

Alcántara, V.; Padilla, E.

*Determinantes do crecemento das emisións...*

## DETERMINANTES DO CRECEMENTO DAS EMISIÓNS DE GASES DE EFECTO INVERNADOIRO EN ESPAÑA (1990-2007)

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

*Recibido:* 20 de novembro de 2009

*Aceptado:* 24 de marzo de 2010

**Resumo:** A evolución dos gases de efecto invernadoiro en España estase distanciando notablemente do obxectivo marcado polo Protocolo de Kyoto. No presente traballo analízanse os diferentes factores que contribuíron ao importante aumento experimentado nas emisións de gases de efecto invernadoiro provenientes do consumo de enerxía en España no período 1990-2007. A metodoloxía de descomposición factorial utilizada permite facer unha distribución exacta (sen residuos) da variación de emisións en diferentes efectos (efecto carbonización, efecto transformación, efecto intensidade e efecto escala). Os resultados mostran claramente que o efecto escala –a variación no nivel de produción– foi determinante en explicar o aumento de emisións, mentres que a contribución dos outros efectos, que deberían ser os que cambiasen a tendencia de crecemento de emisións, non permitiu moderar o seu aumento. Unha contribución especialmente negativa é a atribuíble ao efecto intensidade, que reflicte a variación na intensidade enerxética final do PIB, xa que mesmo tería contribuído a aumentar as emisións. En sentido oposto, o efecto transformación –o impacto atribuíble á transformación enerxética– tería contribuído a moderar o aumento das emisións totais. O traballo discute as implicacións dos resultados obtidos.

**Palabras clave:** Descomposición factorial / Eficiencia enerxética / Gases de efecto invernadoiro / Intensidade enerxética / Índice de carbonización / Transformación enerxética.

### 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 (carbonization 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 on 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

A evidencia científica sobre a intensificación do efecto invernadoiro e o cambio climático resultante, así como sobre a contribución da actividade humana ao proce-

<sup>1</sup> Os autores agradecen o apoio dos proxectos ECO2009-10003 (Ministerio de Ciencia e Innovación), 2009SGR-600 e XREPP (DGR).

so, é cada vez máis evidente, tal e como sinala o cuarto informe do IPCC (2007a). Segundo este informe, a temperatura tería aumentado 0,74°C entre os anos 1906 e 2005; o aumento tería sido de arredor de 1°C nos últimos 10.000 anos e teríase acelerado a un ritmo de 0,15°C por década a finais do século XX. Por outro lado, prevéase que aumente entre 1,1°C e 6,4°C ao longo do século XXI (entre os períodos 1980-1999 e 2090-2099), o que representaría un cambio rápido e profundo. Polo que respecta ao aumento do nivel do mar, estímase que aumente entre 18 e 59 cm ao longo do século XXI (no século XX o aumento tería sido de 17 cm). O cambio climático asociado a este quentamento implicará importantes impactos negativos sobre a natureza e a economía (IPCC, 2007b; Stern, 2007). Dentro do contexto europeo, España será un dos países que sufrirán con maior intensidade os impactos negativos asociados ao cambio climático (Moreno, 2005; Martín Vide *et al.*, 2007).

O forte aumento experimentado nas emisións de CO<sub>2</sub> e, como consecuencia, na concentración deste gas na atmosfera –o máis importante dos gases de efecto invernadoiro (GEI)– débese principalmente ás emisións provenientes da queima de combustibles fósiles para a obtención da enerxía requirida polos procesos industriais, así como pola expansión no uso do transporte privado por estrada. Neste aumento tamén tivo un papel relevante a deforestación (eliminación dos sumidoiros naturais de carbono).

A creación da Convención Marco das Nacións Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), acordada no Cumio da Terra de Río de Xaneiro, representou o primeiro acordo internacional que recoñeceu a importancia do problema e a necesidade de buscar solucións<sup>2</sup>. No ano 1997 os Gobernos participantes na CMNUCC chegaron ao primeiro compromiso concreto de limitación de emisións: o Protocolo de Kyoto, que comprometía aos países industrializados (anexo I do dito Protocolo), incluíndo aos países en transición cara a unha economía de mercado, a limitar as súas emisións de GEI ás cantidades atribuídas a eles e consignadas para eles no anexo B do Protocolo. Como se sinala no artigo 3 do Protocolo, a limitación de emisións facíase con miras a reducir o total das súas emisións de GEI<sup>3</sup> ata un nivel inferior ao do ano 1990 en non menos dun 5% dentro do período de compromiso comprendido entre o ano 2008 e o 2012 (o que, unha vez feito o reparto entre países, traducíase nun 5,2%). Os gases que se contemplan son os seis seguintes: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoruro de xofre (SF<sub>6</sub>).

A Unión Europea (UE), aproveitando as posibilidades de aplicación flexible do Protocolo, estableceu para os seus países membros un reparto de cargas, para cum-

---

<sup>2</sup> En concreto, o obxectivo marcado pola CCMNUCC era “lograr a estabilización das concentracións de gases de efecto invernadoiro na atmosfera a un nivel que impida interferencias antropoxénicas perigosas no sistema climático e nun prazo suficiente para permitir que os ecosistemas se adapten naturalmente ao cambio climático, asegurando que a produción de alimentos non se vexa ameazada e permitindo que o desenvolvemento económico prosiga de maneira sostible”.

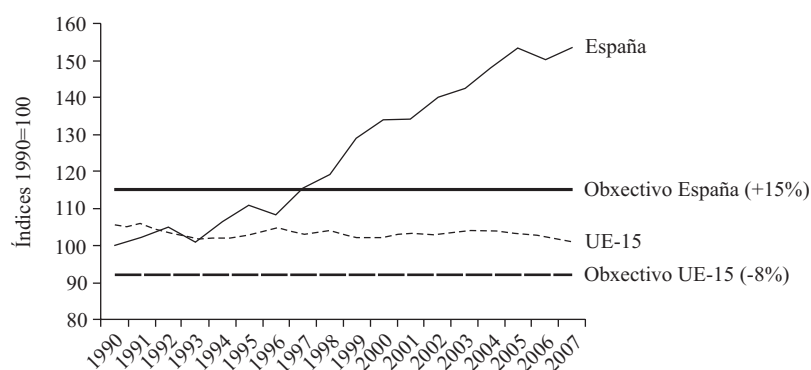
<sup>3</sup> Emisións medidas en toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>-eq, en diante), empregando os factores de conversión do IPCC.

prir o compromiso, que implicaba unha redución conxunta do 8% respecto dos niveis do ano 1990 para os seis gases que acabamos de sinalar. Para España, o Acorde da Presidencia do Consello de Medio Ambiente do mes de xuño do ano 1998 permitía un incremento das emisións do 15% respecto dos niveis do ano 1990. Porén, a evolución das emisións de GEI en España distanciouse notablemente do obxectivo marcado.

No ano 2007 as emisións en España dos seis gases considerados polo Protocolo foron superiores nun 53,5% ás do ano 1990, se atendemos á información que proporciona a mesma CMNUCC (2009), o que nos afasta considerablemente dos obxectivos por alcanzar no período 2008-2012. Isto supón un incremento medio anual do 2,6%. Un 2,8% no caso do CO<sub>2</sub> e un 1,4% no do conxunto do resto de gases. Fronte a esta situación, os países da UE-15, como un todo, diminuíron as súas emisións con respecto ás do ano 1990 nun 4,3%.

A gráfica 1 mostra claramente o progresivo distanciamento de España con respecto ao obxectivo por cumprir dentro do período 2008-2012.

**Gráfica 1.-** Emisións de GEI en España e na UE-15 e obxectivos do Protocolo de Kyoto



FONTE: CMNUCC (2009) e elaboración propia.

Que factores explican este comportamento tan negativo da evolución das emisións contaminantes en España? Nas páxinas que seguen analizaremos as emisións de CO<sub>2-eq</sub> procedentes do consumo de enerxía. Mostraremos como a evolución destas emisións pode ser explicada considerando os cambios no uso de enerxía primaria na xeración de enerxía final –que ten unha importancia crucial tanto desde unha óptica económica como ecolóxica–, o contido de carbono desa enerxía primaria, o uso de enerxía final por unidade de produto e a dinámica da actividade produtiva entre os anos 1990 e 2007. Utilizaremos para iso unha metodoloxía de descomposición factorial que nos permitirá facer un primeiro diagnóstico da relación que existe entre variables económicas, tecnolóxicas e a emisión de GEI, así como determinar o grao de responsabilidade dos factores considerados no importante au-

mento de emisións experimentado no período analizado. Para iso, no seguinte apartado descríbese a nosa proposta metodolóxica. No apartado 3 preséntanse os resultados obtidos logo da aplicación desta e abórdase a súa discusión. Por último, no apartado 4 recóllense as conclusións que cerran o presente traballo.

## 2. METODOLOXÍA

O punto de partida do noso traballo é a seguinte identidade de tipo IPAT<sup>4</sup>:

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

na que  $C$  son as emisións de GEI procedentes do consumo de enerxía en millóns de toneladas de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  (Mt);  $EP$  é o consumo de enerxía primaria, medido en miles de toneladas equivalentes de petróleo (ktep);  $EF$  é o consumo de enerxía final, medido tamén en ktep;  $Y(t)$  é a produción, medida como o valor engadido bruto a prezos básicos en miles de millóns de euros constantes do ano 2000; e  $t$  é un ano calquera.

A expresión anterior, que non é máis que unha versión modificada da coñecida identidade de Kaya (1989)<sup>5</sup>, dinos que as emisións de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  dependen das emisións por unidade de enerxía primaria utilizada ( $C/EP$ ), un indicador de carbonización dos consumos enerxéticos<sup>6</sup>; do consumo de enerxía primaria por unidade de enerxía final ( $EP/EF$ ), un indicador agregado da eficiencia nos procesos de transformación no sector enerxético<sup>7</sup>; de que se teña en conta dalgunha maneira o papel da tecnoloxía; da intensidade enerxética final ( $EF/Y$ ), que mostra o uso máis ou menos eficaz con que os axentes económicos utilizan a enerxía final para xerar valor engadido e dun factor de escala, que vén dado pola magnitude do PIB no período en cuestión ( $Y$ ).

<sup>4</sup> As descomposicións tipo IPAT parten dunha identidade que expresa unha variable de impacto ambiental como produto doutras variables. Ao tratarse dunha identidade, o que lle dá sentido á análise é a descomposición do crecemento da variable explicada en función do cambio das outras variables explicativas. En concreto, a identidade IPAT fai depender o impacto ambiental da tecnoloxía, da afluencia de bens á sociedade e da poboación como factor de escala. Con todo, coñécense como identidades tipo IPAT todas aquelas dirixidas á análise ambiental que teñen en conta algúns factores de tipo tecnolóxico e de impacto unitario e un factor de escala, normalmente a produción. Para máis detalles e discusións, véxanse Commoner (1995) e Roca (2002).

<sup>5</sup> En concreto, no noso caso dividimos o factor intensidade de enerxía primaria do PIB ( $EP/Y$ ) da identidade de Kaya nos factores de transformación e intensidade de enerxía final do PIB ( $(EP/EF)*(EF/Y)$ ), mentres que agregamos os factores afluencia e poboación da identidade de Kaya ( $(Y/POB)*POB$ ) no factor escala do PIB. Véxase unha aplicación da identidade de Kaya para a análise das emisións mundiais en Alcántara e Padilla (2005). Outras análises das emisións de España mediante outras variantes da identidade Kaya poden atoparse en Alcántara (2009a) ou en Alcántara (2009b), onde se analiza a emisión dos sectores industriais.

<sup>6</sup> De forma xeral, o concepto carbonización utilízase para referirse ao cociente entre emisións de  $\text{CO}_2$  e consumo de enerxía primaria. Outros autores refírense ao cociente entre este gas e o PIB, aínda que nós preferimos referirnos a esta relación como intensidade de emisión do PIB. Para non estendernos con esta cuestión, o lector interesado pode consultar Ang, (1999), Mielnik e Goldemberg (1999), Sun (1999) e Roca e Alcántara (2001, 2002).

<sup>7</sup> Este factor, introducido por Hamilton e Turton (2002), pretende captar a importancia do consumo enerxético primario na obtención de enerxía final, de forma moi particular no sector eléctrico.

A partir da expresión (1), é posible descompoñer a evolución das emisións de CO<sub>2-eq</sub> ao longo do tempo atendendo a cada un dos factores que conforman esa expresión, de tal maneira que:

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

onde  $E$  –o efecto total– é a variación total nun período de tempo, digamos  $(0,t)$ ;  $EC$  –o efecto carbonización– proporciona a variación das emisións que corresponden ao cambio neste factor;  $ET$  –o efecto transformación– mostra a variación explicada pola maior ou menor utilización de enerxía primaria no sector enerxético;  $EI$  –o efecto intensidade– mostra a variación na intensidade de enerxía final do PIB; e, por último,  $EE$  –o efecto escala– indica a variación do PIB a prezos constantes.

Como sinala Ang (1999), lonxe de ser un problema novo, a descomposición dunha variable en efectos explicativos é similar ao problema dos números índices en economía. O problema xa se formulaba en Törnqvist (1935) e foi retomado máis adiante en Törnqvist *et al.* (1985), presentando cuestións relativas a problemas alleos á análise enerxética e aos impactos ambientais. Desde os primeiros anos da década dos oitenta, a descomposición en factores desenvolveuse amplamente na análise da demanda industrial de enerxía. Máis recentemente desenvolvéronse técnicas analíticas de descomposición desde distintos enfoques para dispoñer de instrumentos de diagnóstico na análise do consumo de enerxía, da contaminación e das emisións de CO<sub>2</sub> en particular. En termos metodolóxicos, a técnica analítica sería equivalente a un problema de análise de números índices e non sería comparable a instrumentais máis potentes como, por exemplo, a análise de descomposición estrutural input-output. Ang e Zhang (2000) fan unha boa síntese dos métodos de descomposición e recollen abundantes referencias das propostas doutros autores.

Co fin de simplificar as expresións, reescribimos os factores explicativos do seguinte modo:

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

co que a expresión (1) pode reescribirse como segue:

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

O incremento anual total das emisións de CO<sub>2-eq</sub> ( $C_t$ ) pódese descompoñer da seguinte forma:

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

na que:

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

é un factor de ponderación que garante unha descomposición aditiva exacta, isto é, sen residuos, seguindo a proposta de Alcántara e López (1996). A descomposición formulada non é máis que a asignación da parte da variación atribuíble a cada factor atendendo ao peso que a súa taxa de crecemento instantáneo ten sobre a das emisións totais.

En (5),

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

Sendo  $t=0$  o ano que tomamos como base (no texto, o ano 1990), a variación acumulada entre 0 e  $T$  das emisións debidas a un factor calquera  $F$ ,  $C(F)_T$  viría dada pola seguinte expresión:

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

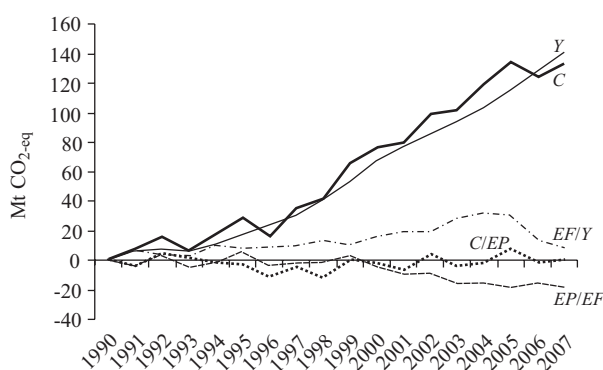
### 3. APLICACIÓN E RESULTADOS

Para o cálculo da expresión (5) contamos coa información estatística proporcionada polo Eurostat (2009) polo que respecta á enerxía, coas series homoxéneas da

base de datos AMECO da Comisión Europea (2009) para o PIB e cos datos das emisións totais de GEI ofrecidos por CMNUCC (2009). Dado que o que se pretende neste traballo é analizar a contribución á intensificación do efecto invernadoiro asociada ao consumo enerxético, consideráronse unicamente as emisións de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  procedentes do consumo de enerxía.

Na gráfica 2 móstrase a evolución da emisión total, así como a dos distintos compoñentes que a conforman, a partir dos datos obtidos coa aplicación da expresión (5) e acumulados sobre o ano base (1990), de acordo coa expresión (8). Os resultados do cálculo das expresións (5) e (8) recóllense no anexo.

**Gráfica 2.-** Variación acumulada de emisións por factores explicativos



FONTES: CMNUCC (2009), Comisión Europea (2009), Eurostat (2009) e elaboración propia.

Observando a gráfica podemos comparar a evolución das emisións reais coas que poderíamos denominar “teóricas” ou “tendencias”, isto é, coas que se terían producido polo efecto escala (PIB) se nada cambiase desde o ano 1990 agás a escala da produción. É ostensible que o crecemento das emisións reais de GEI foi maior que o aumento das emisións tendencias que marcaría o crecemento da produción. Este comportamento é evidente ata o ano 2005 e moi particularmente entre os anos 1999 e 2005. Isto significa que o comportamento do resto dos factores, que son os que, en principio, se esperarían que conducisen á redución ou ao aforro de emisións, non tivo unha repercusión capaz de anular –nin tan sequera de moderar– a tendencia crecente das emisións determinada polo crecemento da economía.

En efecto, se temos en conta que se estarían “aforrando” emisións, por dicilo dalgunha maneira, sempre que o incremento de emisións reais fose menor que o aumento das emisións teóricas, tal e como as definimos antes, non parece que ao longo do período considerado este fora o caso. O importante crecemento económico experimentado no período tería implicado un importante aumento de emisións que non se contrarrestaría con outros factores tecnolóxicos ou económicos. Queda

claro que non se produciría un cambio na relación positiva entre crecemento económico e aumento de emisións como o previsto pola hipótese da curva de Kuznets ambiental<sup>8</sup>.

Con todo, para o conxunto do período si que se deu un lixeiro aforro de emisións –aínda que mínimo– polas razóns que despois exporemos: nótase que as emisións acumuladas ata o ano 2007 son lixeiramente inferiores ás que se terían dado de seguir a senda do crecemento do PIB. Se atendemos á información sobre emisións acumuladas que se dá no anexo, o incremento das emisións reais sobre o ano 1990 –ano base para o obxectivo do Protocolo de Kyoto– foi de 132,9 Mt de CO<sub>2-eq</sub>, mentres que o aumento inducido polo efecto escala foi de 141,6 Mt de CO<sub>2-eq</sub>. É unha diferenza moi pouco significativa, tendo en conta o noso gran distanciamento con respecto ao obxectivo marcado do Protocolo de Kyoto.

Pasemos a considerar o resto de factores explicativos do crecemento das emisións. Co fin de interpretar os resultados que se mostran na gráfica 2, elaboramos a táboa 1, onde se mostra a repercusión que os distintos efectos tiveron no crecemento das emisións totais.

**Táboa 1.-** Contribución dos distintos efectos explicativos das emisións de GEI (% de incremento das emisións sobre o ano base)

	C/EP	EP/EF	EF/Y	Y	C
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

FONTE: Elaboración propia (véxase texto).

Polo que respecta ao efecto carbonización, este permaneceu máis ou menos estable ao longo de todos os anos, cunha incidencia pequena sobre a evolución das emisións, sendo case nula para o conxunto do período considerado. Danse pequenas variacións anuais nun ou noutro sentido, que teñen que ver con cambios no *mix* enerxético (nalgúns casos debido a pequenas variacións puntuais no uso de carbón e doutros combustibles). Non parece, polo tanto, que os cambios no *mix* enerxético levaran a ningún aforro de emisións polo lado duns menores índices de carbonización. O importante crecemento –en termos relativos– no uso de enerxías renovables tería sido insuficiente para cambiar esa relación, dada a persistencia do uso de combustibles fósiles e o estancamento na xeración de electricidade nas centrais nucleares.

<sup>8</sup> Pódense atopar revisións sobre a literatura sobre a hipótese da curva de Kuznets ambiental en Ekins (1997), Stern (2003), Stern *et al.* (1996), Roca *et al.* (2001) ou en Roca e Padilla (2003), quen tamén analizan a hipótese para o caso español, e que coinciden en sinalar que non se produce tal desvinculación entre o crecemento da produción e as emisións.



A única contribución claramente favorable desde unha perspectiva ambiental é a do efecto transformación, que a partir do ano 2000 fixo unha achega negativa continuada ao aumento das emisións. Este indicador, importante sobre todo desde a perspectiva da enerxía eléctrica, experimentou descenso importantes, como mostran os datos da primeira parte do anexo. Claramente, deuse unha mellora na transformación de enerxía primaria en enerxía final. Esta mellora, en principio, reflicte unha maior eficiencia media nos procesos de transformación de enerxía primaria en final. Con todo, isto pode deberse tanto á mellora dos diferentes procesos de transformación como a un cambio no *mix* enerxético, dado que a transformación dalgúns tipos de enerxía primaria en enerxía final resulta máis eficiente que a doutras<sup>9</sup>. Abordar unha análise polo miúdo deste comportamento non cabe no traballo desenvolvido nestas páxinas. Así e todo, queremos deixar aquí constancia da necesidade dunha análise en maior profundidade do tema.

Con respecto á intensidade enerxética final, este efecto contribuíu de forma importante ao aumento das emisións ao longo do período, sendo a súa contribución acumulada positiva para todos os anos do período. Na gráfica 2 pódese apreciar un importante crecemento deste efecto no período 1999-2004, sendo case nula a súa contribución á variación de emisións entre os anos 2004 e 2005. Ata o ano 2004, a contribución do efecto intensidade enerxética final ao crecemento total das emisións con respecto ao ano 1990 foi do 26,88%. Máis dunha cuarta parte do total da variación de emisións ata ese ano explicárase polo efecto intensidade enerxética final. O efecto reforzaría a contribución –tamén sempre positiva– do efecto escala.

Parece claro que para a maior parte do período considerado os esforzos desde a perspectiva da eficiencia no uso da enerxía final foron practicamente nulos ou ineficaces. Con todo, no ano 2006 produciuse un descenso moi importante da intensidade enerxética final –preto dun 5%–, o que contribuíu a unha mellora do comportamento do dito efecto. Isto traducíuse nunha importante contribución ao descenso ou, mellor dito, á moderación do aumento das emisións dese ano. Se atendemos á información da primeira parte do anexo, o aforro teórico de emisións atribuíble ao comportamento desta variable no ano 2006 ascendeu a 17,67 Mt de CO<sub>2-eq</sub>, algo realmente sorprendente, que se explica polo extraordinario descenso da intensidade enerxética final do 5% nun só ano, como xa sinalamos anteriormente. A contribución negativa ao aumento de emisións do efecto continuou, aínda que con menor intensidade, no ano 2007. Como resultado, ao final do período o impacto deste efecto sobre a variación de emisións con respecto ao ano base é moito menor que o dos anos 2004 ou 2005, aínda que segue sendo positivo, e explica un 6,85%

---

<sup>9</sup> Nalgúns casos isto pode ser o resultado das convencións contables para obter o equivalente en enerxía primaria dalgúns fontes de electricidade: mentres que no caso da hidroelectricidade contabilízase pola enerxía eléctrica xerada, no caso da enerxía nuclear contabilízase pola calor xerada no proceso (moito maior á electricidade finalmente xerada).

do total do aumento das emisións no período. Está por ver se a redución na intensidade enerxética final dos últimos anos se trata de algo conxuntural ou se, pola contra, asistimos a un cambio estrutural.

Na interpretación dos resultados tamén cómpre ter en conta que os cambios na intensidade enerxética final, tal e como se definiu no presente exercicio, poden deberse tanto a melloras na eficiencia enerxética como a cambios na estrutura produtiva (cambio no peso de diferentes sectores máis ou menos intensivos no uso de enerxía final). Neste sentido, unha análise que diferenciase ambos os dous factores proporcionaría unha medida máis correcta dos cambios na eficiencia do uso final de enerxía.

#### 4. CONCLUSIÓNS

Sendo España o país industrializado no que máis aumentaron as emisións desde o ano 1990 –ano de referencia para o cumprimento do Protocolo–, é conveniente analizar os factores que explican un comportamento tan negativo de cara a orientar e avaliar as políticas de cambio climático. A análise de descomposición de factores –coa aplicación dunha metodoloxía que nos permitiu asignar de forma exacta a variación total aos diferentes efectos considerados– permítenos obter algunhas conclusións a este respecto.

Os resultados obtidos mostran claramente que durante o período considerado as emisións foron determinadas fundamentalmente polo crecemento económico, sen que se producise o cambio na relación entre produción e degradación ambiental postulado pola hipótese da curva de Kuznets ambiental. Desde logo, non parece que se poida esperar que sexa o crecemento por si mesmo o que nos traia a redución de emisións de GEI, tendo en conta que cos elevados niveis de renda *per cápita* actuais aínda non se produciu a desvinculación entre estas emisións e o crecemento económico. De feito, vendo a ineficacia que mostraron as medidas de política enerxética e ambiental para incidir de forma relevante sobre os outros factores, parece que a forma máis factible para reducir as emisións no curto prazo sería unha contracción da produción, como parece mostrar a recente redución no ano 2008 dun 6,5% (Santamarta e Serrano, 2009) das emisións de GEI como consecuencia da actual crise económica (e, se cadra, tamén do forte aumento no prezo do petróleo experimentado ese ano).

O comportamento nos outros efectos pódenos indicar por que o crecemento económico en España continúa tan ligado a unhas maiores emisións de GEI. As distintas políticas ambientais e enerxéticas serían as que deberían levar ao aforro de emisións que cabería esperar destes efectos. Con todo, estas políticas non parecen ter obtido os resultados esperados. É o caso do efecto carbonización, que non permitiu evitar nin tan sequera unha tonelada das emisións xeradas polo crecemento económico. As políticas de fomento de enerxías renovables terían sido insuficientes

para conseguir unha redución do índice de carbonización. Así e todo, isto non quere dicir que estas políticas non contribuíran a reducir as emisións que se terían dado na súa ausencia. Hai que ter en conta que, ao darse aumentos importantes na xeración de electricidade, a contribución porcentual das centrais nucleares diminúe, co que, se non se desen cambios nas achegas relativas do resto das fontes enerxéticas, como é o caso, a contribución do efecto carbonización tería sido peor. Neste sentido, un elemento positivo moi destacable, resultado das políticas aplicadas no sector en anos precedentes, é o forte aumento experimentado na xeración de electricidade mediante enerxía eólica (que no último ano do período representou un 8,7% da xeración de electricidade) e que de feito permitiu reducir de forma importante o aumento das emisións. Con todo, os plans do Goberno de fomentar o uso de carbón autóctono (moi contaminante) na xeración de electricidade, obrigando a nove centrais a queimar ese carbón ata o ano 2012, baixo o argumento de que é “estratéxico” desde o punto de vista enerxético, carece de xustificación económica e ambiental e vai facer moi difícil que a contribución do efecto carbonización mellore moito no futuro próximo, aínda no caso de que se cumpran os plans respecto das renovables. Tampouco parece axudar demasiado que este apoio público sexa a costa das futuras axudas á enerxía solar, dado que a incerteza sobre o mantemento e a magnitude das primas pode frear os investimentos no sector (o que, á súa vez, pode dificultar a esperada redución de custos nel, que facilitaría a futura redución das primas sen frear ao sector).

Máis relevante foi a incidencia dos efectos asociados á transformación e á intensidade enerxética final. Estes efectos actuaron en sentido contrario ao longo do período, o que reforza a relevancia da variante da identidade de Kaya aplicada no noso traballo. Deste modo, o presente traballo complementa traballos previos nos que ambos os dous factores se integraban nun único factor de intensidade enerxética primaria (Alcántara, 1999a). Mentres que no traballo de Alcántara (1999a) se observaba unha contribución lixeiramente negativa ao aumento das emisións do efecto intensidade de enerxía primaria, a descomposición da intensidade de enerxía primaria nun factor de transformación e outro de intensidade final permitiunos ver como os resultados obtidos polo citado artigo non respondían a unha mellora na eficiencia no uso de enerxía final da economía, senón a melloras na eficiencia na obtención de enerxía final a partir de enerxía primaria, especialmente entre o ano 1999 e o final do período, mentres que o uso de enerxía final por unidade de produto tería contribuído a aumentar as emisións de forma moi clara no período 1999-2004.

As novas centrais térmicas de ciclo combinado e a coxeración, así como o menor peso das centrais térmicas de carbón e fuel óleo, terían aumentado a eficiencia na transformación para a obtención de enerxía eléctrica. Tamén tería contribuído neste sentido o feito de que a xeración de enerxía nuclear reducira a súa participación relativa durante o período. Neste caso, a política enerxética si que tería tido un impacto positivo. Con todo, o mantemento dunha minería do carbón, ineficiente e

moi contaminante, así como a perspectiva de que se fomente esta nos próximos anos, tamén podería incidir negativamente na evolución deste indicador e na súa contribución á marcha das emisións, por ser menos eficiente a súa transformación en electricidade que a do gas natural que se substituiría.

Por último, o mal comportamento do efecto asociado á intensidade de enerxía final do PIB mostra uns resultados moi negativos para o conxunto do período das políticas de eficiencia e aforro enerxético. Queda a dúbida de se a batería de políticas aprobada durante os últimos anos tivo algún efecto na forte redución da intensidade enerxética final experimentada entre os anos 2005 e 2007 e se esta redución continuará nos próximos anos ou se será unha cuestión puntual.

A evolución negativa das emisións durante o período responde tanto á falta de políticas efectivas como ao feito de que estas se retrasaron e só recentemente se empezou a tomar medidas. Durante os últimos anos a preocupación da poboación sobre o cambio climático aumentou notablemente, e tamén a das diferentes Administracións, que empezaron a realizar actuacións neste sentido. Se cadra, en parte foi así como consecuencia dos importantes custos que pode supoñer o recurso ao comercio de emisións e os outros mecanismos de flexibilidade para cumprir co afastado requisito do 15% de aumento con respecto ao ano 1990 para o período 2008-2012. Entre as políticas aprobadas polo Goberno destacan: a Estratexia Española de Cambio Climático e Enerxía Limpa-Horizonte 2007-2012-2020; a Estratexia de Aforro e Eficiencia Enerxética 2004-2012 (E4); o Plan de Acción da E4; os dous Plans Nacionais de Asignacións (PNA); a Revisión 2007-2016 da Planificación dos Sectores de Electricidade e Gas; e o Plan Nacional de Redución de Emisións. A estas haberá que sumarllas no futuro próximo as que se deriven das propostas da Comisión Europea de redución de emisións do 20% para o ano 2020 –ou do 30% se hai acordo internacional–, así como chegar ao 20% de enerxía proveniente de renovables e as que se deriven dos futuros acordos post-Kyoto.

Aínda é cedo para avaliar a efectividade das medidas aprobadas e a súa capacidade para influír sobre os efectos “aforradores” de emisións, pero cómpre comentar que sería necesario profundar máis en ferramentas como a fiscalidade enerxética que incidirá sobre todos os sectores, incluído o transporte. Mentres que non se dean accións decididas para controlar as emisións dos sectores difusos, en especial con políticas que contribúan a xerar un modelo diferente de transporte que leve a unha menor necesidade de enerxía por unidade de PIB, será difícil cambiar a relación positiva entre PIB e emisións. O fomento do aforro e a promoción decidida de enerxías renovables, cun trato non suxeito a continuos cambios, que aposte decididamente por consolidar as enerxías eólica e fotovoltaica, xunto co desenvolvemento moito máis intensivo doutras como a solar térmica e a eólica mariña, tamén son requisitos necesarios para poder incidir sobre os efectos “aforradores” de emisións no futuro.

**ANEXO**

## VARIACIÓN ANUAL E ACUMULADA DE EMISIONS ATRIBUÍBLES AOS DIFERENTES EFECTOS

VARIACIÓN ANUAL DAS EMISIONS DE GEI ATRIBUÍBLE AOS DIFERENTES EFECTOS (Mt CO <sub>2-eq</sub> )					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 AO ANO 1990) DAS EMISIONS DE GEI ATRIBUÍBLE AOS DIFERENTES EFECTOS (Mt CO <sub>2-eq</sub> )					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

FONTE: Elaboración propia (véxase 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 e 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 e van den Bergh [ed.]: *Handbook of Environmental and Resources Economics*, pp. 1146-1163. Chentelham: 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: outubro 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: outubro 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: outubro 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 e 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.; GALLETTO, 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.