

# EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ESPAÑA

## SITUACIÓN ACTUAL Y FACTORES EXPLICATIVOS

Vicent ALCÁNTARA ESCOLANO

Universitat Autònoma de Barcelona

### Resumen

El problema del cambio climático parece ser un hecho irrefutable. Y aunque no es de fácil solución, peor sería ignorarlo. En este artículo se aborda el análisis de las estrechas relaciones entre actividad económica y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los resultados proveen, cuando menos, líneas generales que pueden ayudar a perfilar investigaciones más profundas con el fin de disponer de una información básica de cara al diseño de políticas encaminadas a la corrección de la situación actual. O, al menos, a su mitigación. El examen desarrollado se lleva a cabo desde dos perspectivas: en cuanto al tipo de gases y con respecto a los distintos sectores. Posteriormente, se acomete, a modo de primera exploración, la descripción y estudio de los factores que, en el caso de España, explican la vinculación del desarrollo de la actividad económica y el nivel de emisión. De todo ello se desprenden conclusiones de cierta relevancia para la adopción de políticas coherentes y de un equilibrio general, incluida su cuantificación en indicadores pertinentes, tanto monetarios como físicos.

*Palabras clave:* energía, gases de efecto invernadero, descomposición factorial.

### Abstract

Climate change issue seems to be an irrefutable fact. And although it is not an easy issue to resolve, it would be worse to ignore it. This paper outlines the analysis of the close relationship that exists between economic activity and greenhouse effect emissions (GEE). The outcome of the analysis gives, at least, a broad outline that can help to shape a deeper approach in order to provide baseline information for the design of a policy aimed at redressing the current situation. Or, at least, for improving it. The analysis has been conducted taking into account two different points of view: the kind of gases and the different sectors involved. Subsequently, for our first exploration we deal with the description and the study of factors that in Spain's case, explain the relationship between the development of economic activity and the level of emissions. From all this, conclusions of some importance are drawn for the adoption of consistent policies and the attainment of a general balance, including quantification in the corresponding indicators, both monetary and physical.

*Key words:* energy, greenhouse gases, factorial decomposition.

*JEL classification:* Q43, Q53, Q56.

## I. INTRODUCCIÓN (\*)

EL problema del cambio climático parece ser un hecho irrefutable. Como señala la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), desde los últimos años del siglo XIX la temperatura media de la superficie terrestre ha subido más de 0,6°C. Por otro lado, es previsible que aumente de nuevo entre 1,4°C y 5,8°C para el año 2100, lo que representaría un cambio rápido y profundo. Prácticamente todo el mundo entiende ya que esta subida de la temperatura tiene su principal razón de ser en el proceso de industrialización iniciado hace un siglo. Muy particularmente, por la combustión de cantidades cada vez mayores de petróleo y sus derivados, gas y carbón. Así mismo, la tala de bosques y algunos métodos de explotación agrícola no son ajenos a los profundos cambios que los expertos en el tema vienen observando. Por otra parte, el calentamiento atmosférico es un problema complicado, que afecta a todo el mundo y se entremezcla con cuestiones difíciles como la pobreza, el desarrollo

económico y el crecimiento demográfico. Como la misma UNFCCC señala, el problema del cambio climático no es de fácil solución, pero sería mucho peor ignorarlo. Con el fin de hacer frente a esta situación, la firma del Protocolo de Kioto a finales de 1997 comprometía a los países industrializados y a los países en transición hacia una economía de mercado (anexo I del mismo) a limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a las cantidades atribuidas a los mismos y consignadas para ellos en el anexo B del mismo protocolo (1). 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 a un nivel inferior en no menos de 5 por 100 al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre 2008 y 2012. 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>).

La Unión Europea (UE) estableció para sus países miembros un reparto de cargas, para cumplir

el compromiso, que implicaba una reducción conjunta del 8 por 100 respecto de los niveles de 1990 de los mencionados gases, medidos en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, conforme a los factores de conversión del International Panel of Climate Change (IPCC, 1995). En lo que se refiere a España, y dentro del marco de la Unión Europea, el Acuerdo de la Presidencia del Consejo de Medio Ambiente de Junio de 1998 permitía un incremento de las emisiones del 15 por 100 respecto a los niveles de 1990.

A la vista de lo anterior, parece razonable entrar en el análisis de las estrechas relaciones entre actividad económica y emisiones, al menos para disponer de grandes líneas generales que perfilen investigaciones más profundas, y que no son accesibles en el marco de este trabajo, con el fin de disponer de una información básica de cara al diseño de políticas encaminadas a la corrección de la situación actual o, cuando menos, a su mitigación. Con este propósito se aborda este trabajo, que se estructura como sigue.

En el siguiente apartado llevaremos a cabo un análisis comparativo de las emisiones de GEI en España y la UE-15; para, por una parte, tener un conocimiento de nuestras semejanzas o diferencias con países de nuestro entorno y, por otra, porque nuestros compromisos adquiridos en el marco del Protocolo de Kioto, se sitúan dentro de ese grupo de países. Este examen se lleva a cabo desde dos perspectivas,

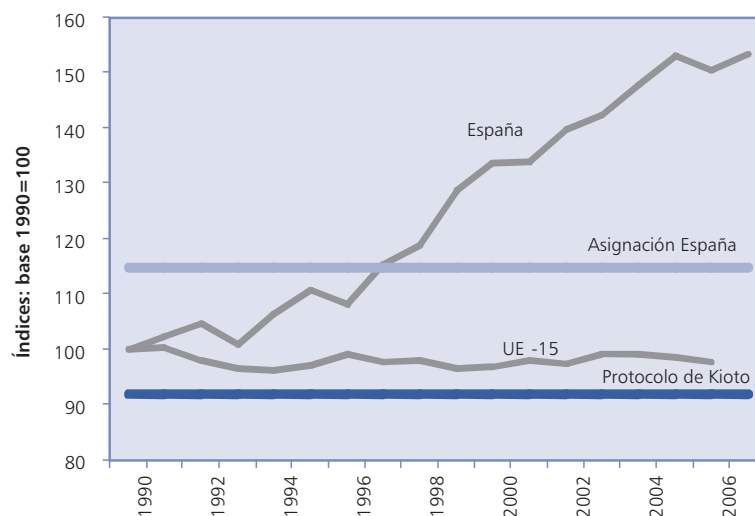
la primera en cuanto al tipo de gases y, la segunda, con respecto a los distintos sectores. Posteriormente se acomete, a modo de primera exploración, la descripción y estudio de los factores que, en el caso de España, explican la vinculación del desarrollo de la actividad económica y el nivel de emisión. Por último, recogeremos las conclusiones más relevantes.

## II. EVOLUCIÓN DE LOS GEI EN ESPAÑA: UN ANÁLISIS COMPARADO

Desde 1990, año tomado como base en el Protocolo de Kioto, hasta 2007 las emisiones de GEI en España, experimentaron un crecimiento del 52,3 por 100 (Rodrigo y Santamarta, 2008). La posible esperanza que había abierto el descenso de emisiones entre 2005 y 2006, un 1,7 por 100, se perdió en un solo año. En efecto, la emisión en 2006 fue de 433,3 Mt., y en 2007 de 441,4 Mt., según las estimaciones de los autores citados (2), un 1,8 por 100 más que el año anterior. Como muestra el gráfico 1, la evolución de las emisiones de GEI en España se ha distanciado notablemente del objetivo marcado por la Directiva europea, por lo que se hace muy difícil alcanzar los objetivos previstos para 2008-2012.

Mientras que la UE-15, como un todo, reducía las emisiones en 2006 en un 2,2 por 100 sobre el año

GRÁFICO 1  
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES GEI EN ESPAÑA Y LA UNIÓN EUROPEA



Fuente: UNFCC, Rodrigo y Santamarta (2008), y elaboración propia.

base, un porcentaje alejado aún del 8 por 100 previsto en el Protocolo de Kioto, España incrementaba aquellas para el mismo año en un 50,6 por 100. El orden de importancia de este incremento se nota más si consideramos que la UE-15, descontada España, habría reducido sus emisiones en un 6 por 100. Se trata de emisiones brutas, no hemos considerado los usos del suelo, cambios en los usos del suelo y reforestación (LULUCF, por sus siglas en inglés), que son considerados en el Protocolo de Kioto, aunque la magnitud de estos aspectos es muy poco importante tanto en el caso de España como de la UE-15. En el caso de la UE-15, las emisiones de GEI sin considerar LULUCF experimentaron una variación media anual del -0,1 por 100 y con LULUCF un -0,3 por 100, mientras que en el caso de España las emisiones sin LULUCF crecieron un 2,6 por 100 medio anual y con LULUCF un 2,7 por 100. Como vemos las diferencias son muy poco importantes, pero de sentido contrario, cuando se consideran estos sumideros de CO<sub>2</sub>. Como muy bien señalan Rodrigo y Santamarta (2008: 12), «...con el plan forestal vigente desde hace dos legislaturas y aún no revisado, se podría ahorrar el 2,5 por 100 adicional de las emisiones actuales, y un 7,5 por 100 para el año 2030 en el mejor de los casos. El Plan Nacional de Asignación prevé un 2 por 100, cifra realista, dadas las cifras que se conocen del Tercer Inventario Forestal Nacional». En este trabajo, al referirnos a emisiones, lo haremos considerando emisiones brutas.

A la vista de lo anterior, y dado el comportamiento tan distinto entre UE-15 y España, conviene ahora mostrar las diferencias existentes entre ambas, tanto desde la perspectiva de los gases emitidos como de las diferencias de emisión en los distintos sectores productivos.

## 1. Emisiones por clase de gas

En lo que se refiere a las emisiones de los distintos gases, y tal como muestra el cuadro n.º 1, las diferencias en cuanto a su distribución, medidas en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq.), no son remarcables. Y se pone en evidencia que el CO<sub>2</sub> es el más importante de los gases de efecto invernadero.

Aunque la estructura de emisiones es muy semejante, la dinámica seguida en los dos conjuntos territoriales es muy distinta. Con excepción de los HFC, PFC y CO<sub>2</sub>, en todos los otros gases la variación sobre el año base fue de signo contrario, disminución en el caso de la UE-15 e incremento en España. La mayor lejanía en la variación, positiva en ambos, se da para el CO<sub>2</sub>, que, como hemos señalado, es el más importante de los GEI. Las emisiones de este gas son debidas principalmente al consumo de combustibles fósiles y, en una mínima parte, a los procesos industriales sin combustión. El consumo de energía es, como veremos más adelante, el factor más determinante de las emisiones de GEI. En ambos espacios su crecimiento debería ser preocupante.

Por lo que se refiere a los otros gases con crecimiento en las dos regiones, HFC, éstos tienen un potencial de calentamiento muy variable, y han sustituido a los CFC, que tienen un importante impacto sobre la capa de ozono, y son utilizados en extintores de incendios, aerosoles, así como en equipos de aire acondicionado y refrigeración. Como decíamos, su potencial de calentamiento oscila entre el equivalente a 180 moléculas de CO<sub>2</sub> y el equivalente de calentamiento de 11.700 moléculas de CO<sub>2</sub> del HFC-23 (CHF<sub>3</sub>). Sus emisiones han crecido de for-

CUADRO N.º 1

## ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LAS EMISIONES POR TIPO DE GAS

Gas	ESPAÑA			UNIÓN EUROPEA (UE-15)		
	Mt CO <sub>2</sub> -eq	Porcentaje en 2006	Porcentaje Δ sobre 1990	Mt CO <sub>2</sub> -eq	Porcentaje en 2006	Porcentaje Δ sobre 1990
CO <sub>2</sub> .....	359,6	83,0	57,4	3.466,3	83,5	3,4
CH <sub>4</sub> .....	37,5	8,7	33,8	306,4	7,4	-29,9
N <sub>2</sub> O .....	30,1	6,9	8,2	308,7	7,4	-22,3
HFCs .....	5,5	1,3	130,9	56,3	1,4	101,2
PFCs.....	0,2	0,1	-72,0	4,1	0,1	-76,3
SF <sub>6</sub> .....	0,3	0,1	383,6	9,2	0,2	-15,9
No-CO <sub>2</sub> .....	73,7	17,0	24,6	684,8	16,5	-23,1
<b>Total GEI.....</b>	<b>433,3</b>	<b>100,0</b>	<b>50,6</b>	<b>4.151,1</b>	<b>100,0</b>	<b>-2,2</b>

Fuente: UNFCCC y elaboración propia.

ma espectacular tanto en España como en la UE-15, aunque su participación en el total de emisiones es relativamente baja. No obstante, la supresión del uso de estos gases habría supuesto en 2006 un 2 por 100 menos de variación sobre las emisiones del año 1990, tomado como base de comparación en el Protocolo de Kioto.

Lo mismo podríamos decir de las emisiones de PFC, carburos perfluorados, pero en este caso experimentaron un notable descenso, cercano al del resto de la Comunidad. Sus emisiones se deben prácticamente en su totalidad a la producción de aluminio. Según el informe del IPCC (1995) cada molécula de PFC varía entre 6.500 y 9.200 moléculas de CO<sub>2</sub>.

El caso más llamativo es el de las emisiones de SF<sub>6</sub>, hexafluoruro de azufre. Con un potencial de calentamiento equivalente a 23.900 moléculas de CO<sub>2</sub> por molécula de SF<sub>6</sub>, estas emisiones se multiplicaron por cinco en España en el período analizado, mientras que en la UE-15 experimentaron un decrecimiento del 15,9 por 100. Empleado en equipos eléctricos, este gas es el que ostenta el mayor potencial de calentamiento, aun cuando su peso relativo en las emisiones totales también es muy bajo.

Por último, tanto el metano (CH<sub>4</sub>) como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) experimentaron en España crecimientos de un 33,8 y un 8,2 por 100 respectivamente. Su peso en la estructura de emisiones es el más importante después del CO<sub>2</sub>. Las emisiones de metano tienen su origen en los vertederos, aguas residuales, etc..., y su poder de calentamiento equivale a 21 moléculas de CO<sub>2</sub>. Mientras que las emisiones de

N<sub>2</sub>O se deben principalmente al uso de fertilizantes, y cada molécula del mismo equivale al poder de calentamiento de 310 moléculas de CO<sub>2</sub>.

El diseño de políticas frente al calentamiento global desde una perspectiva local exige no sólo conocer el comportamiento de los distintos gases, sino también qué sectores deben ser tenidos en cuenta a la hora de diseñar aquéllas, y cuáles son los factores determinantes de las mismas. Cabe, pues, un primer análisis, aunque sólo sea descriptivo, del comportamiento sectorial en cuanto a las emisiones que nos ocupan. A esta tarea se dirige el siguiente epígrafe.

## 2. Comportamiento sectorial

Desgraciadamente, no se dispone en España de las emisiones por ramas productivas que nos permitan analizar el comportamiento sectorial a un nivel de desagregación suficiente (3). En dos trabajos relativamente recientes, Alcántara (2007 y 2009) se ha planteado esta cuestión considerando el máximo de sectores posibles para el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión energética. En la descripción que sigue utilizaremos la desagregación de la UNFCCC con el fin de hacer compatible la información por áreas geográficas.

En el cuadro n.º 2 se recoge la distribución sectorial de las emisiones, así como el porcentaje de variación entre 1990 y 2006, distinguiendo entre las emisiones de GEI vinculadas al consumo energético, los procesos industriales sin combustión y el uso de productos. En el caso de la agricultura, los 46,2

CUADRO N.º 2

### ESTRUCTURA Y DINÁMICA SECTORIAL DE LAS EMISIONES

Sector	Mt. 2006	Porcentaje en 2006	Porcentaje Δ sobre 1990
1. Energía.....	338,3	78,1	59,1
1.A.1. Industrias energéticas.....	117,2	27,0	50,8
1.A.2. Manufacturas y construcción.....	70,6	16,3	51,2
1.A.3. Transporte.....	108,6	25,1	88,8
1.A.4. Otros sectores.....	37,9	8,7	43,6
1.B. Emisiones fugitivas.....	3,9	0,9	-6,3
Procesos industriales (sin combustión).....	35,1	8,1	33,4
Uso de disolventes.....	1,5	0,3	9,0
Agricultura.....	46,2	10,7	14,5
Tratamiento de residuos.....	12,3	2,8	73,0
Total GEI.....	433,3	100,0	50,6

Fuente: UNFCCC y elaboración propia.

Mt. no incluyen las emisiones derivadas de su consumo energético. De manera que se trata de emisiones derivadas de la fermentación entérica, quema de rastrojos, cultivos de arroz, etc... Las emisiones relativas al uso energético en la agricultura, excepto transporte, se encuentran en otros sectores, junto a los servicios y el consumo energético privado. Por otra parte, el transporte incluye cualquier tipo de transporte, comprendido el privado. Las llamadas emisiones fugitivas se refieren a fugas de petróleo y gas, principalmente derivadas del tratamiento y manejo de estos combustibles. Por último, el tratamiento de residuos incorpora tanto las emisiones procedentes de la incineración como las originadas en las plantas de tratamiento y disposición de residuos.

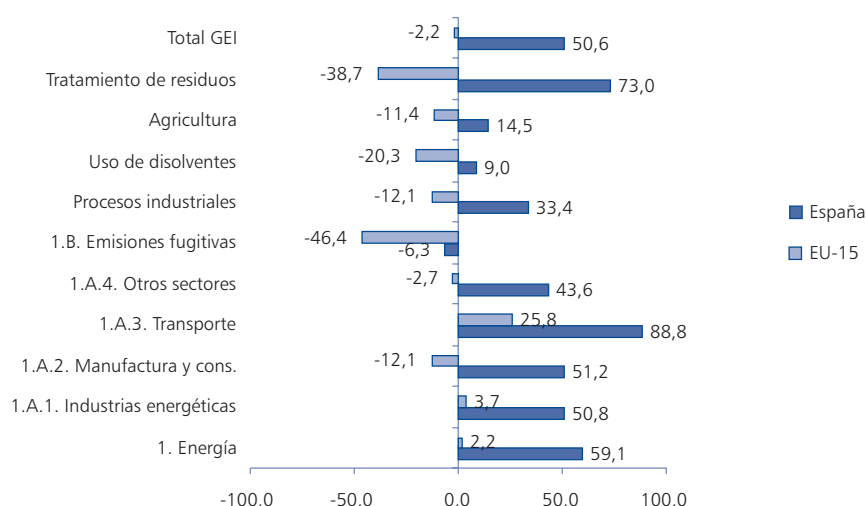
Como vemos, un 78,1 por 100 de las emisiones proceden del consumo energético, y en más de un 50 por 100 son responsabilidad, a partes prácticamente iguales, de las industrias energéticas y del transporte. Es obvio que la responsabilidad última de las emisiones vinculadas a la producción energética corresponde a los usuarios de dicha producción. Dicho esto, conviene notar que la gran responsabilidad en el crecimiento de las emisiones reside en el sector transporte en general y, en particular, en el transporte por carretera. Si consideramos la información proporcionada por la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2008), las emisiones de CO<sub>2</sub> co-

rrespondientes al consumo energético del sector transporte en España se distribuían en 2006 como sigue: un 87 por 100 el transporte por carretera, un 6,2 por 100 el transporte aéreo interior y tan sólo un 1,7 por 100 el ferrocarril. Ni que decir tiene que la movilidad vial por carretera constituye un aspecto clave de las posibles políticas que se diseñen para la mitigación de las emisiones de GEI. Volveremos en el siguiente apartado sobre esta cuestión.

Con excepción de las emisiones debidas a la fuga de combustibles, que además representan un mínimo peso en la emisión total, todos los sectores experimentaron crecimientos sustanciales, por lo que no es extraño nuestro alejamiento de los objetivos asignados para España, ni la asimetría de nuestra evolución a lo largo del período con respecto a la UE-15. Estas diferencias se hacen tanto más relevantes cuando se comparan las tasas de crecimiento sectoriales entre las dos partes, tal como hacemos en el gráfico 2.

El primer aspecto a enfatizar es el del transporte. Con una estructura en España basada en el transporte por carretera, tanto en el caso de las mercancías como de las personas, este sector está sometido a unos efectos de escala muy importantes, en tanto que los efectos de arrastre sobre el mismo son harto relevantes. Desde nuestro punto de vista, se hace cada vez más necesario un cambio

GRÁFICO 2  
TASAS DE VARIACIÓN COMPARADAS  
(Porcentaje)



drástico en las políticas de transporte en España. Se mire por donde se mire, éste es uno de los grandes problemas estructurales del país, desde una perspectiva tanto ecológica como económica. Otro aspecto destacable, desde la perspectiva de las emisiones vinculadas al consumo energético, es el de la industria, incluida la construcción. Nótese que ese crecimiento se refiere a emisiones directas; no se cuentan, pues, las emisiones indirectas, parte de las cuales están incluidas en las industrias energéticas, particularmente en el caso de los consumos eléctricos de la industria. Y lo mismo tendríamos que decir de los otros sectores, servicios y hogares, que experimentaron un nada despreciable incremento del 43,6 por 100. En ambos casos, en Europa, ha sucedido lo contrario, aunque el decrecimiento haya sido más sustancial en el caso de la industria.

Cabe preguntarse por las razones de este crecimiento de las emisiones industriales. Evidentemente, éstas dependen tanto de los tipos de combustibles utilizados, y sus factores de carbonización, como de los niveles de eficiencia energética y la escala de la producción. En un trabajo reciente, Alcántara (2009) ha puesto de manifiesto la delicada cuestión del repuntar de la intensidad energética, que no es sino el indicador opuesto a la eficiencia, en la industria española. Una cuestión que parecía superada, al menos para el sector industrial, y que nos debería impeler a desarrollar análisis más exhaustivos y detallados. Este aspecto del problema no es sólo relevante desde una perspectiva ambiental. Las pérdidas de eficiencia en el uso de la energía, que se plasman en un incremento de la intensidad energética, presentan además un claro coste monetario, aunque este último aspecto no corresponde al marco de estas páginas.

Con el fin de aproximarnos a una explicación del comportamiento observado en las emisiones, cabe, aunque sólo sea a un nivel contable, mostrar mínimos factores explicativos del comportamiento observado. A ello dedicamos el siguiente apartado.

### III. EMISIONES DE GEI Y ACTIVIDAD ECONÓMICA: APROXIMACIÓN A SUS FACTORES EXPLICATIVOS

En este apartado nos aproximaremos a la relación entre la evolución de la actividad económica española, desde principios de los noventa, y la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>. Como hemos señalado con anterioridad, las emisiones de GEI están íntimamente vinculadas al consumo energético; en un 78,1 por

100, como vimos. En las páginas que siguen mostraremos cómo la evolución de estas emisiones puede ser explicada combinando la progresión en el uso de energía primaria, que tiene una importancia crucial desde una óptica tanto económica como ecológica, con la dinámica de la actividad productiva y la población entre 1990 y 2007, último año para el que se dispone de información. Utilizaremos para ello relaciones poco complejas entre variables económicas y ambientales, mediante un modelo contable sencillo que nos permitirá hacer un primer diagnóstico de la relación que existe entre economía y emisión de gases de efecto invernadero.

La información sobre emisiones, entre 1990 y 2006, vinculadas al consumo energético procede de la información proporcionada por la UNFCCC en su web. Para 2007, hemos estimado las relativas al consumo energético a partir de la información que se detalla en Rodrigo y Santamarta (2008). La información sobre el PIB en paridad de poder adquisitivo y dólares constantes de 2000, así como las de población, proceden de la OECD (2008).

Si contemplamos las emisiones de GEI, medidas en unidades de CO<sub>2</sub>-eq, desde una perspectiva agregada, éstas pueden ser descompuestas según la siguiente identidad:

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t) \quad [1]$$

en la que  $C$  son las emisiones totales de GEI;  $EP$  es el consumo de energía primaria total reducido a unidades energéticas equivalentes (toneladas de petróleo, tep, julios, etc.);  $PIB$  se corresponde con las siglas del producto interior bruto en paridad de poder adquisitivo, como indicador del volumen de producción del área geográfica considerada, y  $POB$  es la población. Los indicadores están referidos a un período de tiempo determinado  $t$ , normalmente un año.

Conocida como la identidad de Kaya (1989), la expresión anterior nos dice que las emisiones de CO<sub>2</sub> dependen de las emisiones por unidad de energía primaria utilizada, un indicador de carbonización de los consumos energéticos; del consumo de energía primaria por unidad de PIB, lo que se conoce como intensidad energética; del PIB *per cápita*, una medida de la afluencia de bienes de que disfruta la sociedad, y, por último, del nivel de población como factor de escala. Esta descomposición puede verse como una de las habituales descomposiciones tipo IPAT (Commoner, 1992) que muestran la relación de los

impactos ambientales con los niveles de población, la afluencia de bienes y la tecnología de la sociedad.

Como exponen Alcántara y Roca (1995), los efectos que explican las emisiones de CO<sub>2</sub> se deben a los procesos de transformación del sector energético, el *mix*-energético, tanto en la transformación como en el uso final por parte de los distintos sectores productivos. Nuestro análisis no será tan exhaustivo (4), pero sí tendremos en cuenta el peso de la energía fósil en el consumo energético bruto. Para ello, reescribamos la expresión [1] como sigue:

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EFS(t)} \times \frac{EFS(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t) \quad [2]$$

El factor de carbonización (5) anterior ha quedado ahora descompuesto en dos factores, *C/EFS*, que entendemos que es, ahora, un indicador genuino de carbonización. En efecto, CO<sub>2</sub>/EFS nos está indicando la relación de las emisiones con la energía fósil consumida; por tanto, las variaciones en el *mix* de combustibles fósiles utilizados, habida cuenta de los distintos factores de emisión que poseen, vendrá recogida por este factor. Por otro lado, *EFS/EP* nos da el peso de estas fuentes energéticas en la energía primaria total. De tal manera que, desde la perspectiva del tipo de energía utilizado, las emisiones dependen tanto del tipo de fuentes fósiles utilizadas como de su intensidad de uso. Así las cosas, las emisiones de GEI pueden ser explicadas, cuando menos, por cinco factores. Un factor de carbonización dado por el primer factor a la derecha de la igualdad; un factor que expresa el *mix*-energético (muy agregado), segundo factor a la derecha de la igualdad; un factor de eficiencia dado por la relación entre energía primaria y producción, lo que se conoce como intensidad energética, y que se corresponde con el tercer factor a la derecha de la igualdad; un factor que recoge la afluencia de bienes a la sociedad y que se corresponde con el PIB per cápita, y, por último, el nivel de población. Podemos, a partir de la expresión [2], explicar el papel jugado por cada uno de los factores en la evolución de las emisiones.

### Descomposición factorial de las emisiones

A partir de la expresión [2], la variación de las emisiones puede ser descompuesta aditivamente en cinco efectos explicativos que se corresponden con los cinco factores descritos. Esto es:

$$ET = EC + EM + EI + EA + EP \quad [3]$$

De tal manera que la variación experimentada por las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que llamaremos *efecto total (ET)*, se explica por los cambios en el factor de carbonización medio de todos los sectores, que llamaremos *efecto carbonización (EC)*; de los cambios en la intensidad de uso de combustibles fósiles, que podemos llamar *efecto mix (EM)*; de la eficiencia en el uso de la energía, que podemos considerar como *efecto intensidad (EI)*; del nivel de producción per cápita, que llamaremos *efecto afluencia (EA)* y del volumen de población, que será el *efecto población (EP)*. Nótese que los efectos afluencia y población son efectos de escala, mientras que los restantes son efectos de cuyo comportamiento «amigable» con el medio ambiente depende lo que podríamos llamar el ahorro de emisiones (Sun, 1999a).

Con el fin de aligerar de matemáticas el cuerpo del texto, el desarrollo metodológico relativo a la descomposición se ha realizado en el apéndice metodológico. Se trata de una descomposición tipo Divisia, basada fundamentalmente en los trabajos de Ang y Liu (2001) y Wang *et al.* (2005).

Los resultados obtenidos, al aplicar la descomposición contable de la expresión [3] a la variación anual de las emisiones, se reflejan en el cuadro n.º 3.

Si consideramos el comportamiento de la emisión total, la evolución de los incrementos medios anuales no hacen sino reflejar lo que ya vimos en el gráfico 1: un incremento espectacular, particularmente a partir del año 1995, cuyo resultado ha sido un crecimiento de las emisiones en 138,3 Mt. de CO<sub>2</sub>-eq. Paralelamente, la descarbonización de la economía ha mantenido de forma sostenida un comportamiento favorable al medio ambiente global. Como señalábamos antes, el factor carbonización era un indicador puro, una vez se le aligeraba del componente dado por la composición del *mix* energético.

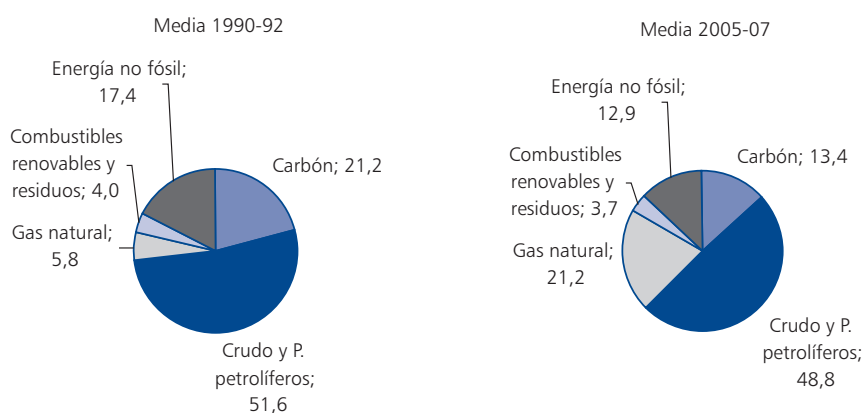
En efecto, la disminución del carbón, tal como muestra el gráfico 3, sustituido por gas natural, con un menor factor de emisión unitario, y la disminución del crudo y sus derivados han jugado evidentemente un papel positivo en la disminución de las emisiones. Sin embargo, al analizar el factor que hemos llamado *mix*, éste ha contribuido negativamente al comportamiento de la emisión. La razón de este comportamiento es obvia: la participación de los combustibles fósiles en la estructura de consumos energéticos no ha disminuido, sino que ha aumentado. Sólo la sustitución dentro de la estructura de estos combustibles fósiles ha permitido una cierta

CUADRO N.º 3

## VARIACIÓN ANUAL DE LAS EMISIONES DE GEI EN ESPAÑA (MT)

	EFECTOS EXPLICATIVOS					
	Total	Carbonización	Mix	Intensidad	Afluencia	Población
1990.....	0	0	0	0	0	0
1991.....	7,6	-1,2	0,4	2,9	3,7	1,7
1992.....	9,0	2,0	2,5	2,5	0,9	1,2
1993.....	-8,9	3,7	-3,6	-6,6	-3,4	1,1
1994.....	9,8	-4,8	2,1	7,2	4,4	0,9
1995.....	10,9	-2,5	2,6	4,3	5,5	0,9
1996.....	-12,4	-4,8	-4,5	-8,8	4,9	0,7
1997.....	18,9	-1,6	5,8	5,6	8,4	0,6
1998.....	6,7	-3,8	-1,7	1,3	10,4	0,6
1999.....	24,6	7,8	4,2	0,2	11,8	0,5
2000.....	10,7	-1,5	-1,7	-0,2	13,6	0,4
2001.....	3,7	-0,9	-2,7	-3,2	9,8	0,7
2002.....	18,4	4,3	5,4	0,7	7,1	1,0
2003.....	3,6	-5,6	-1,3	0,9	8,6	1,0
2004.....	17,0	-1,0	3,6	3,9	9,5	0,9
2005.....	15,5	2,1	6,9	-5,5	11,3	0,8
2006.....	-9,3	-4,6	-3,8	-13,9	12,2	0,8
2007.....	12,6	0,3	3,9	-4,5	12,0	0,9
	INCREMENTO MEDIO ANUAL DE LAS EMISIONES POR PERIODO EN Mt					
1990-1995.....	5,7	-0,5	0,8	2,1	2,2	1,2
1995-2000.....	9,7	-0,7	0,4	-0,4	9,8	0,6
2000-2007.....	12,3	-1,1	2,4	-4,3	14,1	1,2
1990-2007.....	8,1	-0,7	1,1	-0,8	7,7	0,9
	INCREMENTO TOTAL DE LAS EMISIONES EN Mt					
1990-2007.....	138,3	-11,9	18,2	-13,3	130,7	14,6

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 3  
DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA POR FUENTES

Fuente: OCDE (2008), y elaboración propia.



descarbonización, pero el incremento de su uso (6), especialmente a partir de 2000, ha compensado con creces ésta. Así, mientras que la disminución del CO<sub>2</sub> contenido en las fuentes fósiles permitía ahorrar 11,2 Mt. de este gas, el incremento experimentado por el mayor uso de combustibles fósiles fue de 18,2 Mt.

El otro factor que habría contribuido a la disminución de las emisiones de GEI, procedentes del consumo energético, es el efecto intensidad. Ciertamente, la disminución de energía primaria por unidad de PIB ha tenido, particularmente en los últimos años, un efecto favorable a la disminución de emisiones, prácticamente en pie de igualdad con el efecto descarbonización. Esto debe interpretarse como un esfuerzo muy poco significativo con respecto a las ganancias de eficiencia energética. Es más, si tenemos en cuenta que se trata de un indicador de eficiencia bruta, ni tan siquiera podemos afirmar que esta mínima aportación del efecto intensidad a la disminución de emisiones se deba a un uso eficiente de la energía en un sentido puro, esto es, desprovista de cambios en la estructura productiva. Como señalábamos al principio de este apartado, la intensidad energética bruta esconde toda una serie de factores a tener en cuenta a la hora de computar como eficiencia la disminución de ésta. En Alcántara (2009) se muestra, para el caso de las emisiones de GEI en el sector industrial español, que los cambios en la estructura productiva habrían posibilitado la disminución de estos gases en un 7 por 100, pero la ineficiencia en el uso final de la energía, esto es, el incremento de la intensidad energética final, ahora sí desprovista de los efectos de cambio estructural, habría dado lugar a un incremento de la emisión en torno a un 14,7 por 100 entre 1990 y 2005.

Por último, hemos de considerar los dos factores de escala que quedan por comentar. Por lo que respecta al incremento de población, éste ha supuesto un incremento de las emisiones, pero su peso es relativamente pequeño cuando lo comparamos con el otro factor de escala. El crecimiento económico es, sin duda, el factor que en mayor medida explica el alza de las emisiones. El incremento teórico que las emisiones habrían experimentado es de 130,7 Mt., que, junto al efecto población, habría supuesto 145,3 Mt. No obstante, lo que resulta particularmente grave es que, prescindiendo de la población, el incremento real de las emisiones entre 1990 y 2007 haya sido de 138,3 Mt., y que su incremento teórico por la afluencia de bienes a la sociedad haya sido menor. Es más, para todo el período, como se muestra en el cuadro, el crecimiento medio anual agregado de los dos factores de escala fue de 8,6 Mt., y

el incremento real medio fue de 8,1 Mt. Esto significa que no hemos sido capaces de ahorrar ni un mínimo millón de toneladas año. Lo que pone de manifiesto la necesidad de jugar fuerte en los cambios relacionados con la intensidad energética, —la eficiencia en definitiva—, y en la composición de nuestra cesta de consumos energéticos.

Aunque los modelos simples tipo IPAT no permiten hacer afirmaciones respecto a la influencia que las formas de vida y consumo tienen sobre los impactos ambientales (Roca, 2002), sí parece claro que, dada la relación tan lineal entre efecto afluencia y emisiones, algo tendrán que ver éstas con la situación resultante, así como con nuestro distanciamiento respecto los países de nuestro entorno.

#### IV. A MODO DE SÍNTESIS

Desde la posición de los distintos gases emitidos, hemos de referirnos de forma muy particular al CO<sub>2</sub>, el más importante de los GEI e íntimamente vinculado al consumo de combustibles. Si atendemos a los resultados expuestos en el último apartado, podemos decir que el esfuerzo por cambiar la situación ha sido mínimo. Hemos constatado que el comportamiento reductor de las variables —carbonización, *mix* energético e intensidad energética— de las que dependen los posibles «ahorros» de emisión ha sido prácticamente inexistente. Por otro lado, es necesario constatar que el sector 1.A.4, otros sectores (ver cuadro n.º 2), incluye a los hogares y al sector servicios, y que sus emisiones están vinculadas a su consumo energético directo. Si le imputásemos las generadas en el proceso de producción de electricidad, éstas se dispararían. Si ya es llamativo su crecimiento en un 43,6 por 100 en España, frente a un decrecimiento del 2,7 por 100 en Europa, ni que decir tiene cuál sería la situación. Aunque suele hablarse de las economías de servicios como de economías desmaterializadas, no se puede olvidar que los servicios colaboran de una forma significativa en las emisiones de CO<sub>2</sub>, si bien de una forma indirecta (Alcántara y Padilla, 2009).

Por más que la anotación anterior sea importante, no podemos dejar de plantear el problema del transporte, que se encuentra detrás del efecto afluencia, toda vez que forma parte de nuestras formas de producción y consumo. Creemos que no se puede tardar más tiempo en emprender una reforma estructural profunda del sector. Es simple y llanamente insostenible una situación en la que este sector tiene una participación en las emisiones totales prácticamente igual a la de las industrias energéticas, y

además contribuye a un incremento medio anual de sus emisiones del 5 por 100 aproximadamente.

Otro de los gases a tener en cuenta es el metano, y debería ser estudiado, desde una perspectiva sectorial, con detalle. Este gas, como apuntábamos, tiene su origen en determinados manejos agrarios y en el tratamiento de residuos. Pues bien, en 2006 las emisiones procedentes de la agricultura casi cuadruplicaban las relacionadas con los residuos. Si a ello añadimos la evolución opuesta en el período 1990-2006 en España y la UE-15 (ver gráfico 2), deberíamos preguntarnos qué nos hace tan diferentes, sobre todo cuando consideramos que la participación en la emisión total es prácticamente idéntica en ambas partes.

Por lo que se refiere a los otros gases distintos al CO<sub>2</sub>, estos tienen su origen en usos y técnicas de producción que afectan a sectores muy concretos. Dada su importancia en cuanto a poder de calentamiento, aunque su peso sea residual en el conjunto de las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq, es posible la implementación de políticas de menor complejidad que en los otros sectores productivos.

Existen muchas políticas ambientales al alcance de las autoridades pertinentes en cada caso; por tanto, no hay excusas para dilatar las soluciones a un problema muy notable. No obstante, aunque el caso de algunos de los problemas planteados permite una intervención a corto plazo, hay otros en los que las interacciones entre los agentes económicos y las relaciones técnicas entre sectores son complejas, y se debería proceder a un estudio riguroso de ellas. Ello permitiría la adopción de políticas coherentes y de un equilibrio general, incluida su cuantificación en indicadores pertinentes, tanto monetarios como físicos, no yendo a remolque de propuestas políticas, bien por imperativo legal o por conveniencia política, que sean ajenas a las condiciones económicas y ecológicas del país.

#### NOTAS

(\*) El autor agradece el soporte financiero del proyecto 2009SGR-600 y de la XREPP (Direcció General de Recerca). Así como al proyecto ECO2009-10003 (Ministerio de Ciencia e Innovación).

(1) Son los países industrializados que eran miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en 1992, más los países en proceso de transición a una economía de mercado, en particular, la Federación de Rusia, los estados bálticos y varios estados de Europa central y oriental.

(2) La única información existente para 2007 sobre estas emisiones es la de los citados autores. Para las comparaciones con los países de nuestro entorno hemos utilizado las disponibles hasta 2006 de la UNFCCC.

(3) El INE abordó esta tarea al desarrollar, para la contaminación atmosférica, el sistema NAMEA de cuentas ambientales. No obstante, este desarrollo se queda en 2003, lo que limita considerablemente las posibilidades analíticas.

(4) El lector interesado en un análisis detallado de los temas planteados puede consultar ALCÁNTARA (2007).

(5) Los matices en torno al concepto de carbonización surgen al referir ésta a la llamada curva de Kuznets ambiental y sus factores explicativos. De forma general, se utiliza para la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de energía primaria. Otros autores se refieren a la relación entre este gas y el PIB a precios constantes, aunque nosotros preferimos referirnos a esta relación como intensidad de emisión. Para no extendernos con esta cuestión, el lector interesado puede consultar: ANG (1999a), MIELNIK y GOLDBERG (1999), SUN (1999b) y ROCA y ALCÁNTARA (2001 y 2002).

(6) La energía primaria en España experimentó entre 1990 y 2007, un crecimiento del 62,4 por 100, mientras que la parte fósil creció un 72,8 por 100, la energía primaria no fósil se incrementó en tan sólo un 14,7 por 100.

#### BIBLIOGRAFÍA

AIE: International Energy Agency (2008), *CO2 Emissions from Fuel Combustion, 1971 – 2006*, Sourcecode Database, Energy Statistics Division, París.

ALCÁNTARA, V. (2007), «Actividad económica y emisiones de CO<sub>2</sub> en España», en MARTÍN VIDE, J.; LLEBOT RABAGLIATI, J.E.; PADILLA, E., y ALCÁNTARA, V. (eds.).

— (2009), «Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria española: una primera aproximación a la situación actual», *Economía industrial*, n.º 371: 49-57.

ALCÁNTARA, V., y PADILLA, E. (2009), «Input-output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO<sub>2</sub> emissions in Spain», *Ecological Economics*: 905-914

ALCÁNTARA, V., y ROCA, J. (1995), «Energy and CO<sub>2</sub> emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980- 1990», *Energy Economics*, 17 (3): 221-230.

ANG, B.W. (1999a), «Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?», *Energy Policy*, 27: 943-946.

— (1999b): «Decomposition methodology in energy demand and environmental análisis», en Jeroen C.J.M. VAN DEN BERGH, *Handbook of Environmental and Resources Economics*, Edward Elgar, Chentelham, Reino Unido: 1146-1163.

ANG, B.W., y LIU, F.L. (2001), «A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation», *Energy*, 26: 537-548.

ANG, B.W., y ZHANG, F.Q. (2000), «A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies», *Energy*, 25(12): 1149-1176.

BRUCE, J.P., HOESUNG, L., y HAITES, E.F. (eds.) (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 University Press.

CHOI, KI-H., y ANG, B.W. (2003), «Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference», *Energy Economics*, 25: 615-624

COMMONER, B. (1992), *En paz con el planeta*, Ed. Crítica, Barcelona.

GOLDEMBERG, J.; SQUITIERI, R.; STIGLITZ, J., *et al.* (1996), «Introduction: Scope of the Assessment», en BRUCE, J.P. *et al.* (eds.).

IPCC (1995), *IPCC, Climate Change*. Informe consultable en Internet.

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*, mayo, citado en GOLDEMBERG, J. *et al.*, (1996).

LIU, F. L., y ANG, B.W. (2003), «Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry», *Applied Energy*, 76: 15-23.

MARTÍN VIDE, J.; LLEBOT RABAGLIATI, J.E.; PADILLA, E., y ALCÁNTARA, V. (eds.). *Aspectos económicos del cambio climático en España*, Caixa Catalunya, Barcelona: 42-64.

MIELNIK, O., y GOLDEMBERG, J., (1999), «The evolution of the carbonization index in developing countries», *Energy Policy*, 27: 307-308.

OECD, (2008), *Energy Balances of OECD Countries, 2005-2007*, Head of Publications Service OECD, París.

ROCA, J. (2002), «The IPAT formula and its limitations», *Ecological Economics*, vol 42/1.

ROCA, J., y ALCÁNTARA, V. (2001), «Energy intensity, CO<sub>2</sub> emissions and the environmental Kuznets curve. The spanish case», *Energy Policy*, 29: 553-556.

— (2002), «Economic growth, energy use, and CO<sub>2</sub> emissions», en BLACKWOOD, J.R. (ed.), *Energy Research at the Cutting Edge*, Nova Science Publishers, Nueva York.

RODRIGO, F., y SANTAMARTA, J. (2008), *Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990 - 2007)*, Confederación Sindical de Comisiones Obreras, Departamento de Medio Ambiente, mayo.

SUN, J.W. (1999a), «Decomposition of aggregate CO<sub>2</sub> emissions in the OECD: 1960-1995», *The Energy Journal*, 20, 3: 147-155.

— (1999b), «The nature of CO<sub>2</sub> emissions Kuznets curve», *Energy Policy*, 27: 691-694.

TÖRNQVIST, L. (1935), «A memorando concerning the calculation of Bank of Finland consumption price index», citado por ANG (1999a).

TÖRNQVIST, L.; VARTIA, P., y VARTIA, Y. (1985), «How should relative changes be measured?», *The American Statistician*, 39 (1): 43-46.

WANG, C.; CHEN, J., y ZOU, J. (2005), «Decomposition of energy-related CO<sub>2</sub> emission in China: 1957-2000», *Energy*, 30: 73-83.

### APÉNDICE METODOLÓGICO

El problema de la descomposición de la evolución de una variable en efectos explicativos, no es nuevo. En realidad, como ha señalado Ang (1999a), el problema es similar al problema de los números índices en economía. Törnqvist (1935) ya se planteaba este problema hace bastantes años, y fue retomado nuevamente por Törnqvist *et al.* (1985) planteando cuestiones relativas a problemas que nada tenían que ver con los problemas energéticos y los impactos ambientales. A partir de los primeros años de la década de los ochenta, la descomposición en factores fue ampliamente desarrollada en el análisis de la demanda industrial de energía. Más recientemente, la necesidad de disponer de instrumentos de diagnóstico en los problemas relativos a las emisiones contaminantes en general, y a las emisiones de CO<sub>2</sub> en particular, ha dado lugar al desarrollo de técnicas analíticas de descomposición desde distintos enfoques. Desde una perspectiva metodológica, el lector debería considerar esta técnica analítica como un problema de análisis de números índices, no comparable a instrumentales más potentes como, pongamos por caso, el análisis de descomposición estructural *input-output* o desarrollos estadísticos más potentes. Una buena síntesis de los métodos de descomposición y abundantes referencias a las propuestas de otros autores se encuentra en Ang y Zhang (2000). Y una discusión matemática rigurosa sobre la descomposición de la intensidad energética y su tratamiento analítico se encuentra en Liu y Ang (2003) y Choi y Ang (2003).

Partiendo de la expresión [2] del texto,

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EFS(t)} \times \frac{EFS(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

Con el fin de simplificar las expresiones, sea

$$c_t = \frac{C(t)}{EFS(t)}, f_t = \frac{EFS(t)}{EP(t)}, e_t = \frac{EP(t)}{PIB(t)}, y_t = \frac{PIB(t)}{POB(t)} \text{ y } n_t = POB(t)$$

La expresión anterior la podemos volver a escribir como sigue:

$$C_t = c_t \times f_t \times e_t \times y_t \times n_t$$

El incremento anual de las emisiones de CO<sub>2-*eq*</sub> (C<sub>t</sub>) se puede descomponer de la siguiente forma:

$$\Delta C_t = L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{C_t}{C_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{f_t}{f_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{e_t}{e_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{w_t}{w_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{y_t}{y_{t-1}} + L(C_t, C_{t-1}) \ln \frac{n_t}{n_{t-1}}$$

En la que,

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

es un factor de ponderación que garantiza una descomposición aditiva exacta, esto es, sin residuos. La descomposición planteada no es sino 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.

Si  $t = 0$  es el año que tomamos como base (en el texto, 1990) y  $C(F)_t$  la variación acumulada de las emisiones debidas a un factor cualquiera  $F$ , hasta el año  $t$ , referidas a un año base, éstas vendrían dadas por:

$$C(F)_t = \sum_0^t \Delta C(F)_t \quad [A.1]$$

Y así para todos los factores.