sobre la aplicación de los SDA a los flujos físicos en una economía (por ejemplo, emisiones). Estos autores consideran que el marco *input-output* es adecuado para el análisis medioambiental porque es capaz de integrar datos sobre la estructura económica y datos sobre los flujos físicos.

Hoekstra y van den Bergh (2003) realizan un análisis comparativo entre los métodos SDA y los IDA. La ventaja principal de los segundos es que requieren menos datos que los primeros. Sin embargo, los SDA permiten una descomposición más detallada, en la que se incluyen un conjunto de efectos tecnológicos y de la demanda final que no se pueden obtener con los IDA. Además, los SDA permiten captar los efectos indirectos de la demanda.

En cuanto a los análisis de descomposición econométricos, poseen características diferenciadas de los anteriores debido, como su nombre indica, al uso de métodos econométricos para la estimación de los diferentes efectos. El motivo principal por el que se ha recurrido a esta técnica se halla en la escasa disponibilidad de datos medioambientales con el elevado nivel de desagregación que requieren los IDA y los SDA. Otro argumento favorable es que el modelo econométrico, a diferencia de los IDA, permite recoger los rasgos comunes que comparten los países a medida que avanzan en el proceso de desarrollo económico y no únicamente la experiencia individual de cada país (Stern, 2002: 204).

Entre los estudios de descomposición econométricos podemos incluir los siguientes: Panayotou (1997), de Bruyn et ál. (1998) y Stern (2002). Ahora bien, debemos precisar que sólo el estudio de Stern trata de estimar directamente los efectos escala, composición y tecnológico, siendo por ello el único que podría denominarse análisis de descomposición en el sentido más estricto. Los dos trabajos restantes parten de la consideración de estos tres efectos pero no los estiman directamente (al menos no todos) sino que recurren a la inclusión en el modelo de otras variables que pueden explicarlos. Por tanto, recordando lo que exponíamos al comienzo de este epígrafe, no se limitan a estimar los efectos de primer nivel sino que incorporan variables explicativas de segundo nivel.

Es precisamente esta la línea en la que se va a desarrollar nuestro trabajo. Concretamente, debido a nuestro interés en considerar el impacto de las crisis energéticas y del precio de la energía sobre las variaciones en las emisiones, tomaremos como referencia para la descomposición econométrica, que llevaremos a cabo en el siguiente epígrafe, el modelo propuesto por de Bruyn et ál. (1998) ya que es el único de los tres que incorpora la variable "precios de la energía". Por ello, procedemos a describirlo brevemente.

Estos autores aplican un modelo econométrico para descomponer la tasa de crecimiento de tres contaminantes (CO₂, NO_x y SO₂) en Holanda, Alemania Occidental, el Reino Unido y Estados Unidos, considerados individualmente, en intervalos de tiempo entre 1960 y 1993.

Parten de que las emisiones (E) de un país j en un año t pueden expresarse como el producto de la renta (Y) y de la intensidad de las emisiones ($U = E/Y$):

$$E_{j,t} = Y_{j,t} U_{j,t} \quad (5)$$

La ecuación 5 puede ser expresada en tasas de crecimiento:

$$\ln\left(\frac{E_{j,t}}{E_{j,t-1}}\right) = \ln\left(\frac{Y_{j,t}}{Y_{j,t-1}}\right) + \ln\left(\frac{U_{j,t}}{U_{j,t-1}}\right) \quad (6)$$

La tasa de crecimiento de Y representa el efecto escala y los cambios en U_j reflejan cambios en la composición de las actividades económicas, en las tecnologías y en los procesos de sustitución de energía y materiales. Las reducciones en U pueden explicarse por:

- Las “mejoras tecnológicas exógenas”, lo que puede recogerse haciendo U una función del tiempo.
- Los aumentos en los niveles de renta, debido a la I+D y al aumento del peso del sector servicios en el total de la producción. Esto puede modelizarse haciendo U una función del nivel de renta.
- Los aumentos de los precios de los materiales y la energía que conduzcan a un uso más racional de los recursos.

La inclusión de estos argumentos en la ecuación 6 les permite presentar el siguiente modelo:

$$\ln\left(\frac{E_{j,t}}{E_{j,t-1}}\right) = \beta_{0,j} \ln\left(\frac{Y_{j,t}}{Y_{j,t-1}}\right) + \beta_{1,j} + \beta_{2,j} \ln Y_{j,t-1} + \beta_{3,j} \ln\left(\frac{P_{j,t}}{P_{j,t-1}}\right) + e_t \quad (7)$$

donde P es el precio de los *inputs*, que en el estudio al que nos estamos refiriendo es un índice de los precios de la energía.

La ecuación 7 está en una forma reducida puesto que los impactos del efecto técnico, del efecto composición y de las políticas medioambientales deberían ser captados por los coeficientes β_1 , β_2 y β_3 . Estos coeficientes recogerían, por tanto, el “efecto intensidad de uso”.

Considerando nuestro interés en la cuestión, procede recordar que, en relación con la variable “precios de la energía”, de Bruyn et ál. llegaban a la siguiente conclusión: “los precios de la energía, finalmente, resultaron ser no significativos en la mayoría de los casos, con la excepción de las emisiones de SO_2 en el Reino Unido y las emisiones de CO_2 en Estados Unidos. Los coeficientes para el efecto del precio de la energía son bastante bajos en estos dos casos, indicando que un incremento del 1% en los precios de la energía puede resultar sólo en una disminución de como mucho un 0,2% en las emisiones” (Bruyn et ál., 1998: 171).

3. DESCOMPOSICIÓN ECONOMÉTRICA.

3.1. DATOS.

Para la estimación, utilizaremos, a diferencia de de Bruyn et ál., un panel de datos en el que se combinan series temporales y datos de sección cruzada. La muestra de países seleccionada incluye todos los países que formaban parte de la OCDE hasta 1994, excepto Islandia y Luxemburgo. Se trata de los 22 países siguientes: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Italia, Japón, Noruega, Nueva Zelanda, Portugal, Reino Unido, Alemania (se considera la Alemania unificada), Suecia, Suiza y Turquía. El periodo muestral es de 1973 a 1999.

Exponemos a continuación las fuentes de datos que vamos a utilizar.

Los datos del PIB y de la población se han tomado de University of Groningen and the Conference Board (2002). El PIB está expresado en millones de dólares USA de 1990 convertidos a paridades de poder de compra "Geary-Khamis". La población la hemos expresado en miles de personas.

Los datos de emisiones de azufre proceden de las series estimadas por Stern (2003) –posteriormente publicado en Stern (2005)– y las hemos expresado en toneladas métricas de azufre por año.

Las emisiones de CO₂ las hemos calculado multiplicando los datos de emisiones de CO₂ per cápita, proporcionados por el World Resources Institute (2003) bajo el epígrafe "CO₂ (IEA data): Emissions per capita", por los datos de población y las hemos expresado en miles de toneladas métricas.

Para calcular el peso de la energía nuclear sobre el consumo total de energía hemos utilizado: a) los datos del consumo de energía de la International Energy Agency (IEA) proporcionados por el World Resources Institute (2003) bajo el epígrafe "Energy Consumption: Total from all sources"; se refieren a la cantidad total de energía primaria consumida (*Total Primary Energy Supply*, TPES, según las categorías de la IEA) y están expresados en miles de toneladas métricas equivalentes de petróleo y b) los datos de energía nuclear de la IEA proporcionados por el World Resources Institute (2003) bajo el epígrafe "Energy Consumption by Source: Nuclear".

Los datos de los precios del petróleo son de BP (British Petroleum) Stats Review Prices. Están expresados en dólares constantes de 1999. Disponibles en <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/BPCrudeOilPrices.xls> Consulta: 1-4-2003.

3.2. MODELO ECONOMÉTRICO.

Como ya se ha señalado, vamos a utilizar como referencia para el análisis de descomposición econométrico el modelo propuesto por de Bruyn et ál. (1998) que se recogía en la ecuación 7. Consecuentemente, partimos de las mismas variables empleadas por dichos autores (ya comentadas en el epígrafe 2) e incorporamos otras dos variables que consideramos podrían ayudar a

explicar las reducciones en la intensidad de las emisiones U_j ; el crecimiento del peso de la energía nuclear en el consumo total de energía primaria y la densidad de población.

La primera de ellas representa el cambio en la combinación de fuentes de energía utilizadas para el suministro energético y, por tanto, una parte del efecto técnico. Podemos señalar al menos tres razones que nos han conducido a seleccionar el peso de la energía nuclear frente al de otras fuentes energéticas.

En primer lugar, figura el hecho de que los dos países que más redujeron sus emisiones de CO_2 en el periodo 1973-1999 (Suecia y Francia) son los que más peso dieron a la energía nuclear.

En segundo lugar, los trabajos de Roca et ál. (2001) y Roca y Padilla (2003). En ambos se estudian las emisiones de CO_2 por habitante en España para los periodos 1973-1996 en el primer caso y 1980-2000 en el segundo. Según sus resultados, a pesar de que la elasticidad entre el PIB y las emisiones de CO_2 es positiva y superior a la unidad, el aumento del peso de la energía nuclear sería capaz de explicar por qué el aumento de las emisiones totales de CO_2 fue menor que el incremento del PIB en el periodo analizado.

Por último, el análisis de descomposición de los cambios en la intensidad agregada de carbono de la manufactura (emisiones de carbono/PIB) realizado por Greening et ál. (1998). Este trabajo constata que las intensidades de carbono agregadas disminuyeron en el sector manufacturero en 10 países OCDE durante el periodo 1971-1991, cayendo significativamente durante los dos periodos de crisis energéticas de los setenta. Aunque la mayor parte de ese decremento puede atribuirse a reducciones en la intensidad energética, otro factor especialmente influyente es el cambio que se produce en el consumo final de energía hacia un mayor consumo de electricidad, sobre todo cuando esta es de generación hidráulica, nuclear o con biomasa.

Respecto a la segunda de las variables propuestas –la densidad de población–, ya Selden y Song (1994) la introducían como variable explicativa en un modelo econométrico CKA para emisiones atmosféricas, entre ellas las del SO_2 per cápita. Sugerían estos autores que en los países con baja densidad de población habría menos presión para adoptar estándares medioambientales más exigentes.

En ese mismo sentido, Panayotou también incluye la densidad de población en los modelos econométricos que formula para explicar el nivel de SO_2 en el ambiente, indicando sobre ella que “el signo de la densidad de población es ambiguo ya que, por una parte, más personas por kilómetro cuadrado resultaría en mayores emisiones de SO_2 como resultado del uso de carbón y combustibles no comerciales en cocina y calefacción, no totalmente capturados por la escala de la actividad económica formal; por otra parte, los países densamente poblados es probable que estén más preocupados que los menos densamente poblados sobre la reducción del SO_2 para cada nivel de renta” (Panayotou, 1997:472).

En un contexto distinto pero relacionado, Ekins (1997:809) apunta varias razones que pueden explicar el hecho de que las estimaciones del modelo CKA que toman como variable dependiente las emisiones de azufre tengan un punto crítico –nivel de renta a partir del cual comienza la parte descendente de la curva- más elevado que cuando se opta por las concentraciones urbanas de ese contaminante. Entre ellas señala que las concentraciones urbanas pueden ser objeto de mayor atención política debido a que la contaminación urbana afecta a grandes poblaciones y los residentes urbanos suelen tener ingresos por encima de la media, lo que puede traducirse en un poder político también por encima de la media.

Atendiendo a los argumentos expuestos, hemos decidido incorporar la densidad de población en el modelo ya que, para cada nivel de renta, esperamos, en primer lugar, que los países más densamente poblados estén más preocupados por el control de la contaminación que los menos poblados y, en segundo lugar, que de esas mayores concentraciones de población se derive una mayor capacidad de presión política en contextos democráticos.

Ahora bien, la presión que ejerzan los ciudadanos está muy condicionada por los perjuicios que perciban. De este modo, considerando la diferente naturaleza de los dos contaminantes que estudiamos en este trabajo, cabe esperar que sean más las personas que se sienten perjudicadas cuando el contaminante tiene efectos locales directamente perceptibles, como sucede en el caso del azufre, que cuando dichos efectos son globales y recaen fundamentalmente en las futuras generaciones, como ocurre con el CO₂.

Por último, antes de presentar el modelo econométrico, cabe precisar en relación con los precios de la energía que, en tanto que de Bruyn et ál. utilizaban un índice de precios de la energía, en nuestro estudio los representamos con los precios del petróleo. Coincidimos con estos autores en emplear los valores actuales como *proxy* ya que, aunque cabría esperar que fuese un precio pasado el que ejerciese un mayor impacto sobre las emisiones, la inclusión de los valores retardados no mejora drásticamente las estimaciones.

Modelo econométrico

Sintetizando, en el modelo que proponemos explicamos la variación de las emisiones en función de las siguientes variables:

- a) para recoger el efecto escala, utilizamos el crecimiento del PIB por habitante y
- b) para explicar las reducciones en la intensidad de emisiones (U_j), empleamos las siguientes variables:
 - Los avances tecnológicos exógenos, haciendo U función del tiempo.
 - El aumento de los niveles de renta, haciendo U función del nivel de renta.
 - El aumento de los precios de la energía, representados por el precio del petróleo.

- El cambio en la combinación de las fuentes de energía utilizadas, recogido por el crecimiento del peso de la energía nuclear en el consumo total de energía primaria.
- La presión ejercida por los perjudicados para lograr políticas que reduzcan la contaminación, recogida por la densidad de población ya que, dado un nivel de renta, esperamos que en los países más densamente poblados el daño percibido “agregado” sea superior y, además, que los afectados tengan mayor capacidad de presión. Es importante, sin embargo, recordar que, como se ha indicado, el signo esperado para la densidad de población es ambiguo ya que mayor densidad de población puede también suponer un mayor uso de combustibles fósiles que no estarían completamente recogidos en la escala de la actividad económica formal.

Considerando lo expuesto, el modelo que vamos a estimar es el siguiente:

$$d \log E_{j,t} = \beta_{0,j} + \beta_{1,j} d \log PIBH_{j,t} + \beta_{2,j} \log PIBH_{j,t-1} + \beta_{3,j} TCNUEC_{j,t} + \beta_{4,j} \log POBKM_{j,t} + \beta_{5,j} d \log PREOIL_{j,t}$$

siendo, E , las emisiones por cápita: en el caso del CO_2 , la variable E se denominará $CO2H$ y, en el caso del azufre, se denominará SUH ; j el país y t el año; $PIBH$, el PIB per cápita; $POBKM$, la densidad de población; $PREOIL$, los precios del petróleo; $d \log E_{j,t} = \ln E_{j,t} - \ln E_{j,t-1}$; $d \log PIBH_{j,t} = \ln PIBH_{j,t} - \ln PIBH_{j,t-1}$; $d \log PREOIL_{j,t} = \ln PREOIL_{j,t} - \ln PREOIL_{j,t-1}$; $TCNUEC$, variable que toma los siguientes valores: (i) $\ln NUEC_{j,t} - \ln NUEC_{j,t-1}$, cuando $NUEC \neq 0$, siendo $NUEC$ el peso de la energía nuclear sobre el consumo de energía primaria. y (ii) 0, cuando $NUEC = 0$

Basándonos en lo expuesto por de Bruyn et ál. y ampliándolo para considerar las nuevas variables que hemos introducido en el modelo, los parámetros de la ecuación 8 pueden interpretarse del siguiente modo:

- Si β_0 es significativamente menor que cero, las disminuciones en las emisiones debidas a los cambios tecnológicos y estructurales son constantes a lo largo del periodo y se considerarían “cambios tecnológicos exógenos”.
- β_1 recoge la influencia del crecimiento económico. Si $\beta_1 > 0$, el crecimiento económico tiene una influencia directa positiva sobre las emisiones. Si el crecimiento económico promueve directamente políticas medioambientales más estrictas, se espera que β_1 sea negativo. Si el crecimiento económico promueve la aplicación de políticas medioambientales con un retardo temporal, esto se reflejará en un valor negativo para el parámetro β_2 , lo que indica que mayores rentas van acompañadas por mejoras en la calidad medioambiental.
- Si β_2 es significativamente menor que cero, la reducción en la intensidad de las emisiones depende del nivel de renta, lo que puede considerarse

indicativo de procesos de cambio estructural o de esfuerzos en la I+D asociados al incremento de la renta.

- Si β_3 es significativamente menor que cero, el cambio en la combinación de fuentes de energía que representa el aumento del peso de la energía nuclear provoca una reducción del crecimiento de las emisiones.
- Si β_4 es significativamente menor que cero, la mayor densidad de población sería un factor que aumentaría la presión sobre las autoridades para la adopción de medidas contra la contaminación más severas.
- Si β_5 es significativamente menor que cero, los incrementos en los precios de la energía estarían relacionados con la disminución en la intensidad de las emisiones.

3.3. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN PARA EL CO₂.

El resultado de la estimación del modelo, ecuación 8, por MCO para las emisiones de CO₂ se recoge en la Tabla 1 (estimación 1).

TABLA 1: RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES DEL MODELO PARA LAS EMISIONES DE CO₂.

Variable	Estimación 1 MCO	Estimación 2 MCG ponderaciones cross-section	Estimación 3 MCG efectos aleatorios cross-section
C	0.059697 * (3,5969)	0.043611 * (3,5911)	0,057171 * (3,2169)
DLOG(PIBH)	0.659711 * (7,3113)	0.741448 * (10,6114)	0,661173 * (7,3331)
LOG(PIBH(-1))	-0.026018 * (-4,2787)	-0.019945 * (-4,5225)	-0,024174 * (-3,6490)
TCNUEC	-0.033083 * (-4,1593)	-0.026510 * (-5,4313)	-0,032979 * (-4,5225)
LOG(POBKM)	-0.000857 (-0,5891)	-----	-----
DLOG(PREOIL)	-0.004381 (-0,6773)	-----	-----
R ²	0.146760	0.226441	0,137454
Durbin-Watson	2.344558	2.289728	2,368032
Error Estándar	0,051285	0,051035	0,050981

Nota: La variable dependiente es: DLOG(CO₂H); el periodo muestral, 1973-1999, para 22 países.

* significativo al 1%. Entre paréntesis los valores del estadístico t-Student.

Como puede observarse, ni la densidad de población ni la variación en los precios del petróleo son significativas. Este resultado para la densidad de población puede deberse a que el dióxido de carbono es un contaminante sin

efectos locales directos. En cuanto a la no significatividad del crecimiento de los precios del petróleo podría estar reflejando la escasa elasticidad-precio, al menos a corto y medio plazo, del consumo de combustibles fósiles generadores de CO_2 . Debe tenerse en cuenta que un porcentaje elevado de este tipo de emisiones está asociado a actividades, entre ellas el transporte, en las que no es posible la sustitución inmediata de los combustibles utilizados.

Hemos vuelto a estimar por MCO el modelo excluyendo esas dos variables y hemos observado que las restantes siguen siendo significativas. Hemos aplicado el contraste de Bartlett de igualdad de las varianzas (Judge et ál., 1985; Socal y Rohlif, 1995) y se ha rechazado la hipótesis nula, por lo que hemos repetido la estimación incorporando ponderaciones por sección cruzada. El resultado se recoge en la tabla 1 (estimación 2).

En ella se aprecia que el crecimiento del PIB por habitante tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de las emisiones de CO_2 por habitante, al igual que el “progreso técnico exógeno” recogido por C (esto es, β_0).

Por el contrario, operan con signo negativo tanto el crecimiento del peso de la energía nuclear en el suministro energético como los efectos que se derivan de alcanzar niveles de renta por habitante más elevados (por ejemplo, procesos de cambio estructural, esfuerzos en I+D o aplicación de políticas medioambientales).

Finalmente, hemos estimado de nuevo el modelo anterior considerando efectos *cross-section* fijos y aleatorios. Para seleccionar entre los dos tipos de efectos se ha utilizado el test de Hausman, resultando aceptada la hipótesis nula de que los efectos aleatorios están correlacionados. Los resultados de la estimación de la ecuación para el CO_2 con efectos *cross-section* aleatorios se incluye en la tercera columna de la tabla 1 (estimación 3) donde se observa que son similares a los obtenidos con la estimación por MCG aunque empeora ligeramente el ajuste del modelo.

3.4. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN PARA EL AZUFRE.

El resultado de la estimación por MCO del modelo de la ecuación 8 para las emisiones de azufre se recoge en la tabla 2 (estimación 1). Como se puede apreciar, la única variable que no resulta significativa es la variación del peso de la energía nuclear.

Hemos estimado de nuevo el modelo por MCO eliminando esa variable y las restantes continúan siendo significativas. Hemos aplicado el contraste de Bartlett de igualdad de las varianzas y se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad. Por ello, hemos vuelto a estimar el modelo introduciendo ponderaciones por sección cruzada y el resultado obtenido se expone en la tabla 2 (estimación 2). Resultados similares se obtienen si el modelo se estima teniendo en cuenta efectos aleatorios por sección cruzada (preferible al modelo de efectos fijos, según los resultados del test de Hausman).

TABLA 2: RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES DEL MODELO PARA LAS EMISIONES DE AZUFRE (MCO Y MCG).

<i>Variable</i>	<i>Estimación 1 MCO</i>	<i>Estimación 2 MCG ponderaciones cross-section</i>	<i>Estimación 3 MCG efectos aleatorios cross-section</i>
C	0.148426* (4.5465)	0.125798* (4.2841)	0.145233* (3.9025)
<i>DLOG(PIBH)</i>	0.875988* (4.9365)	0.889478* (5.5498)	0.915341* (5.1457)
<i>LOG(PIBH(-1))</i>	-0.086269* (-7.2139)	-0.078916* (-7.2889)	-0.085909* (-6.3053)
<i>TCNUEC</i>	-0.020651 (-1.4408)	-----	-----
<i>LOG(POBKM)</i>	-0.008279* (-2.8950)	-0.009547* (-4.16897)	-0.008435 (-2.4888)
<i>DLOG(PREOIL)</i>	0.063944* (5.0270)	0.046760* (-4.3009)	0.063414 (5.0120)
R ²	0.183286	0.196776	0.180366
Durbin-Watson	1.835965	1.805459	1.834399
Error Estándar	0,100857	0,100635	0.100192

Nota: La variable dependiente es: *DLOG(SUH)*; el periodo muestral, 1973-1999, para 22 países.

* significativo al 1%. Entre paréntesis el valor del estadístico t-Student.

A diferencia de lo que sucedía para el CO₂, las variables que representan la densidad de población y el crecimiento de los precios del petróleo sí son significativas. Procedemos a comentar los signos de sus coeficientes estimados.

El signo del coeficiente de la variable densidad de población es negativo, esto es, una mayor densidad de población se traduce en un menor crecimiento de las emisiones. Como ya se ha sugerido, se esperaba este resultado para el azufre ya que se trata de un contaminante que, además de efectos transfronterizos, tiene efectos locales directos perceptibles sobre las generaciones actuales. Como consecuencia de ello, cabe aguardar que en las zonas más densamente pobladas sea mayor el número de individuos que se sientan directamente perjudicados por las emisiones (esto es, el daño “percibido” agregado sea mayor) y que exijan a las autoridades la adopción de medidas (en contextos democráticos).

En cuanto a los precios del petróleo, el signo positivo del coeficiente estimado implica que un aumento en el crecimiento de los precios del petróleo se traduce en un aumento en el crecimiento de las emisiones de azufre. Podría interpretarse ese efecto positivo como la consecuencia de una sustitución de petróleo por carbón (más emisor de azufre) derivada del incremento del precio del primero. Sin embargo, no ha sido este un fenómeno dominante durante el periodo analizado. Por el contrario, a pesar de las expectativas favorables que generaron las crisis de los setenta en la industria del carbón, su repercusión no fue tan importante como se esperaba. García e Iranzo (1988: 59) citan cuatro razones:

- En primer lugar, las variaciones aleatorias en los precios del petróleo, no justificadas por incrementos en los costes de extracción, limitaron las inversiones que se podrían haber dirigido hacia el sector del carbón.
- En segundo lugar, el cese en la explotación de los yacimientos, especialmente en países de Europa Occidental.
- En tercer lugar, la crisis económica desencadenada por la crisis energética disminuyó la actividad económica y redujo la energía utilizada por unidad de producto, lo que afectó al consumo energético. Además, se produjo el retroceso de algunos sectores productivos que utilizaban grandes cantidades de carbón como, por ejemplo, la siderurgia.
- En cuarto lugar, razones técnicas, económicas y de comodidad hicieron que la sustitución del carbón por otros combustibles resultase irreversible en muchos sectores económicos como, por ejemplo, en los transportes o en los hogares.

Una explicación alternativa del signo positivo reside en el hecho de que, en momentos de incrementos generalizados de los precios de la energía, los principales focos emisores de azufre (por ejemplo, centrales térmicas) pueden decidir la sustitución de carbones con bajo contenido en azufre por otros más baratos pero también más emisores. Este cambio puede realizarse con inmediatez ya que no exige la adaptación de los equipos ni de los procesos de producción.

A tenor de lo expuesto, hemos decidido considerar en el modelo los efectos específicos de las crisis de los setenta introduciendo variables ficticias para los años 1973, 1974, 1979 y 1980 (D73, D74, D79 y D80).

Al introducir las ficticias de "crisis" el resultado ha sido que el crecimiento de los precios del petróleo ha dejado de ser significativo y todas las ficticias tienen signo positivo, como puede observarse en la tabla 3 (estimación 4). Por tanto, la fuerte subida del precio del petróleo en las crisis de los setenta, que produjo un encarecimiento generalizado de los combustibles, pudo traducirse coyunturalmente en un incremento del uso de carbones con mayor contenido en azufre, lo que sería recogido por las variables ficticias para esos años.

Hemos vuelto a estimar el modelo manteniendo las variables ficticias pero eliminando la variable precios. Los resultados figuran en la tabla 3 (estimación 5).

Aunque inicialmente la variable que representa el crecimiento del peso de la energía nuclear sobre el consumo energético (TCNUEC) resultó no significativa, es posible que se debiera a que la variación de los precios del petróleo estaba recogiendo parte de su capacidad explicativa. Por ello, una vez eliminado el crecimiento de los precios del petróleo, hemos incluido de nuevo en el modelo la variable TCNUEC y ha resultado significativa y negativa. Los resultados de esta estimación los recogemos en la tabla 3 (estimación 6).

TABLA 3: RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES MCG DEL MODELO 8 (CON PONDERACIONES CROSS-SECTION)
PARA LAS EMISIONES DE AZUFRE.

Variable	Estimación 4	Estimación 5	Estimación 6
C	0.101555* (3.4452)	0.100460* (3.4301)	0.101263* (3.4679)
DLOG(PIBH)	0.829927* (5.1129)	0.834097* (5.1579)	0.803239* (4.9788)
LOG(PIBH(-1))	-0.071896* (-6.6794)	-0.071645* (-6.6793)	-0.071189* (-6.6519)
TCNUEC	-----	-----	-0.008767* (-2.7963)
LOG(POBKM)	-0.008956* (-3.9792)	-0.008929* (-3.9761)	-0.028248* (-3.9318)
DLOG(PREOIL)	0.006552 (0.3591)	-----	-----
D73	0.052719* (2.6542)	0.054693* (2.8547)	0.062364* (3.2439)
D74	0.041092 (1.4123)	0.048876* (2.6347)	0.053503* (2.8976)
D79	0.095866* (4.1650)	0.100704* (5.4506)	0.098944* (5.3989)
D80	0.057179* (3.0737)	0.057937* (3.1416)	0.057909* (3.1683)
R ²	0.239055	0.239409	0.250977
Durbin-Watson	1.813946	1.781413	1.790537
Error Estándar	0.098872	0.098855	0.098650

Nota: La variable dependiente es: DLOG(SUH); el periodo muestral, 1973-1999, para 22 países.

* significativo al 1%. Entre paréntesis el valor del estadístico t Student.

4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Procedemos a exponer las principales conclusiones obtenidas de la estimación del modelo econométrico, ordenándolas en función de la numeración de los parámetros.

En primer lugar, β_0 es significativamente mayor que cero, esto es, los cambios tecnológicos exógenos (cambios tecnológicos y estructurales constantes y, por tanto, no recogidos en las restantes variables del modelo) provocan incrementos constantes de las emisiones a lo largo del periodo considerado. Este resultado se observa para ambos contaminantes.

En segundo lugar, el coeficiente de la variable PIB por habitante es negativo y significativo para los dos contaminantes. Esto supone que el hecho de alcanzar niveles de renta más elevados daría como resultado actuaciones (como, por ejemplo, un incremento en la I + D o un cambio hacia una estructura productiva menos contaminante) que conducirían a una reducción del crecimiento de las emisiones.

En tercer lugar, el crecimiento del PIB por habitante tiene un coeficiente estimado positivo y significativo en ambos casos.

Por lo tanto, a tenor de los dos resultados anteriores, se produce un “conflicto” entre los efectos reductores que se derivan de alcanzar niveles elevados de PIB y los efectos generadores que van unidos al proceso de crecimiento necesario para llegar a ello. Como consecuencia, es probable que, cuando los ritmos de crecimiento económico son altos, su impacto supere con creces los avances en la disminución de emisiones que puedan estar asociados al hecho de alcanzar mayores niveles de renta.

En cuarto lugar, como cabía esperar, el coeficiente estimado para el crecimiento del peso de la energía nuclear es negativo y significativo para ambos contaminantes. De ello se deduce la importancia de un cambio en las fuentes de energía para reducir las emisiones. Ahora bien, el hecho de haber utilizado en la estimación la energía nuclear nos permite una reflexión adicional. La reducción de emisiones que se ha derivado del incremento del peso de la energía nuclear ha sido el efecto colateral de unos objetivos de política energética pero ello no implica que todas las consecuencias de este tipo de energía sean ambientalmente beneficiosas. Ciertamente, la energía nuclear no emite ni CO_2 ni azufre pero, como es sabido, entraña otro tipo de riesgos medioambientales. De ahí que si el objetivo es reducir la presión global sobre el medio ambiente y no únicamente la ejercida por un contaminante, la política energética debe obedecer a una detallada evaluación y planificación medioambiental de los beneficios y de los riesgos que comporta cada decisión.

En quinto lugar, el coeficiente de la densidad de población no es significativo en el caso del CO_2 , pero es significativamente menor que cero en el del azufre. Por tanto, el resultado es que cuando los efectos perjudiciales son locales y tangibles (azufre) a mayor densidad de población menor crecimiento de las emisiones, relación que no se observa en el caso de un contaminante global cuyos efectos se verterán fundamentalmente sobre las futuras generaciones (CO_2). Como ya se ha comentado, una posible explicación de este resultado sería que, dado un nivel de renta, cuando el daño es local y perceptible la mayor densidad de población se traduce en una mayor presión sobre las autoridades para la adopción de medidas de control más severas.

Por último, el crecimiento de los precios de la energía (representados por los precios del petróleo) no resulta tener un efecto estadísticamente significativo sobre el crecimiento de las emisiones de CO_2 , reflejando su escasa elasticidad-precio (por lo menos a corto medio plazo). Por el contrario, sí tiene efecto, aunque positivo, en el caso del azufre, de forma que un aumento en el crecimiento de los precios se traduce en un aumento en el crecimiento de las emisiones. Ahora bien, hemos comprobado que esta relación positiva se reduce a una respuesta coyuntural a las crisis petrolíferas de los setenta. Como ya se ha comentado, la explicación podría estar en el hecho de que, ante un encarecimiento generalizado de la energía, los grandes focos emisores hubiesen optado por utilizar temporalmente carbones más baratos pero también con mayor contenido de azufre.

Una implicación de interés que se deduce de lo anterior es que una política que incremente el precio de los combustibles fósiles puede o bien no tener efectos sobre las emisiones (al menos a corto-medio plazo) o bien llegar a ser incluso medioambientalmente contraproducente al estimular el uso de combustibles de menor calidad y más emisores. Consecuentemente, resulta arriesgado confiar en que este tipo de políticas reducirán automáticamente las emisiones, poniéndose de manifiesto la necesidad de introducir criterios y objetivos medioambientales en su diseño.

Los resultados obtenidos para los precios de la energía pueden parecer contradictorios con el hecho, apuntado en la introducción, de que las crisis energéticas de los setenta pudieran haber desempeñado un importante papel en la ruptura de la relación creciente entre emisiones y PIB, per cápita, en países OCDE, especialmente en el caso del CO₂. Sin embargo, pensamos que no existe tal contradicción dado que consideramos que las reducciones de este tipo de emisiones fueron más la consecuencia de un “efecto crisis” que de un mero “efecto precios”. Esto es, aventuramos como hipótesis que las caídas observadas en las emisiones de CO₂ tras los choques energéticos de los setenta no habrían sido exclusivamente el resultado de un ajuste del mercado ante un incremento en el precio, sino que serían, fundamentalmente, la consecuencia de las respuestas económicas y energéticas generadas por una crisis de abastecimiento y, en especial, de las estrategias desarrolladas por las autoridades públicas para hacerle frente (medidas de ahorro energético y estímulo a fuentes de energía alternativas).

Esta hipótesis sería compatible con el hecho de que la crisis de 1979 se revele más influyente que la de 1973 en la evolución de la trayectoria PIB-CO₂ en países OCDE. Apoyándonos en García e Iranzo (1988), hemos seleccionado cuatro razones que creemos pueden explicar el efecto más profundo de la crisis de 1979:

- La fuerte rigidez de la demanda de petróleo a corto y medio plazo impidió que la elevación del precio del crudo redujese el consumo, el cual continuó creciendo durante los setenta en plena crisis económica.
- Aunque las consecuencias energéticas del segundo choque no fueron tan graves como las del primero, ya que los países afectados estaban mejor preparados para hacer frente a la situación, sin embargo, la depresión económica fue más aguda que la del periodo 74-76.
- Durante la crisis económica posterior a 1979, se redujo el consumo energético tanto por la caída de la actividad económica como porque disminuyó la energía utilizada por unidad de producto ya que, entre otras razones, las medidas previas de ahorro energético comenzaban a dar resultados.
- El carácter aleatorio de las subidas de los precios de los crudos y su escasa relación con los costes de extracción crearon durante los primeros años incertidumbres sobre la conveniencia tanto de desarrollar nuevas fuentes de energía como de investigar los recursos de las fuentes ya utilizadas.

La contrastación de la hipótesis formulada desborda las pretensiones de este artículo pero, dado su interés para conocer mejor la evolución de la relación emisiones-PIB, pensamos que merece ser abordada en estudios posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ang, B.W. (1994): "Decomposition of Industrial Energy Consumption. The Energy Intensity Approach", *Energy Economics*, 16(3), 163-174.
- Ang, B.W. y Zhang, F.Q. (2000): "A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies", *Energy*, 25, 1149-1176.
- Bruyn, S.M. de; Bergh, J.C. van den y Opschoor, J.B. (1998): "Economic Growth and Emissions: Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves", *Ecological Economics*, 25, 161-175.
- Cancelo, M. T. (2010): "The Relationship between CO₂ and Sulphur Emissions and Income: An Alternative Explanation to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *Applied Econometrics and International Development*, 10 (1).
- Díaz-Vázquez, M.R. (2009): "The Dissociation between Emissions and Economic Growth: The Role of Shocks Exogenous to the Environmental Kuznets Curve Model", *Applied Econometrics and International Development*, 9 (2).
- Díaz-Vázquez, M.R. y Cancelo, M.T. (2008): "Desarrollo sostenible y medio ambiente: descomposición de las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ y azufre 1973-99 en los países de la OCDE", *Estudios Económicos de Desarrollo internacional*, 8 (1).
- Díaz-Vázquez, M.R. y Cancelo, M.T. (2009): "Emisiones de CO₂ y azufre y crecimiento económico: ¿Una curva de Kuznets ambiental?", *Regional and Sectoral Economic Studies*, 9 (2).
- Ekins, P. (1997): "The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence", *Environment and Planning A*, 29, 805-830.
- García Alonso, J.M. e Irazo Martín, J.E (1988): *La energía en la economía mundial y en España*, Ed. AC, Madrid.
- Greening, L. A.; Davis, W.B.; Schipper, L. y Khrushch, M. (1997): "Comparison of Six Decomposition Methods: Application to Aggregate Energy Intensity for Manufacturing in 10 OECD Countries", *Energy Economics*, 19, 375-390.
- Greening, L. A.; Davis, W.B. y Schipper, L. (1998): "Decomposition of Aggregate Carbon Intensity for the Manufacturing Sector: Comparison of Declining Trends from 10 OECD Countries for the Period 1971-1991", *Energy Economics*, 20 (1), 43-65.

- Grossman, G. y Krueger, A. (1991): "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", Working paper n° 3914, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, noviembre.
- Hoekstra, R. y van den Bergh, J.C.J.M. (2002): "Structural decomposition analysis of physical flows in the economy", *Environmental and Resource Economics*, 23, 357-378.
- Hoekstra, R. y van den Bergh, J.C.J.M. (2003): "Comparing Structural and Index Decomposition Analysis", *Energy Economics*, 25, 39-64.
- Judge, G.G.; Griffiths, W.E.; Hill, R.C.; Lütkepohl, H; y Lee, T.C. (1985): *The Theory and Practice of Econometrics*, John Wiley & Sons (2ª ed.).
- Kaya, Y. (1990): "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GDP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios", comunicación presentada al IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, París.
- Marland, G.; Boden, T.A. y Andrés, R.J. (2002): "Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ emissions", en VV.AA (2002): *Trends: A Compendium of data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center. Disponible online en: http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.htm (Consulta: 3-12-2002).
- Moomaw, W.R. y Unruh, G.C. (1997): "Are Environmental Kuznets Curve Misleading Us? The Case of CO₂ Emissions", *Environment and Development Economics*, 2, 451-463.
- Panayotou, T. (1997): "Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool", *Environment and Development Economics*, 2, 465-484.
- Proops, J.L.R.; Faber, M. y Wagenhals, G. (1993): *Reducing CO₂ Emissions. A Comparative Input-Output Study for Germany and the UK*, Springer-Verlag, Berlín.
- Roca, J.; Padilla, E.; Farré, M.; y Galletto, V. (2001): "Economic Growth and Atmospheric Pollution in Spain: Discussing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *Ecological Economics*, 39, 85-99.
- Roca, J. y Padilla, E. (2003): "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España: la curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto", *Economía Industrial*, 351, 73-86.
- Rose, A. y Chen, C. Y. (1991): "Sources of Change in Energy Use in the US Economy, 1972-1982: A Structural Decomposition Analysis", *Resources and Energy*, 13, 1-21.
- Selden, T. y Song, D. (1994): "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 147-162.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. (1995): *Biometry*, W.H. Freeman.

- Stern, D.I. y Common, M.S. (2001): "Is There an Environmental Kuznets Curve for Sulfur?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 41, 162-178.
- Stern D.I. (2002): "Explaining Changes in Global Sulfur Emissions: An Econometric Decomposition Approach", *Ecological Economics*, 42, 201-220.
- Stern, D.I. (2003): "Global Sulfur Emissions in the 1990s", Working Paper, Department of Economics, Rensselaer Polytechnic Institute, Nueva York. Disponible online en: <http://www.rpi.edu/~sternd/datasite.html> (Consulta: 23-9-2003).
- Stern, D.I. (2005): "Global Sulfur Emissions from 1850 to 2000", *Chemosphere*, 58, 163-175.
- University of Groningen and the Conference Board (2002): *GGDC Total Economy Database*. Disponible online en: <http://www.eco.rug.nl/ggdc> (Consulta: 5-12-2002).
- Vogel, M.P. (1999): *Environmental Kuznets Curves. A Study on the Economic Theory and Political Economy of Environmental Quality Improvements in the Course of Economic Growth*, Springer, Berlín.
- World Resources Institute (2003): *Earthtrends*, World Resources Institute. Disponible online en: <http://earthtrends.wri.org/text/> (Consulta: 19-11-2003).