

# Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de la energía en España y efectos explicativos de su variación

Vicent Alcántara Escolano y Emilio Padilla Rosa

Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona

## INTRODUCCIÓN

En función de los acuerdos del Protocolo de Kioto y el reparto asumido en la Unión Europea, España adquirió el compromiso de controlar sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de forma que estas no aumentasen por encima del 15% respecto al nivel del año base del Protocolo –1990 para los principales gases– en el período 2008-2012. El aumento de emisiones fue muy superior (23,7%), de forma que el compromiso solo se cumplió gracias al recurso a los mecanismos de flexibilidad que contemplaba el protocolo, comprando créditos de reducción de

específico de esta reducción entre los estados miembros. Para el resto de sectores, se plantea una reducción del 10% respecto a los niveles de 2005, siendo también un 10% el objetivo específico acordado para España. Hasta el momento, lamentablemente, parece que el mejor aliado del control de emisiones ha sido la crisis económica, resultando del todo insuficientes los esfuerzos hechos para descarbonizar la economía, con lo que no parece que vaya a resultar sencillo cumplir con los compromisos adquiridos.

Las emisiones de GEI, expresadas en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq), provenientes del uso de la energía están compuestas básicamente por CO<sub>2</sub> y representan más de tres cuartas partes de las emisiones totales de GEI en nuestro país, siendo su estudio fundamental para entender la evolución de las emisiones totales. Este artículo analizará los factores determinantes de estas emisiones y su evolución en el período 1990-2015, así como la contribución de cada uno de estos factores a la variación total de las emisiones, cuestión que podremos determinar gracias al uso de una metodología de descomposición. En concreto, los factores que tendremos en cuenta son el PIB per cápita, la población, el peso de los combustibles fósiles en el total de energía primaria y la intensidad energética de la economía. La información estadística utilizada en nuestro análisis procede de la Comisión Europea (2017), que reúne toda la información oficial útil para la evaluación de las políticas energéticas de los Estados miembros, así como las referentes a emisiones de GEI. Existen muchas fuentes informativas sobre las emisiones de GEI, en particular de las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como sobre energía e información económica. No obstante, para que el análisis sea preciso es conveniente que las distintas series –especialmente las referidas a emisiones y energía– sean consistentes entre ellas.

*Parece que el mejor aliado del control de emisiones ha sido la crisis económica, resultando del todo insuficientes los esfuerzos hechos para descarbonizar la economía, con lo que no parece que vaya a resultar sencillo cumplir con los compromisos adquiridos*

emisiones a otros países. Para el período 2013-2020, la Unión Europea tiene el compromiso de reducir sus emisiones en un 20%. En el caso de las emisiones de los sectores incluidos en el mercado de permisos de emisión establecido por la Directiva 2003/87/CE, se plantea una reducción de las emisiones europeas del 21% respecto a los niveles de 2005, sin que haya un reparto

### FACTORES DETERMINANTES DE LAS EMISIONES DE GEI PROVENIENTES DEL USO DE ENERGÍA

Una identidad muy utilizada (véase Alcántara y Padilla, 2005) para el análisis de los determinantes de las emisiones es la conocida como identidad de Kaya (1989):

$$C_t \equiv \frac{C_t}{EP_t} \times \frac{EP_t}{PIB_t} \times \frac{PIB_t}{POB_t} \times POB_t \tag{1}$$

donde  $C$  son las emisiones de GEI provenientes del consumo de energía, medidas en miles de toneladas;  $EP$  es el consumo de energía primaria, medido en toneladas equivalentes de petróleo (tep);  $PIB$  es el producto interior bruto deflactado para eliminar el impacto de la inflación;  $POB$  es la población;  $t$  hace referencia al período al que se refieren los anteriores flujos.

Esta identidad puede asimismo ampliarse con la descomposición de algunos de sus factores. En nuestro caso, tomaremos la siguiente expresión, en la que el primer factor de la expresión anterior se descompone en dos factores:

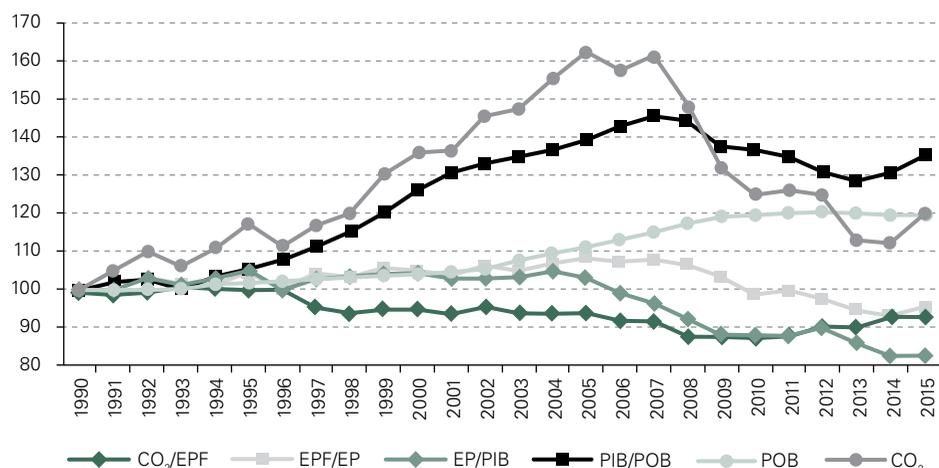
$$C_t \equiv \frac{C_t}{EPF_t} \times \frac{EPF_t}{EP_t} \times \frac{EP_t}{PIB_t} \times \frac{PIB_t}{POB_t} \times POB_t = c_t \times f_t \times e_t \times y_t \times p_t \tag{2}$$

donde  $EPF$  es el consumo de energía primaria de combustibles fósiles, medido en tep.

La identidad elegida nos indica que las emisiones dependen, en primer lugar, del índice de carbonización de la energía fósil, o emisiones de GEI por unidad de energía fósil ( $c=C/EPF$ ), cuya magnitud depende de la importancia relativa de los diferentes combustibles fósiles. El segundo factor consiste en la proporción que representan las energías fósiles sobre el total ( $f=EPF/EP$ ). El tercer factor es la intensidad energética del PIB, que mide la cantidad de energía primaria por unidad de PIB ( $e=EP/PIB$ ). Este factor depende, en primer lugar, de la eficiencia en el uso de la energía, tanto desde el punto de vista de la transformación o conversión de energía primaria a final, como de la utilización que se haga de la energía final disponible por parte de los diferentes sectores<sup>1</sup>. En segundo lugar, en el factor también influye la mayor o menor especialización productiva en los sectores más intensivos en el uso de energía, así como los estilos de vida de las familias en lo que se refiere a su consu-

<sup>1</sup> En el caso de la eficiencia –aparente– en la transformación también influyen las convenciones utilizadas para expresar algunas fuentes de electricidad, como la nuclear o las renovables, en su equivalente energía primaria. Por ejemplo, mientras que en el caso de las principales energías renovables –hidroeléctrica, eólica o solar– se considera la misma cantidad de energía primaria que la energía eléctrica obtenida, en el caso de la energía nuclear se considera como energía primaria todo el calor generado en el proceso fisión, incluyendo las importantes pérdidas en forma de calor disipado que no se convierten en electricidad. Si no se tuviera esto en cuenta, cuando se dan cambios entre fuentes se podrían obtener conclusiones erróneas en cuanto a la eficiencia en el uso de energía.

**Figura 1. Evolución de las emisiones de GEI derivadas del uso de energía y sus factores explicativos, 1990–2015 (1990=100).**



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea (2017).



mo doméstico y para transporte. El producto per cápita ( $y=PIB/POB$ ) muestra el nivel medio de abundancia económica, la población ( $p=POB$ ) indica el impacto demográfico en las emisiones, mientras que el producto de estos dos últimos factores indica la escala de la actividad económica. La Figura 1 muestra la evolución a lo largo del período estudiado de las emisiones y los cinco factores explicativos.

*Si queremos conseguir una economía que tienda a la descarbonización es necesario que la proporción que representan los combustibles fósiles sobre el total y la intensidad energética del PIB muestren una clara tendencia a la baja*

El factor que más ha variado a lo largo del período analizado y que, por consiguiente, más ha condicionado la evolución de las emisiones, es el PIB per cápita. La tendencia creciente de este factor hasta 2007 explica el gran incremento de emisiones hasta ese momento, mientras que su reducción a partir de ese año explica la mayor parte de la caída de emisiones posterior. De hecho, la recuperación económica en los últimos años del período se ve acompañada de un nuevo incremento de emisiones. Otro factor que habría aumentado de una forma considerable, contribu-

yendo al aumento de emisiones, es la población, especialmente a partir del aumento de la inmigración en los años 2000.

No obstante, si queremos conseguir una economía que tienda a la descarbonización, en línea con los objetivos de reducción de emisiones asumidos, es necesario que otros factores muestren una clara tendencia a la baja, especialmente la proporción que representan los combustibles fósiles sobre el total y la intensidad energética del PIB.

En cuanto a la intensidad energética del PIB, si bien durante los años de bonanza económica aumentó ligeramente, cayó de forma significativa después, contribuyendo a que la caída de emisiones en los años de crisis fuera mayor que la del PIB per cápita. Esto, aunque requeriría de un análisis más detallado, reflejaría el hecho de que la caída en el PIB se ha dado de forma particularmente importante en sectores que son especialmente intensivos en el uso de energía, que son también los que más crecieron durante la fase expansiva previa.

Respecto a la proporción que representan los combustibles fósiles sobre el total de energía primaria —que estaría por encima del 77% en 1990—, apenas se habría visto reducida algo en los últimos años del período. Hasta 2007 aumentó, contribuyendo a que el incremento de emisiones fuera superior al crecimiento económico. Esto se explica porque, a pesar de la contribución creciente de las energías renovables, durante los años de crecimiento económico también se expandió la generación eléctrica en centrales térmicas convencionales y aumentó el peso del transporte en la demanda de energía.

El índice de carbonización de la energía fósil sí que habría mejorado, debido al creciente uso del gas natural, si bien la recuperación en el uso de carbón para la generación de electricidad en los

últimos años del período habría contrarrestado, en parte, esta mejora.

A continuación, aplicamos una metodología de descomposición que nos permite asignar la variación total de emisiones a las variaciones experimentadas en los diferentes factores.

### LA DESCOMPOSICIÓN DEL CAMBIO EN LAS EMISIONES DE GEI DERIVADAS DEL USO DE LA ENERGÍA EN DIFERENTES EFECTOS EXPLICATIVOS

Partiendo de la expresión (2), se pueden utilizar diversos métodos de descomposición para atribuir la variación total de las emisiones en función de los diferentes factores allí indicados:

$$E = EC + EF + EI + EA + EP \tag{3}$$

donde *E* es la variación o efecto total; *EC* es el efecto carbonización; *EF* es el efecto energía fósil; *EI* es el efecto intensidad energética; *EA* es el efecto afluencia, asociado a la producción per cápita; y *EP* es el efecto población. Estos efectos indican la variación de las emisiones totales atribuibles al cambio en cada uno de los factores indicados en la expresión (2).

Existen distintos métodos de descomposición que suelen dar resultados similares. El método más comúnmente utilizado es el índice de Divisia de media logarítmica (LMDI), el cual permite

estimar cada efecto individual por medio de una formulación en términos de la media logarítmica ponderada de los cambios en las variables estudiadas. Se puede consultar una discusión matemática rigurosa sobre estos métodos en Liu y Ang (2003) y Ang y Zhang (2000). Con el fin de mostrar de forma muy sintética los cálculos realizados, hemos seguido el planteamiento utilizado en Llebot et al. (2007) y Roca *et al.* (2013), siguiendo las propuestas de los autores citados:

$$\begin{aligned} E &= C_t - C_{t-1} \\ EC &= L(C_t, C_{t-1}) \ln(c_t / c_{t-1}) \\ EF &= L(C_t, C_{t-1}) \ln(f_t / f_{t-1}) \\ EI &= L(C_t, C_{t-1}) \ln(e_t / e_{t-1}) \\ EA &= L(C_t, C_{t-1}) \ln(y_t / y_{t-1}) \\ EP &= L(C_t, C_{t-1}) \ln(p_t / p_{t-1}) \end{aligned} \tag{4}$$

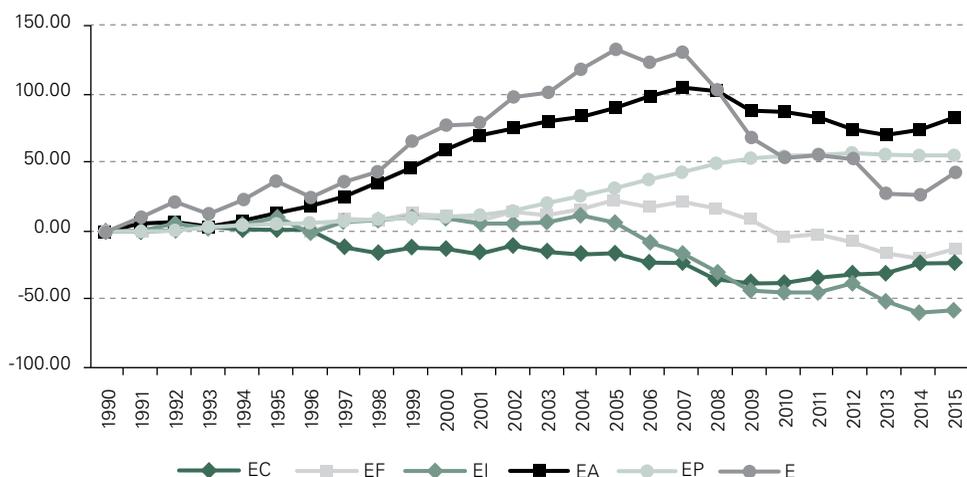
Si se tiene en cuenta que:

$$L(C_t, C_{t-1}) = \frac{C_t - C_{t-1}}{\ln(C_t / C_{t-1})} \tag{5}$$

la descomposición planteada es la parte de la variación total atribuible a cada factor atendiendo al peso que su tasa de crecimiento instantáneo tiene sobre la de las emisiones totales; siendo  $L(C_t, C_{t-1})$  una función que permite una descomposición exacta en efectos explicativos, cumpliéndose la identidad (3).

La Figura 2 muestra la variación total de emisiones (*E*) y la variación acumulada correspondiente a los diferentes efectos para cada año del período 1990-2015.

**Figura 2. Variación acumulada de las emisiones de GEI derivadas del uso de la energía (millones de toneladas) por efectos, 1990–2015 (Mt).**



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea (2017).

**Tabla 1. Descomposición de la variación de emisiones de GEI derivadas del uso de la energía 1990-2015 en diferentes efectos**

	EC	EF	EI	EA	EP	E
MT	-23,4	-13,2	-58,5	82,7	54,7	42,2
%	-11,0%	-6,2%	-27,4%	38,8%	25,6%	19,8%

*Nota: Variación y porcentaje de variación respecto a las emisiones de 1990.*

*Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Comisión Europea (2017).*

En línea con lo que vimos respecto a la evolución de los diferentes factores que determinan las emisiones, podemos observar cómo, a lo largo del período, el principal efecto que explica la evolución de las emisiones es el efecto afluencia, es decir, la producción per cápita. En 2007, último año previo a la crisis económica, este efecto explicaba un aumento de emisiones de CO<sub>2-eq</sub> de 105,4 Mt, si bien, debido a la posterior crisis económica su contribución se redujo a 70,2 Mt en 2013, repuntando con la posterior recuperación hasta los 82,7 Mt en 2015. El segundo efecto que más ha contribuido al aumento de emisiones es el crecimiento de la población, con 54,7 Mt. Ambos efectos tomados de forma conjunta indi-

can el efecto escala del crecimiento la actividad económica sobre las emisiones, el cuál ha sido de 137,4 Mt para el conjunto del período, representando un aumento del 64,4% respecto a las emisiones de 1990.

Los otros tres efectos han contribuido a que el aumento de emisiones, de un 19,8%, haya sido bastante menor que el de la actividad económica, aunque no han sido capaces de compensar el impacto del crecimiento económico. Un efecto que debería jugar un papel importante en la descarbonización de la economía, pero que, en cambio, apenas ha contribuido mínimamente a su reducción, es el efecto energía fósil. Es más, destaca negativamente que para gran parte del período incluso habría contribuido a aumentar las emisiones. Únicamente la evolución al final del período lleva a que este efecto tenga contribución negativa a las emisiones. Esta contribución a la reducción de emisiones se explicaría tanto por el peso creciente de las renovables como por el hecho de que con la caída de demanda energética, con la crisis, el peso relativo de la energía nuclear tiende a aumentar. El efecto carbonización sí que ha mostrado una contribución algo más importante a la reducción de emisiones, debido al mayor peso relativo del gas natural y menor del carbón en el conjunto de las energías fósiles. No obstante, este progreso se ha visto atenuado en los últimos años con el apoyo al carbón por parte del gobierno. Finalmente, el factor que más ha contribuido a reducir las emisiones —con una reducción de un 27,4% de las emisiones totales de 1990— ha sido la intensidad energética del PIB. Destaca, no obstante, que esta solo se da a partir de 2005, tanto por la mayor eficiencia en la transformación de energía, por la mayor importancia de las renovables y las térmicas de ciclo combinado, como, sobre todo, por la crisis económica posterior, que afectó de forma especialmente intensa a sectores intensivos en el uso de energía.

Los objetivos de reducción de emisiones planteados para el futuro requieren una disminución mucho más intensa de los tres factores que contribuyen a su descenso. En particular, son necesarias actuaciones mucho más decididas en cuanto la reducción de la proporción que representan las energías fósiles, tanto por el escaso progreso mostrado en el período analizado, como porque es el factor que —mediante la progresiva eliminación de los combustibles fósiles— tiene mayor potencial para contribuir a la descarbonización de la economía.

## Referencias

- Alcántara, V. y 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*, 4, pp. 17–37.
- Ang, B.W. y Zhang, F.Q. (2000) "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies", *Energy*, 25, pp. 1149–1176.
- Comisión Europea (2017) *Energy datasheets: EU-28 countries*. Disponible en <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/country> (acceso, 16 de noviembre de 2017).
- Liu, F. L. y Ang, B.W. (2003) "Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry", *Applied Energy*, 76, pp. 15–23.
- Martín Vide, J. (Coord.), Llebot, E., Padilla, E. y Alcántara, V. (2007) "Actividad económica y emisiones de CO<sub>2</sub> en España" en Martín Vide et al. *Aspectos Económicos del Cambio Climático en España. Estudios Caixa de Catalunya*. Barcelona, Cap. 3., pp. 42–83.
- Roca, J. (coord.), Alcántara, V., Arto, I., Padilla, E. y Serrano, M. (2013) *La Responsabilidad de la Economía Española en el Calentamiento Global*. Los Libros de la Catarata, Madrid.