

## **DETERMINANTES DEL CRECIMIENTO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ESPAÑA (1990-2007)**

VICENT ALCÁNTARA ESCOLANO / EMILIO PADILLA ROSA<sup>1</sup>  
Universidad Autónoma de Barcelona

*Recibido:* 20 de noviembre de 2009

*Aceptado:* 24 de marzo de 2010

---

**Resumen:** La evolución de los gases de efecto invernadero en España se está distanciando notablemente del objetivo marcado por el Protocolo de Kyoto. En el presente trabajo se analizan los diferentes factores que han contribuido al importante aumento experimentado en las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del consumo de energía en España en el período 1990-2007. La metodología de descomposición factorial utilizada permite hacer una distribución exacta (sin residuos) de la variación de emisiones en diferentes efectos (efecto carbonización, efecto transformación, efecto intensidad y efecto escala). Los resultados muestran claramente que el efecto escala –la variación en el nivel de producción– ha sido determinante en explicar el aumento de emisiones, mientras que la contribución de los otros efectos, que deberían ser los que cambiarían la tendencia de crecimiento de emisiones, no ha permitido moderar su aumento. Una contribución especialmente negativa es la atribuible al efecto intensidad, que refleja la variación en la intensidad energética final del PIB, ya que incluso habría contribuido a aumentar las emisiones. En sentido opuesto, el efecto transformación –el impacto atribuible a la transformación energética– habría contribuido a moderar el aumento de las emisiones totales. El trabajo discute las implicaciones de los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** Descomposición factorial / Eficiencia energética / Gases de efecto invernadero / Intensidad energética / Índice de carbonización / Transformación energética.

### **DETERMINANTS OF GREENHOUSE GASES EMISSION GROWTH IN SPAIN (1990-2007)**

**Abstract:** The growth of greenhouse gas emissions in Spain is far larger than the Kyoto Protocol target. This paper analyses the different factors that have contributed to the important increase in energy greenhouse gas emissions in Spain during 1990-2007. The factorial decomposition methodology used allows a perfect distribution (without residuals) of the change in emissions into different effects (carbonisation effect, transformation effect, intensity effect and scale effect). The results clearly show that the scale effect –the change in production level– has been determinant in explaining emission increase, while the contribution of the other effects, which should be the ones that changed the growth trend of emission, has not moderated this increase. A remarkable negative contribution is the one attributable to the intensity effect, which indicates the change in the final energy intensity of GDP, as it had even contributed to increase emissions. The transformation effect, the impact attributable to energy transformation, would have contributed to moderate total emission increase. The paper discusses the implications of the results.

**Keywords:** Carbonisation index / Energy efficiency / Energy intensity / Energy transformation / Factorial decomposition / Greenhouse gases.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

La evidencia científica sobre la intensificación del efecto invernadero y el cambio climático resultante, así como sobre la contribución de la actividad humana al

---

<sup>1</sup> Los autores agradecen el apoyo de los proyectos ECO2009-10003 (Ministerio de Ciencia e Innovación), 2009SGR-600 y XREPP (DGR).

proceso, es cada vez más evidente, tal y como señala el cuarto informe del IPCC (2007a). Según este informe, la temperatura habría aumentado 0,74°C entre los años 1906 y 2005; el aumento habría sido de alrededor de 1°C en los últimos 10.000 años y se habría acelerado a un ritmo de 0,15°C por década a finales del siglo XX. Por otro lado, se prevé que aumente entre 1,1°C y 6,4°C a lo largo del siglo XXI (entre los períodos 1980-1999 y 2090-2099), lo que representaría un cambio rápido y profundo. Por lo que respecta al aumento del nivel del mar, se estima que aumentará entre 18 y 59 cm a lo largo del siglo XXI (en el siglo XX el aumento habría sido de 17 cm). El cambio climático asociado a este calentamiento implicará importantes impactos negativos sobre la naturaleza y la economía (IPCC, 2007b; Stern, 2007). Dentro del contexto europeo, España será uno de los países que sufrirán con mayor intensidad los impactos negativos asociados al cambio climático (Moreno, 2005; Martín *et al.*, 2007).

El fuerte aumento experimentado en las emisiones de CO<sub>2</sub> y, como consecuencia, en la concentración de este gas en la atmósfera –el más importante de los gases de efecto invernadero (GEI)– se debe principalmente a las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles para la obtención de la energía requerida por los procesos industriales, así como por la expansión en el uso del transporte privado por carretera. En este aumento también ha tenido un papel relevante la deforestación (eliminación de los sumideros naturales de carbono).

La creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), acordada en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, representó el primer acuerdo internacional que reconoció la importancia del problema y la necesidad de buscar soluciones<sup>2</sup>. En el año 1997 los Gobiernos participantes en la CMNUCC llegaron al primer compromiso concreto de limitación de emisiones: el Protocolo de Kyoto, que comprometía a los países industrializados (anexo I de dicho Protocolo), incluyendo a los países en transición hacia una economía de mercado, a limitar sus emisiones de GEI a las cantidades atribuidas a ellos y consignadas para ellos en el anexo B del Protocolo. Como se señala en el artículo 3 del Protocolo, la limitación de emisiones se hacía con miras a reducir el total de sus emisiones de GEI<sup>3</sup> hasta un nivel inferior al del año 1990 en no menos de un 5% dentro del período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012 (lo que, una vez hecho el reparto entre países, se traducía en un 5,2%). Los gases que se contemplan son los seis siguientes: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

<sup>2</sup> En concreto, el objetivo marcado por la CMNUCC era “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”.

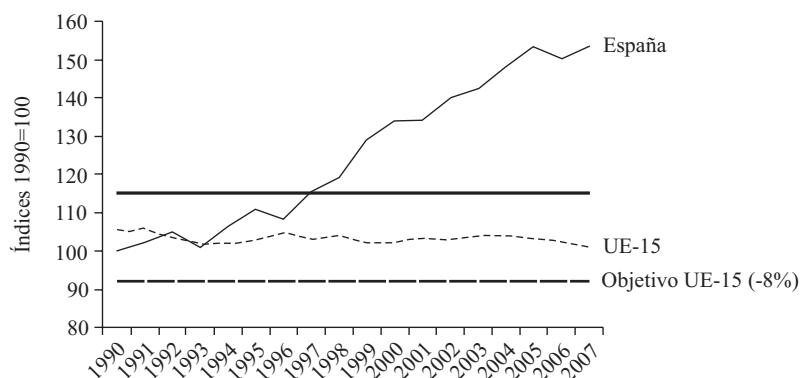
<sup>3</sup> Emisiones medidas en toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>-eq, en adelante), empleando los factores de conversión del IPCC.

La Unión Europea (UE), aprovechando las posibilidades de aplicación flexible del Protocolo, estableció para sus países miembros un reparto de cargas, para cumplir el compromiso, que implicaba una reducción conjunta del 8% respecto de los niveles del año 1990 para los seis gases que acabamos de señalar. Para España, el Acuerdo de la Presidencia del Consejo de Medio Ambiente del mes de junio del año 1998 permitía un incremento de las emisiones del 15% respecto de los niveles del año 1990. Sin embargo, la evolución de las emisiones de GEI en España se ha distanciado notablemente del objetivo marcado.

En el año 2007 las emisiones en España de los seis gases considerados por el Protocolo fueron superiores en un 53,5% a las del año 1990, si atendemos a la información que proporciona la misma CMNUCC (2009), lo que nos aleja considerablemente de los objetivos a alcanzar en el período 2008-2012. Esto supone un incremento medio anual del 2,6%. Un 2,8% en el caso del CO<sub>2</sub> y un 1,4% en el del conjunto del resto de gases. Frente a esta situación, los países de la UE-15, como un todo, disminuyeron sus emisiones con respecto a las del año 1990 en un 4,3%.

El gráfico 1 muestra claramente el progresivo distanciamiento de España con respecto al objetivo a cumplir dentro del período 2008-2012.

**Gráfico 1.-** Emisiones de GEI en España y en la UE-15 y objetivos del Protocolo de Kyoto



FUENTE: CMNUCC (2009) y elaboración propia.

¿Qué factores explican este comportamiento tan negativo de la evolución de las emisiones contaminantes en España? En las páginas que siguen analizaremos las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq procedentes del consumo de energía. Mostraremos cómo la evolución de estas emisiones puede ser explicada considerando los cambios en el uso de energía primaria en la generación de energía final –que tiene una importancia crucial tanto desde una óptica económica como ecológica–, el contenido de carbono de esa energía primaria, el uso de energía final por unidad de producto y la dinámica de la actividad productiva entre los años 1990 y 2007. Utilizaremos para

ello una metodología de descomposición factorial que nos permitirá hacer un primer diagnóstico de la relación que existe entre variables económicas, tecnológicas y la emisión de GEI, así como determinar el grado de responsabilidad de los factores considerados en el importante aumento de emisiones experimentado en el período analizado. Para ello, en el siguiente apartado se describe nuestra propuesta metodológica. En el apartado 3 se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de esta y se aborda su discusión. Por último, en el apartado 4 se recogen las conclusiones que cierran el presente trabajo.

## 2. METODOLOGÍA

El punto de partida de nuestro trabajo es la siguiente identidad de tipo IPAT<sup>4</sup>:

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{EF(t)} \times \frac{EF(t)}{Y(t)} \times Y(t) \quad (1)$$

en la que  $C$  son las emisiones de GEI procedentes del consumo de energía en millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq (Mt);  $EP$  es el consumo de energía primaria, medido en miles de toneladas equivalentes de petróleo (ktep);  $EF$  es el consumo de energía final, medido también en ktep;  $Y(t)$  es la producción, medida como el valor añadido bruto a precios básicos en miles de millones de euros constantes del año 2000; y  $t$  es un año cualquiera.

La expresión anterior, que no es más que una versión modificada de la conocida identidad de Kaya (1989)<sup>5</sup>, nos dice que las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq dependen de las emisiones por unidad de energía primaria utilizada ( $C/EP$ ), un indicador de carbonización de los consumos energéticos<sup>6</sup>; del consumo de energía primaria por unidad de energía final ( $EP/EF$ ), un indicador agregado de la eficiencia en los proce-

<sup>4</sup> Las descomposiciones tipo IPAT parten de una identidad que expresa una variable de impacto ambiental como producto de otras variables. Al tratarse de una identidad, lo que da sentido al análisis es la descomposición del crecimiento de la variable explicada en función del cambio de las otras variables explicativas. En concreto, la identidad IPAT hace depender el impacto ambiental de la tecnología, la afluencia de bienes a la sociedad y la población como factor de escala. No obstante, se conocen como identidades tipo IPAT todas aquellas dirigidas al análisis ambiental que tienen en cuenta algunos factores de tipo tecnológico y de impacto unitario y un factor de escala, normalmente la producción. Para más detalles y discusiones, véanse Commoner (1995) y Roca (2002).

<sup>5</sup> En concreto, en nuestro caso dividimos el factor intensidad de energía primaria del PIB ( $EP/Y$ ) de la identidad de Kaya en los factores de transformación e intensidad de energía final del PIB ( $(EP/EF) * (EF/Y)$ ), mientras que agregamos los factores afluencia y población de la identidad de Kaya ( $(Y/POB) * POB$ ) en el factor escala del PIB. Véase una aplicación de la identidad de Kaya para el análisis de las emisiones mundiales en Alcántara y Padilla (2005). Otros análisis de las emisiones de España mediante otras variantes de la identidad Kaya pueden encontrarse en Alcántara (2009a) o en Alcántara (2009b), donde se analizan la emisión de los sectores industriales.

<sup>6</sup> De forma general, el concepto carbonización se utiliza para referirse al cociente entre emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de energía primaria. Otros autores se refieren al cociente entre este gas y el PIB, aunque nosotros preferimos referirnos a esta relación como intensidad de emisión del PIB. Para no extendernos con esta cuestión, el lector interesado puede consultar Ang, (1999), Mielnik y Goldemberg (1999), Sun (1999) y Roca y Alcántara (2001, 2002).

sos de transformación en el sector energético<sup>7</sup>; de que se tenga en cuenta de alguna manera el papel de la tecnología; de la intensidad energética final ( $EF/Y$ ), que muestra el uso más o menos eficaz con que los agentes económicos utilizan la energía final para generar valor añadido y de un factor de escala, que viene dado por la magnitud del PIB en el período en cuestión ( $Y$ ).

A partir de la expresión (1), es posible descomponer la evolución de las emisiones de  $CO_2$ -eq a lo largo del tiempo atendiendo a cada uno de los factores que conforman esa expresión, de tal manera que:

$$E = EC + ET + EI + EE \quad (2)$$

donde  $E$  –el *efecto total*– es la variación total en un período de tiempo, digamos  $(0, t)$ ;  $EC$  –el *efecto carbonización*– proporciona la variación de las emisiones que corresponden al cambio en este factor;  $ET$  –el *efecto transformación*– muestra la variación explicada por la mayor o menor utilización de energía primaria en el sector energético;  $EI$  –el *efecto intensidad*– muestra la variación en la intensidad de energía final del PIB; y, por último,  $EE$  –el *efecto escala*– indica la variación del PIB a precios constantes.

Como señala Ang (1999), lejos de ser un problema nuevo, la descomposición de una variable en efectos explicativos es similar al problema de los números índices en economía. El problema ya se planteaba en Törnqvist (1935) y fue retomado más adelante en Törnqvist *et al.* (1985), presentando cuestiones relativas a problemas ajenos al análisis energético y a los impactos ambientales. Desde los primeros años de la década de los ochenta, la descomposición en factores se desarrolló ampliamente en el análisis de la demanda industrial de energía. Más recientemente se han desarrollado técnicas analíticas de descomposición desde distintos enfoques para disponer de instrumentos de diagnóstico en el análisis del consumo de energía, de la contaminación y de las emisiones de  $CO_2$  en particular. En términos metodológicos, la técnica analítica sería equivalente a un problema de análisis de números índices y no sería comparable a instrumentales más potentes como, por ejemplo, el análisis de descomposición estructural input-output. Ang y Zhang (2000) hacen una buena síntesis de los métodos de descomposición y recogen abundantes referencias de las propuestas de otros autores.

Con el fin de simplificar las expresiones, reescribimos los factores explicativos del siguiente modo:

$$c_t \equiv \frac{C(t)}{EP(t)}; f_t = \frac{EP(t)}{EF(t)}; e_t = \frac{EF(t)}{Y(t)}; Y_t \quad (3)$$

---

<sup>7</sup> Este factor, introducido por Hamilton y Turton (2002), pretende captar la importancia del consumo energético primario en la obtención de energía final, de forma muy particular en el sector eléctrico.

con lo que la expresión (1) puede reescribirse como sigue:

$$C_t = c_t \times f_t \times e_t \times Y_t \quad (4)$$

El incremento anual total de las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq ( $C_t$ ) se puede descomponer de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \Delta C_t = & L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{c_t}{c_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{f_t}{f_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{e_t}{e_{t-1}} + \\ & + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} \end{aligned} \quad (5)$$

en la que:

$$L(C_t, C_{t-1}) = \frac{C_t - C_{t-1}}{\ln(C_t, C_{t-1})} \quad (6)$$

es un factor de ponderación que garantiza una descomposición aditiva exacta, esto es, sin residuos, siguiendo la propuesta de Alcántara y López (1996). La descomposición planteada no es más que la asignación de la parte de la variación atribuible a cada factor atendiendo al peso que su tasa de crecimiento instantáneo tiene sobre la de las emisiones totales.

En (5),

$$\begin{aligned} E &= \Delta C_t \\ EC &= L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{c_t}{c_{t-1}} \\ ET &= L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{f_t}{f_{t-1}} \\ EI &= L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{e_t}{e_{t-1}} \\ EE &= L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} \end{aligned} \quad (7)$$

Siendo  $t=0$  el año que tomamos como base (en el texto, el año 1990), la variación acumulada entre 0 y  $T$  de las emisiones debidas a un factor cualquiera  $F$ ,  $C(F)_T$  vendría dada por la siguiente expresión:

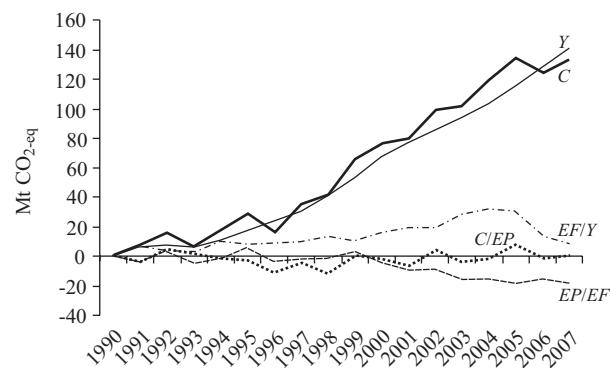
$$C(F)_T = \sum_0^T \Delta C(F)_t \quad (8)$$

### 3. APPLICACIÓN Y RESULTADOS

Para el cálculo de la expresión (5) hemos contado con la información estadística proporcionada por el Eurostat (2009) por lo que respecta a la energía, con las series homogéneas de la base de datos AMECO de la Comisión Europea (2009) para el PIB y con los datos de las emisiones totales de GEI ofrecidos por la CMNUCC (2009). Dado que lo que se pretende en este trabajo es analizar la contribución a la intensificación del efecto invernadero asociada el consumo energético, se han considerado únicamente las emisiones de  $\text{CO}_{2\text{-eq}}$  procedentes del consumo de energía.

En el gráfico 2 se muestra la evolución de la emisión total, así como la de los distintos componentes que la conforman, a partir de los datos obtenidos con la aplicación de la expresión (5) y acumulados sobre el año base (1990), de acuerdo con la expresión (8). Los resultados del cálculo de las expresiones (5) y (8) se recogen en el anexo.

**Gráfico 2.-** Variación acumulada de emisiones por factores explicativos



FUENTES: CMNUCC (2009), Comisión Europea (2009), Eurostat (2009) y elaboración propia.

Observando el gráfico podemos comparar la evolución de las emisiones reales con las que podríamos denominar “teóricas” o “tendenciales”, esto es, con las que se habrían producido por el efecto escala (PIB) si nada hubiera cambiado desde el año 1990 excepto la escala de la producción. Es ostensible que el crecimiento de las emisiones reales de GEI fue mayor que el aumento de las emisiones tendenciales que marcaría el crecimiento de la producción. Este comportamiento es evidente hasta el año 2005 y muy particularmente entre los años 1999 y 2005. Esto significa que el comportamiento del resto de factores, que son los que en principio se esperaría que condujeran a la reducción o al ahorro de emisiones, no ha tenido una repercusión capaz de anular –ni tan siquiera de moderar– la tendencia creciente de las emisiones determinada por el crecimiento de la economía.

En efecto, si tenemos en cuenta que se estarían “ahorriendo” emisiones, por decirlo de alguna manera, siempre que el incremento de emisiones reales fuera menor que el aumento de las emisiones teóricas, tal y como las hemos definido antes, no parece que a lo largo del período considerado este haya sido el caso. El importante crecimiento económico experimentado en el período habría implicado un importante aumento de emisiones que no se habría contrarrestado con otros factores tecnológicos o económicos. Queda claro que no se habría producido un cambio en la relación positiva entre crecimiento económico y aumento de emisiones como el previsto por la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental<sup>8</sup>.

No obstante, para el conjunto del período sí que se ha dado un ligero ahorro de emisiones –aunque mínimo– por las razones que después expondremos: nótese que las emisiones acumuladas hasta el año 2007 son ligeramente inferiores a las que se habrían dado de seguir la senda del crecimiento del PIB. Si atendemos a la información sobre emisiones acumuladas que se da en el anexo, el incremento de las emisiones reales sobre el año 1990 –año base para el objetivo del Protocolo de Kyoto– fue de 132,9 Mt de CO<sub>2</sub>-eq, mientras que el aumento inducido por el efecto escala fue de 141,6 Mt de CO<sub>2</sub>-eq. Una diferencia muy poco significativa, teniendo en cuenta nuestro gran distanciamiento con respecto al objetivo marcado del Protocolo de Kyoto.

Pasemos a considerar el resto de factores explicativos del crecimiento de las emisiones. Con el fin de interpretar los resultados que se muestran en el gráfico 2, hemos elaborado la tabla 1, donde se muestra la repercusión que los distintos efectos tuvieron en el crecimiento de las emisiones totales.

**Tabla 1.-** Contribución de los distintos efectos explicativos de las emisiones de GEI (%) de incremento de las emisiones sobre el año base)

	<i>C/EP</i>	<i>EP/EF</i>	<i>EF/Y</i>	<i>Y</i>	<i>C</i>
1995	-1,3	2,6	3,8	8,2	13,3
2000	-0,9	-2,1	7,5	31,7	36,2
2005	3,3	-8,7	14,8	54,1	63,5
2007	0,0	-8,3	4,3	66,7	62,6

FUENTE: Elaboración propia (véase texto).

Por lo que respecta al efecto carbonización, este ha permanecido más o menos estable a lo largo de todos los años, con una incidencia pequeña sobre la evolución de las emisiones, siendo casi nula para el conjunto del período considerado. Se dan pequeñas variaciones anuales en uno u otro sentido, que tienen que ver con cambios en el *mix* energético (en algunos casos debido a pequeñas variaciones puntuales).

<sup>8</sup> Se pueden encontrar revisiones sobre la literatura sobre la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental en Ekins (1997), Stern (2003), Stern *et al.* (1996), Roca *et al.* (2001) o en Roca y Padilla (2003), quienes también analizan la hipótesis para el caso español, y que coinciden en señalar que no se produce tal desvinculación entre el crecimiento de la producción y las emisiones.

les en el uso de carbón y de otros combustibles). No parece, por lo tanto, que los cambios en el *mix* energético hayan llevado a ningún ahorro de emisiones por el lado de unos menores índices de carbonización. El importante crecimiento –en términos relativos– en el uso de energías renovables habría sido insuficiente para cambiar esa relación, dada la persistencia del uso de combustibles fósiles y el estancamiento en la generación de electricidad en las centrales nucleares.

La única contribución claramente favorable desde una perspectiva ambiental es la del efecto transformación, que a partir del año 2000 hizo una aportación negativa continuada al aumento de las emisiones. Este indicador, importante sobre todo desde la perspectiva de la energía eléctrica, experimentó descensos importantes, como muestran los datos de la primera parte del anexo. Claramente, se ha dado una mejora en la transformación de energía primaria en energía final. Esta mejora, en principio, refleja una mayor eficiencia media en los procesos de transformación de energía primaria en final. No obstante, esto puede deberse tanto a la mejora de los diferentes procesos de transformación como a un cambio en el *mix* energético, dado que la transformación de algunos tipos de energía primaria en energía final resulta más eficiente que la de otras<sup>9</sup>. Abordar un análisis detallado de este comportamiento no cabe en el trabajo desarrollado en estas páginas. No obstante, queremos dejar aquí constancia de la necesidad de un análisis en mayor profundidad del tema.

Con respecto a la intensidad energética final, este efecto ha contribuido de forma importante al aumento de las emisiones a lo largo del período, siendo su contribución acumulada positiva para todos los años del período. En el gráfico 2 se puede apreciar un importante crecimiento de este efecto en el período 1999-2004, siendo casi nula su contribución a la variación de emisiones entre los años 2004 y 2005. Hasta el año 2004, la contribución del efecto intensidad energética final al crecimiento total de las emisiones con respecto al año 1990 fue del 26,88%. Más de una cuarta parte del total de la variación de emisiones hasta ese año se explicaría por el efecto intensidad energética final. El efecto reforzaría la contribución –también siempre positiva– del efecto escala.

Parece claro que para la mayor parte del período considerado los esfuerzos desde la perspectiva de la eficiencia en el uso de la energía final han sido prácticamente nulos o ineffectivos. No obstante, en el año 2006 se produjo un descenso muy importante de la intensidad energética final –cerca de un 5%–, lo que contribuyó a una mejora del comportamiento de dicho efecto. Esto se tradujo en una importante contribución al descenso o, mejor dicho, a moderar el aumento de las emisiones de ese año. Si atendemos a la información de la primera parte del anexo, el ahorro teórico de emisiones atribuible al comportamiento de esta variable en el año 2006 ascendió a 17,67 Mt de CO<sub>2</sub>-eq, algo realmente sorprendente, que se explica por el extraordinario descenso de la intensidad energética final del 5% en un solo año, como

<sup>9</sup> En algunos casos esto puede ser el resultado de las convenciones contables para obtener el equivalente en energía primaria de algunas fuentes de electricidad: mientras que en el caso de la hidroelectricidad se contabiliza por la energía eléctrica generada, en el caso de la energía nuclear se contabiliza por el calor generado en el proceso (mucho mayor a la electricidad finalmente generada).

hemos señalado anteriormente. La contribución negativa al aumento de emisiones del efecto continuó, aunque con menor intensidad, en el año 2007. Como resultado, al final del período el impacto de este efecto sobre la variación de emisiones con respecto al año base es mucho menor que el de los años 2004 o 2005, aunque sigue siendo positivo, y explica un 6,85% del total del aumento de las emisiones en el período. Está por ver si la reducción en la intensidad energética final de los últimos años se trata de algo coyuntural o si, por el contrario, asistimos a un cambio estructural.

En la interpretación de los resultados también conviene tener en cuenta que los cambios en la intensidad energética final, tal y como se ha definido en el presente ejercicio, pueden deberse tanto a mejoras en la eficiencia energética como a cambios en la estructura productiva (cambio en el peso de diferentes sectores más o menos intensivos en el uso de energía final). En este sentido, un análisis que diferenciara ambos factores proporcionaría una medida más correcta de los cambios en la eficiencia del uso final de energía.

#### 4. CONCLUSIONES

Siendo España el país industrializado en el que más han aumentado las emisiones desde el año 1990 –año de referencia para el cumplimiento del Protocolo–, es conveniente analizar los factores que explican un comportamiento tan negativo de cara a orientar y evaluar las políticas de cambio climático. El análisis de descomposición de factores –con la aplicación de una metodología que nos ha permitido asignar de forma exacta la variación total a los diferentes efectos considerados– nos permite obtener algunas conclusiones a este respecto.

Los resultados obtenidos muestran claramente que durante el período considerado las emisiones han sido determinadas fundamentalmente por el crecimiento económico, sin que se haya producido el cambio en la relación entre producción y degradación ambiental postulado por la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental. Desde luego, no parece que se pueda esperar a que sea el crecimiento por sí mismo el que nos traiga la reducción de emisiones de GEI, teniendo en cuenta que con los elevados niveles de renta *per cápita* actuales aún no se ha producido la desvinculación entre estas emisiones y el crecimiento económico. De hecho, viendo la ineeficacia que han mostrado las medidas de política energética y ambiental para incidir de forma relevante sobre los otros factores, parece que la forma más factible para reducir las emisiones en el corto plazo sería una contracción de la producción, como parece mostrar la reciente reducción en el año 2008 de un 6,5% (Santamaría y Serrano, 2009) de las emisiones de GEI como consecuencia de la actual crisis económica (y, quizás, también del fuerte aumento en el precio del petróleo experimentado ese año).

El comportamiento en los otros efectos nos puede indicar por qué el crecimiento económico en España continúa tan ligado a mayores emisiones de GEI. Las distin-

tas políticas ambientales y energéticas serían las que deberían llevar al ahorro de emisiones que cabría esperar de estos efectos. No obstante, estas políticas no parecen haber obtenido los resultados esperados. Es el caso del efecto carbonización, que no ha permitido evitar ni tan siquiera una tonelada de las emisiones generadas por el crecimiento económico. Las políticas de fomento de energías renovables habrían sido insuficientes para conseguir una reducción del índice de carbonización. No obstante, esto no quiere decir que estas políticas no hayan contribuido a reducir las emisiones que se habrían dado en su ausencia. Hay que tener en cuenta que, al darse aumentos importantes en la generación de electricidad, la contribución porcentual de las centrales nucleares disminuye, con lo que, si no se dieran cambios en las aportaciones relativas del resto de las fuentes energéticas, como es el caso, la contribución del efecto carbonización habría sido peor. En este sentido, un elemento positivo muy destacable, resultado de las políticas aplicadas en el sector en años precedentes, es el fuerte aumento experimentado en la generación de electricidad mediante energía eólica (que en el último año del período representó un 8,7% de la generación de electricidad) y que de hecho permitió reducir de forma importante el aumento de las emisiones. No obstante, los planes del Gobierno de fomentar el uso de carbón autóctono (muy contaminante) en la generación de electricidad, obligando a nueve centrales a quemar ese carbón hasta el año 2012, bajo el argumento de que es “estratégico” desde el punto de vista energético, carece de justificación económica y ambiental y va a hacer muy difícil que la contribución del efecto carbonización mejore mucho en el futuro próximo, aún en el caso de que se cumplan los planes con respecto a las renovables. Tampoco parece ayudar demasiado que este apoyo público sea a costa de las futuras ayudas a la energía solar, dado que la incertidumbre sobre el mantenimiento y la magnitud de las primas puede frenar las inversiones en el sector (lo que, a su vez, puede dificultar la esperada reducción de costes en él, que facilitaría la futura reducción de las primas sin frenar al sector).

Más relevante ha sido la incidencia de los efectos asociados a la transformación y a la intensidad energética final. Estos efectos han actuado en sentido contrario a lo largo del período, lo que refuerza la relevancia de la variante de la identidad de Kaya aplicada en nuestro trabajo. De este modo, el presente trabajo complementa trabajos previos en los que ambos factores se integraban en un único factor de intensidad energética primaria (Alcántara, 1999a). Mientras que en el trabajo de Alcántara (1999a) se observaba una contribución ligeramente negativa al aumento de las emisiones del efecto intensidad de energía primaria, la descomposición de la intensidad de energía primaria en un factor de transformación y otro de intensidad final nos ha permitido ver cómo los resultados obtenidos por el citado artículo no respondían a una mejora en la eficiencia en el uso de energía final de la economía, sino a mejoras en la eficiencia en la obtención de energía final a partir de energía primaria, especialmente entre el año 1999 y el final del período, mientras que el uso de energía final por unidad de producto habría contribuido a aumentar las emisiones de forma muy clara en el período 1999-2004.

Las nuevas centrales térmicas de ciclo combinado y la cogeneración, así como el menor peso de las centrales térmicas de carbón y fuel oil, habrían aumentado la eficiencia en la transformación para la obtención de energía eléctrica. También habría contribuido en este sentido el hecho de que la generación de energía nuclear haya reducido su participación relativa durante el período. En este caso, la política energética sí que habría tenido un impacto positivo. No obstante, el mantenimiento de una minería del carbón, ineficiente y muy contaminante, así como la perspectiva de que se fomente esta en los próximos años, también podría incidir negativamente en la evolución de este indicador y en su contribución a la marcha de las emisiones, al ser menos eficiente su transformación en electricidad que la del gas natural que se sustituiría.

Por último, el mal comportamiento del efecto asociado a la intensidad de energía final del PIB muestra unos resultados muy negativos para el conjunto del período de las políticas de eficiencia y ahorro energético. Queda la duda de si la batería de políticas aprobadas durante los últimos años ha tenido algún efecto en la fuerte reducción de la intensidad energética final experimentada entre los años 2005 y 2007 y si esta reducción continuará en los próximos años o si será una cuestión puntual.

La evolución negativa de las emisiones durante el período responde tanto a la falta de políticas efectivas como a que estas se han retrasado y sólo recientemente se empezó a tomar cartas en el asunto. Durante los últimos años la preocupación de la población sobre el cambio climático ha aumentado notablemente y también la de las diferentes Administraciones, que han empezado a realizar actuaciones en este sentido. Quizás, en parte ha sido así como consecuencia de los importantes costes que puede suponer el recurso al comercio de emisiones y los otros mecanismos de flexibilidad para cumplir con el lejano requisito del 15% de aumento con respecto al año 1990 para el período 2008-2012. Entre las políticas aprobadas por el Gobierno destacan la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia-Horizonte 2007-2012-2020; la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012 (E4); el Plan de Acción de la E4; los dos Planes Nacionales de Asignaciones (PNA); la Revisión 2007-2016 de la Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas; y el Plan Nacional de Reducción de Emisiones. A estas habrá que sumarles en el futuro próximo las que se deriven de las propuestas de la Comisión Europea de reducción de emisiones del 20% para el año 2020 –o del 30% si hay acuerdo internacional–, así como llegar al 20% de energía proveniente de renovables y las que se deriven de los futuros acuerdos post-Kyoto.

Aún es pronto para evaluar la efectividad de las medidas aprobadas y su capacidad para influir sobre los efectos “ahorradores” de emisiones, pero cabe comentar que sería necesario profundizar más en herramientas como la fiscalidad energética que incidirá sobre todos los sectores, incluido el transporte. Mientras que no se den acciones decididas para controlar las emisiones de los sectores difusos, en especial con políticas que contribuyan a generar un modelo diferente de transporte que lleve

a una menor necesidad de energía por unidad de PIB, será difícil cambiar la relación positiva entre PIB y emisiones. El fomento del ahorro y la promoción decidida de energías renovables, con un trato no sujeto a continuos cambios, que apueste decididamente por consolidar las energías eólica y fotovoltaica, junto con el desarrollo mucho más intensivo de otras como la solar térmica y la eólica marina, son también requisitos necesarios para poder incidir sobre los efectos “ahorradores” de emisiones en el futuro.

## ANEXO

### VARIACIÓN ANUAL Y ACUMULADA DE EMISIONES ATRIBUIBLES A LOS DIFERENTES EFECTOS

VARIACIÓN ANUAL DE LAS EMISIONES DE GEI ATRIBUIBLE A LOS DIFERENTES EFECTOS (Mt CO <sub>2</sub> -eq)					VARIACIÓN ANUAL TOTAL
	C/EP	EP/EF	EF/Y	Y	C
1991	-4,31	-0,94	6,82	5,78	7,35
1992	7,23	2,61	-2,57	1,82	9,08
1993	-0,59	-6,36	0,05	-1,98	-8,87
1994	-3,92	2,92	5,67	5,13	9,80
1995	-1,18	7,33	-1,89	6,61	10,88
1996	-8,40	-10,02	0,87	5,44	-12,12
1997	6,55	2,31	1,25	8,51	18,63
1998	-6,68	0,51	3,03	10,25	7,12
1999	11,29	3,85	-2,28	11,72	24,59
2000	-1,82	-6,71	5,02	14,01	10,50
2001	-4,99	-5,42	3,30	10,55	3,43
2002	9,90	0,70	-0,05	7,59	18,15
2003	-7,13	-7,30	9,42	8,46	3,44
2004	2,66	0,94	3,46	10,01	17,06
2005	8,43	-3,00	-0,76	11,13	15,81
2006	-8,83	3,25	-17,67	13,12	-10,14
2007	1,71	-2,37	-4,57	13,45	8,22
VARIACIÓN ACUMULADA (CON RESPECTO AL AÑO 1990) DE LAS EMISIONES DE GEI ATRIBUIBLE A LOS DIFERENTES EFECTOS (Mt CO <sub>2</sub> -eq)					VARIACIÓN ACUMULADA TOTAL
	C/EP	EP/EF	EF/Y	Y	C
1991	-4,31	-0,94	6,82	5,78	7,35
1992	2,92	1,67	4,24	7,60	16,43
1993	2,33	-4,69	4,29	5,63	7,56
1994	-1,59	-1,77	9,96	10,76	17,36
1995	-2,77	5,56	8,08	17,37	28,24
1996	-11,17	-4,46	8,95	22,81	16,13
1997	-4,62	-2,15	10,20	31,32	34,75
1998	-11,30	-1,64	13,23	41,58	41,87
1999	-0,01	2,21	10,96	53,30	66,46
2000	-1,83	-4,50	15,98	67,30	76,95
2001	-6,82	-9,92	19,28	77,85	80,39
2002	3,08	-9,22	19,22	85,45	98,53
2003	-4,05	-16,52	28,64	93,91	101,98
2004	-1,40	-15,58	32,10	103,92	119,04
2005	7,04	-18,58	31,34	115,04	134,84
2006	-1,80	-15,33	13,68	128,16	124,70
2007	-0,09	-17,70	9,10	141,61	132,93

FUENTE: Elaboración propia (véase texto).

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCÁNTARA, V. (2009a): "Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España. Situación actual y factores explicativos", *Papeles de Economía Española*, núm. 121, pp. 88-99.
- ALCÁNTARA, V. (2009b): "Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria española. Una primera aproximación a la situación actual", *Economía Industrial*, núm. 371, pp. 49-57.
- ALCÁNTARA, V.; LÓPEZ, S. (1996): "Sobre los factores explicativos del incremento del consumo mundial de energía", en F. La Roca y A. Sánchez [ed.]: *Economía crítica. Trabajo y medio ambiente*, pp. 231-240. Valencia: Universidad de Valencia.
- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. (2005): "Análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo", *Revista de Economía Crítica*, núm. 4, pp. 17-37.
- ANG, B.W. (1999): "Decomposition Methodology in Energy Demand and Environmental Analysis", en C.J.M. Jeroen y van den Bergh [ed.]: *Handbook of Environmental and Resources Economics*, pp. 1146-1163. Cheltenham: Edward Elgar.
- ANG, B.W.; ZHANG, F.Q. (2000): "A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies", *Energy*, vol. 25, núm. 12, pp. 1149-1176.
- BRUCE, J.P.; HOESUNG, L.; HAITES, E.F. [ed.] (1996): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change*. (Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge: Cambridge University Press.
- CMNUCC (2009): *National Inventory Submissions 2009*. ([http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4771.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4771.php)). (Última consulta: octubre de 2009).
- COMISIÓN EUROPEA (2009): *AMECO. Annual Macro-Economic Database of the European Commission's Directorate General for Economic and Financial Affairs (DG ECFIN)*. ([http://ec.europa.eu/economy\\_finance/ameco/](http://ec.europa.eu/economy_finance/ameco/)). (Última consulta: octubre de 2009).
- COMMONER, B. (1995): *En paz con el planeta*. Barcelona: Crítica.
- EKINS, P. (1997): "The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence", *Environment and Planning A*, vol. 29, pp. 805-830.
- EUROSTAT (2009): *Sustainable Development Indicators*, Theme 6: Climate Change and Energy. (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>). (Última consulta: octubre de 2009).
- GOLDEMBERG, J.; SQUITIERI, R.; STIGLITZ, J.; AMANO, A.; SHAOXIONG, X.; SAHA, R. (1996): "Introduction: Scope of the Assessment", en J.P. Bruce, L. Hoesung y E.F. Haites [ed.]: *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change*. (Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge: Cambridge University Press.
- HAMILTON, C.; TURTON, H. (2002): "Determinants of Emissions Growth in OECD Countries", *Energy Policy*, vol. 30, pp. 63-71.
- IPCC (2007a): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2007b): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. (Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge: Cambridge University Press.

- KAYA, Y. (1989): *Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*. (Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group). (Citado en Goldemberg *et al.*, 1996).
- MARTÍN VIDE, J. [coord.]; LLEBOT, J.E.; PADILLA, E.; ALCÁNTARA, V. (2007): *Aspectos económicos del cambio climático en España*. Barcelona: Caixa de Catalunya.
- MIELNIK, O.; GOLDEMBERG, J. (1999): "The Evolution of the Carbonization Index in Developing Countries", *Energy Policy*, vol. 27, pp. 307-308.
- MORENO, J.M. [coord.] (2005): *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE – Informe final*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- ROCA, J. (2002): "The IPAT Formula and its Limitations", *Ecological Economics*, vol. 42, núm. 1, pp. 1-2.
- ROCA, J.; ALCÁNTARA, V. (2001): "Energy Intensity, CO<sub>2</sub> Emissions and the Environmental Kuznets Curve. The Spanish Case", *Energy Policy*, vol. 29, pp. 553-556.
- ROCA, J.; ALCÁNTARA, V. (2002): "Economic Growth, Energy Use, and CO<sub>2</sub> Emissions", en J.R. Blackwood [ed.]: *Energy Research at the Cutting Edge*. New York: Nova Science.
- ROCA, J.; PADILLA, E. (2003): "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto", *Economía Industrial*, núm. 351, pp. 73-86.
- ROCA, J.; PADILLA, E.; FARRÉ, M.; GALLETO, V. (2001): "Economic Growth and Atmospheric Pollution in Spain: Discussing the Environmental Kuznets curve Hypothesis", *Ecological Economics*, vol. 39, pp. 85-99.
- SANTAMARTA, J.; SERRANO, L. (2009): *Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España*. Madrid: CC.OO.
- STERN, D.I. (2003): "The Environmental Kuznets Curve", *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics, International Society for Ecological Economics*. (<http://www.ecologicaleconomics.org/publica/encyc.htm>).
- STERN, D.I.; COMMON, M.S.; BARBIER, E.B. (1996): "Economic Growth, Trade and the Environment: Implications for the Environmental Kuznets Curve", *World Development*, vol. 24, pp. 1151-1160.
- STERN, N. (2007): *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SUN, J.W. (1999): "The Nature of CO<sub>2</sub> Emissions Kuznets Curve", *Energy Policy*, vol. 27, pp. 691-694.
- TÖRNQVIST, L. (1935): *A Memorandum Concerning the Calculation of Bank of Finland Consumption Price Index*. (Mimeo). (Citado en Ang, 1999).
- TÖRNQVIST, L.; VARTIA, P.; VARTIA, Y. (1985): "How Should Relative Changes be Measured?", *The American Statistician*, vol. 39, núm. 1, pp. 43-46.