

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO₂ Y SUS FACTORES EXPLICATIVOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DEL MUNDO¹

Vicent Alcántara Escolano y Emilio Padilla Rosa*

Fecha de recepción: 24 de febrero de 2005

Fecha de aceptación y versión final: 8 de marzo de 2005

Resumen: En el presente artículo se analiza la evolución de las emisiones de CO₂ –el principal gas de efecto invernadero– en las diferentes áreas del mundo, prestando mayor atención a lo ocurrido en la Unión Europea y España. El análisis se centra especialmente en lo sucedido desde 1990, año de referencia en el protocolo de Kyoto para la gran mayoría de países. Se investigan también los principales factores determinantes de las emisiones y su evolución utilizando el análisis de los factores de la identidad de Kaya. El análisis permite explicar las grandes diferencias que se dan entre unas zonas y otras y las distintas variaciones que se han dado a lo largo del tiempo.

Palabras clave: diferencias entre regiones, evolución de emisiones, identidad de Kaya, protocolo de Kyoto.

Abstract: This article analyses the evolution of CO₂ emissions –the major greenhouse gas– in the different regions of the world, paying special attention to what has happened in the European Union and Spain. The analysis focuses especially in what has happened since

* Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona, Edificio B, 08193 Bellaterra (Cerdanyola), Barcelona.

¹ Los autores desean agradecer el apoyo financiero de los proyectos BEC2003-1831, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, y 2001SGR160, de la Direcció General de Recerca.

1990, base year for the Kyoto Protocol for most countries. The article also studies the main driving forces of the emissions and of their evolution by means of the analysis of the Kaya factors identity. The analysis explains the great differences between regions and the different changes over time.

Key words: differences between regions, evolution of emissions, Kaya identity, Kyoto Protocol.

1. Evolución de las emisiones de CO₂

El aumento en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera causado por la actividad humana es el principal factor responsable de la intensificación del efecto invernadero y el cambio climático resultante². A pesar de que esto es ya una evidencia incontestable y los efectos del cambio climático ya se empiezan a notar, no parece que la alarma despertada haya conllevado una actuación decidida para reducir las emisiones y mitigar los efectos del cambio climático. En el presente apartado analizaremos la evolución de las emisiones durante tres décadas, centrándonos en lo ocurrido a partir de 1990, año para el cual ya existía abundante evidencia sobre el fenómeno del cambio climático y que sirve de referencia para los acuerdos de control de emisiones alcanzados en el protocolo de Kyoto.

Para realizar el análisis se han empleado los datos de emisiones de la Agencia Internacional de la Energía. Estos datos abarcan el período 1971-2001. Hay que tener en cuenta que estos datos no coinciden exactamente con los inventarios que los países presentan al IPCC, ya que no incluyen las emisiones que no se derivan de la quema de combustibles fósiles (como las generadas en la producción de cemento) y porque, en algunas ocasiones, los países pueden utilizar distintos criterios para contabilizar las emisiones. No obstante, la evolución de ambos inventarios es muy similar.

En nuestro análisis compararemos la evolución de las emisiones respecto a los compromisos de Kyoto, aunque se ha de tener en cuenta que éstos se refieren al total de gases de efecto invernadero y no solo al CO₂. La comparación es relevante, ya que el CO₂ representa más de un 75% del total de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, expresadas en CO₂ equivalente (OECD, 2001).

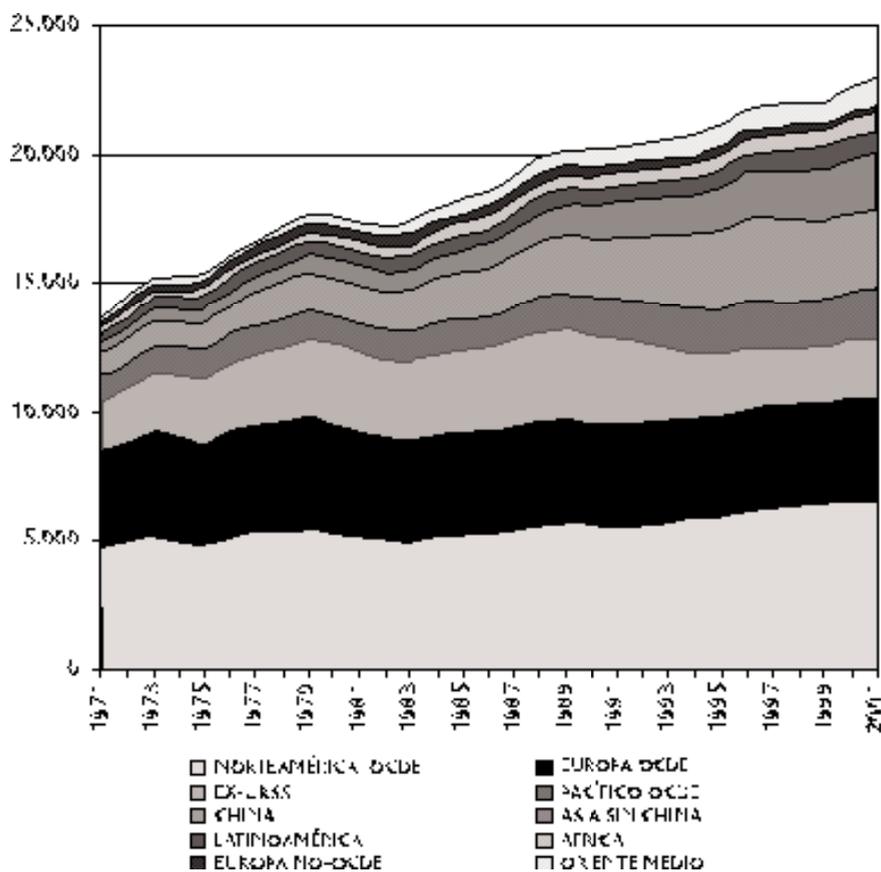
1.1. Evolución de las emisiones de CO₂ en las diferentes áreas del mundo

Las emisiones mundiales de CO₂ han experimentado un gran crecimiento

² En el caso de España, las emisiones de CO₂ representan el 81% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad humana expresadas en CO₂ equivalente.

entre 1971 y 2001, si bien podemos observar diversas etapas en este periodo (ver Figura 1). Las emisiones crecieron de forma importante los tres primeros años de la muestra, lo que se vio interrumpido con la primera crisis energética, que llevó a que se estabilizaran hasta 1975. Superada la primera crisis se dio un fuerte crecimiento hasta 1979, año a partir del cual se produjo una reducción de las emisiones mundiales como consecuencia del alza de precios del petróleo y la crisis económica mundial. Entre 1984 y 1989, se da, de nuevo, un importante aumento que se ve frenado con la descomposición y crisis del bloque soviético, a partir de 1990, que causó una considerable reducción de las emisiones de la antigua Unión Soviética y Europa del este. Durante los años en que cayeron las emisiones de la URSS, se mantuvieron casi estables las emisiones mundiales. Pero a partir de 1996, ha vuelto a darse un fuerte crecimiento, centrado en buena parte en China y otros países asiáticos.

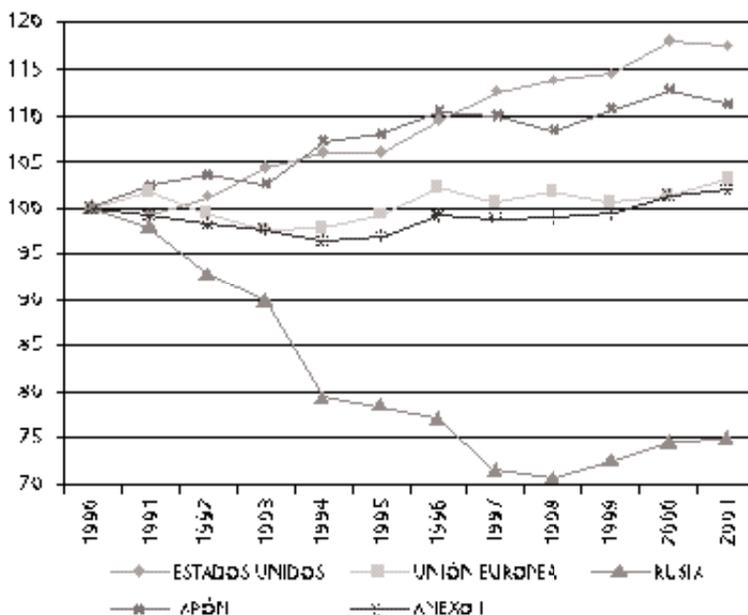
Figura 1. Evolución de las emisiones de CO₂, 1971-2001



Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

En cuanto al comportamiento de los distintos bloques de países, la Figura 2 muestra la evolución entre 1990 y 2001, en números índice, de las emisiones de CO₂ de los países del Anexo I y los principales países emisores incluidos en el mismo.

Figura 2. Evolución de las emisiones de CO₂ en los principales países del Anexo I entre 1990 y 2001 (1990=100)



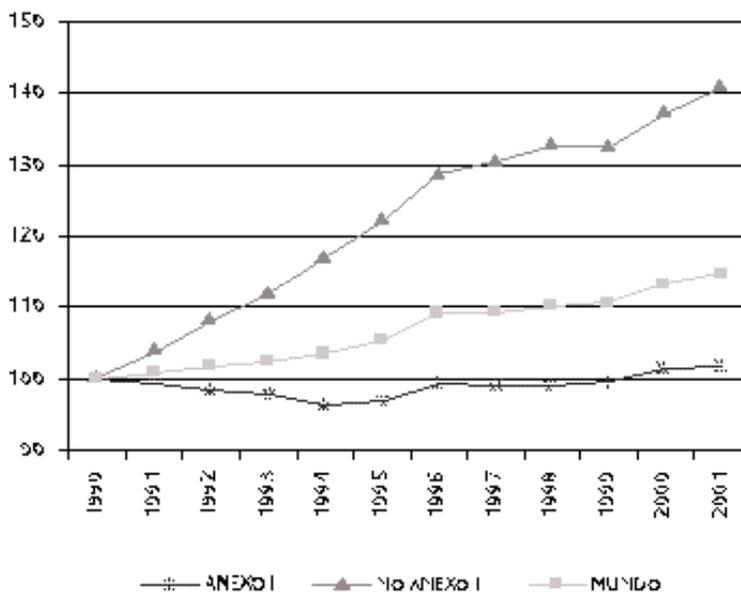
Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Los países del Anexo I no han logrado estabilizar sus emisiones en 2001 al nivel de 1990 (el objetivo inicial de la Convención Marco sobre Cambio Climático era estabilizarlas en el año 2000), aunque tampoco se habrían distanciado en exceso de este primer objetivo. Claramente, puede observarse que esta moderada evolución de las emisiones de este grupo de países se ha visto facilitada por la fuerte caída en las emisiones de Rusia (llegando en 1998 a ser un 30% inferiores a las de 1990) y un comportamiento también moderado de las emisiones de la Unión Europea (aquí y en el resto del trabajo cuando hablamos de la UE hacemos referencia a los 15 países que formaban parte de la misma cuando se firmó el protocolo). En cambio, en el caso de Estados Unidos, el principal país emisor, se ha dado un importante crecimiento (17,56%).

Pero la moderada evolución de las emisiones de los países del Anexo I no ha conllevado una tendencia a la estabilización de las emisiones mundiales. En la Figura 2 se observa cómo las emisiones de los países no incluidos en el Anexo I habían crecido en 2001 en un 40,9% respecto al nivel de 1990, lo que se ha tra-

ducido en un aumento de las emisiones mundiales de CO₂ en un 14,6%.

Figura 3. Evolución de las emisiones de CO₂ del grupo de países incluidos en el Anexo I, el grupo de los no incluidos y las mundiales entre 1990 y 2001 (1990=100)



Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Según el protocolo de Kyoto, los países incluidos en el Anexo I del mismo³, deberían reducir sus emisiones globales de gases de efecto invernadero en un 5,2% para el promedio de las emisiones del periodo 2008-2012⁴. Esta reducción sería el resultado de los diferentes compromisos de reducción pactados para cada grupo de países. No obstante, los objetivos de cada país, o grupo de países, eran distintos en función de los acuerdos alcanzados. La reducción acordada en el caso de la Unión Europea era del 8%, Estados Unidos el 7%, Japón el 6%, Rusia un 0% e incluso a algún país se le permitía cierto aumento (p.e., Noruega un 1%, Australia un 8% e Islandia un 10%). Una muestra de lo moderado del compromiso es que, aún en caso de cumplirse, esto no garantizaría que se estabilizaran las emisiones mundiales, dado que la pequeña reducción de los países más ricos

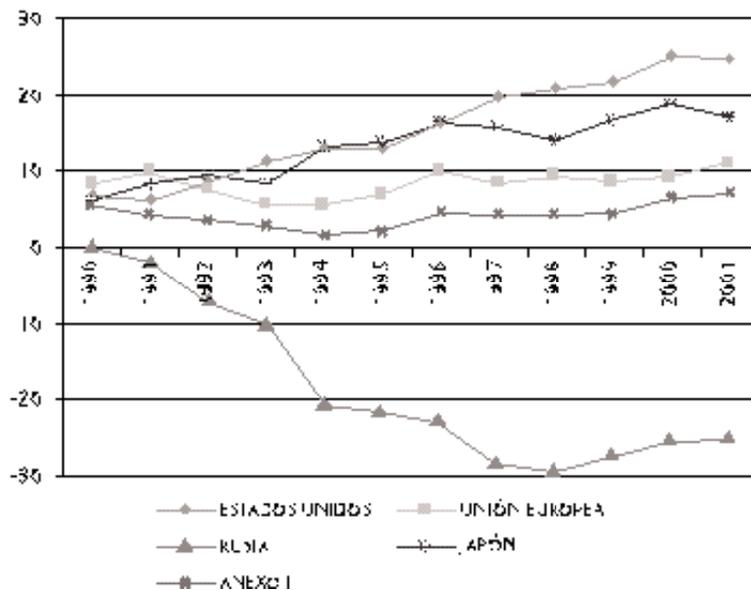
³ El Anexo I recoge los países que eran miembros de la OCDE cuando se firmó la Convención Marco sobre Cambio Climático (incluyendo la Unión Europea) y 14 países de Europa central y del este y de la antigua Unión Soviética.

⁴ Los seis gases contemplados por el protocolo son: CO₂, CH₄, N₂O, los HFC, los PFC y el SF₆. No se incluyen los CFC por estar ya regulados por otro acuerdo internacional (el protocolo de Montreal). Para los tres últimos gases se permite considerar 1995 como año base. El compromiso se refiere al agregado de los seis gases que se suman en toneladas de CO₂-equivalente según los valores de potencial de calentamiento global fijados por el segundo informe del IPCC (1995), valores basados en los efectos de los gases de efecto invernadero en un horizonte temporal de 100 años.

se vería sobrepasada por el aumento en otros países.

La Figura 4 muestra la diferencia, expresada en porcentaje, entre la evolución de las emisiones de CO₂ del Anexo I y los principales países incluidos en el mismo y el objetivo acordado en Kyoto a alcanzar en el período 2008-2012 para el conjunto de los gases de efecto invernadero.

Figura 4. Distancia de las emisiones de CO₂ de los principales países respecto al objetivo fijado en Kyoto para el conjunto de gases de efecto invernadero



Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Mientras que para el conjunto de los países del Anexo I la distancia respecto al objetivo es más amplia que en 1990, en el caso de Rusia existe un amplio margen para cumplir con el objetivo, debido a la importante reducción experimentada entre 1990 y 1998. De hecho, cuando se estaban llevando a cabo las negociaciones del protocolo, en 1997, Rusia ya disponía, en el caso de las emisiones de CO₂, de un margen de un 30% por debajo de la meta acordada para el conjunto de gases de efecto invernadero. Este margen se conoce como "aire caliente" y le podría permitir obtener importantes ingresos en un mercado de emisiones entre países. Este fue uno de los principales motivos por los que Rusia firmó el protocolo y lo ha ratificado a finales de 2004⁵. Esta ratificación ha permitido que el protocolo entre en vigor en febrero de 2005, al conseguir superar la

⁵ Otra de las contrapartidas conseguidas por Rusia es el apoyo de la Unión Europea a su ingreso en la Organización Mundial del Comercio. Al no participar los Estados Unidos, el precio del "aire caliente" es mucho menor al haber menos demanda del mismo, argumento que ha sido utilizado para presionar a la Unión Europea y Japón en las negociaciones.

cifra mínima de 55 países, entre los cuales se incluyen países del Anexo I que superan el porcentaje de emisiones requerido para su puesta en marcha (un mínimo del 55% de las emisiones de este grupo en 1990). En total, hasta el momento de su puesta en marcha lo han ratificado 141 países, entre los que se incluyen 37 países del Anexo I con el 61,6% de las emisiones de este grupo en 1990.

1.2. Evolución de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea y en España

Dentro de la Unión Europea se acordó una distribución de la carga de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero entre los diferentes países, de forma que, mientras que algunos países como Alemania o Dinamarca debían reducir sus emisiones en un 21%, otros, con menos emisiones per cápita, tenían cierto margen para aumentarlas, como es el caso de España con un 15%, Grecia con un 25% y Portugal con un 27% de aumento permitido. La Tabla 1 muestra la evolución de las emisiones de CO₂ en los distintos países comunitarios y la distancia entre esta evolución y la meta que se había marcado para el conjunto de los gases de efecto invernadero.

Tabla 1. Evolución de las emisiones de CO₂, en números índice, y distancia respecto al objetivo de Kyoto para 2008-2012 y el conjunto de los gases de efecto invernadero, en porcentaje de emisiones

	Evolución de las emisiones de CO ₂			Distancia respecto meta de Kyoto para GEI		
	1990	1997	2001	1990	1997	2001
Austria	100	113,78	117,82	13	26,78	30,82
Bélgica	100	110,06	111,89	7,5	17,56	19,39
Dinamarca	100	121,26	99,78	21	42,26	20,78
Finlandia	100	111,28	109,55	0	11,28	9,55
Francia	100	102,55	109,12	0	2,55	9,12
Alemania	100	91,42	88,18	21	12,42	9,18
Grecia	100	112,54	127,73	-25	-12,46	2,73
Irlanda	100	118,14	142,47	-13	5,14	29,47
Italia	100	103,40	106,30	6,5	9,90	12,80
Luxemburgo	100	74,69	80,32	28	2,69	8,32
Holanda	100	111,24	112,94	6	17,24	18,94
Portugal	100	124,29	149,08	-27	-2,71	22,08
España	100	117,42	138,30	-15	2,42	23,30
Suecia	100	103,32	93,90	-4	-0,68	-10,10
Reino Unido	100	93,57	96,52	12,5	6,07	9,02
Unión Europea	100	100,51	103,15	8	8,51	11,15

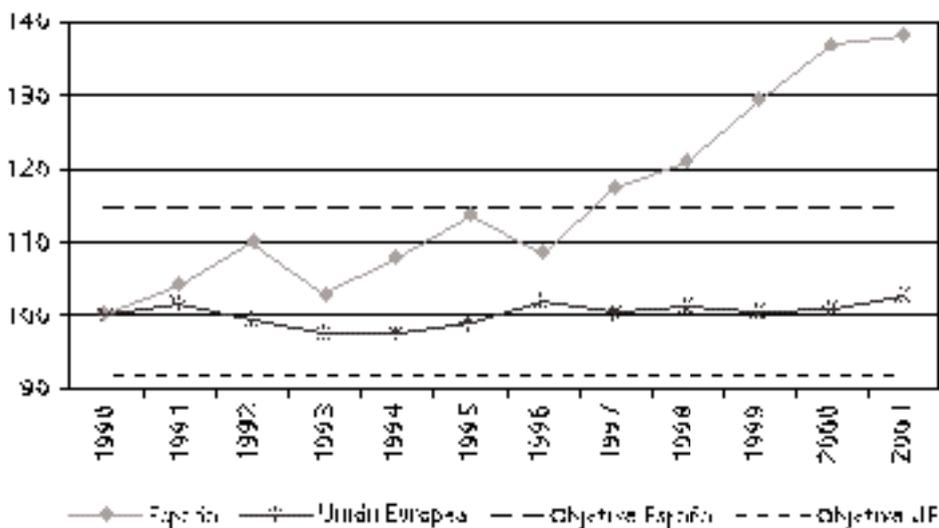
Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

En cuanto a la evolución de las emisiones de CO₂, destaca el gran aumento en los países menos ricos que, además, partían de una situación con menores emisiones per cápita, como es el caso de Portugal, España y Grecia. También aumentan fuertemente en Irlanda, país cuyo fuerte crecimiento económico en la década de los 90 le lleva de estar entre los 4 más pobres a estar entre los más ricos. Por otro lado, cinco países de la Unión tenían en 2001 unas emisiones ligeramente menores a las que tenían en 1990 (Dinamarca, Reino Unido, Suecia, Alemania y Luxemburgo). En el caso de Alemania, habría sido en parte a causa del desmoronamiento de la industria de la antigua RDA a principios de los 90. Sólo en Suecia se habría conseguido alcanzar ya para el CO₂ el objetivo marcado para el conjunto de gases (que era un 4% de aumento) y países como Alemania y Luxemburgo han conseguido una notable reducción, aunque la reducción de CO₂ está aún lejos del objetivo marcado para el conjunto de gases de efecto invernadero. En el extremo opuesto se sitúan Austria, Irlanda, España y Portugal, con entre un 20 y un 30% de emisiones por encima del objetivo en 2001.

Como resultado, la Unión Europea está hoy en día más lejos de cumplir su compromiso que cuando se firmó el protocolo en 1997. Dado que el CO₂ representa unos 4/5 del total de emisiones expresadas en CO₂ equivalente, queda, pues, todo el trabajo por hacer.

En la Figura 5 se observa la evolución de las emisiones de CO₂ y su distancia respecto a la meta de Kyoto para el conjunto de gases de efecto invernadero para España y la Unión Europea:

Figura 5. Evolución de emisiones de CO₂ y distancia respecto a meta de España y la Unión Europea



Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Las emisiones de CO₂ en España han aumentado hasta 2001 en un 38,3%. No obstante, según el inventario de emisiones del ministerio de medio ambiente (que incluye las emisiones que no derivan de la quema de combustibles fósiles), el aumento de las emisiones de CO₂ ha sido algo menor, de un 35,11%, mientras que para el conjunto de las distintas emisiones de gases de efecto invernadero ha sido de un 32,06% (ver Roca y Padilla, 2004). Así, el comportamiento de otros gases con menor importancia relativa no habría compensado el fuerte crecimiento en el CO₂.

La evolución de España ha sido una de las peores de los países miembro de la Unión Europea y aún se ha acentuado más en los años posteriores a la muestra. En 2002 las emisiones del conjunto de gases de efecto invernadero habían superado en un 40% a las del año base, mientras que en la UE-15, éstas estaban un 2,9% por debajo del nivel del año base (EEA, 2004). Según los datos de que disponemos actualmente, el incremento ya superaba en 2003 en más de un 40% las emisiones de CO₂ de 1990, un 25% por encima de lo acordado en Kyoto, y todos los datos (fuerte aumento del consumo de energía durante 2004), indican que en 2004 éstas han seguido aumentando a un fuerte ritmo. De hecho, el último informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, 2004) ha señalado a España como el país que en 2002 más se alejaba de una hipotética senda lineal que llevara a cumplir con el protocolo de Kyoto para el conjunto de gases de efecto invernadero.

2. Los factores determinantes de la evolución de las emisiones de CO₂

En el apartado anterior se ha visto que las emisiones mundiales de CO₂, lejos de estabilizarse, han experimentado un importante crecimiento en los últimos años. Únicamente el desmoronamiento y la reconversión de la industria de la antigua Unión Soviética han permitido que las emisiones mundiales prácticamente se estabilizaran durante algunos años y que las emisiones de los países del Anexo I sólo aumentaran ligeramente en el período.

Claramente, uno de los factores que hay detrás del aumento de emisiones mundiales de CO₂ es el crecimiento de la actividad económica. No obstante, este crecimiento puede ser debido a una mayor prosperidad de los habitantes, o simplemente a un aumento de la población. Por otro lado, las diferentes tecnologías utilizadas en la producción pueden hacer que se contamine más o menos en función de la necesidad de energía, o en función del tipo de energía que se utilice. Existen múltiples factores que influyen en el nivel de emisiones de CO₂, como son el desarrollo económico, el crecimiento demográfico, el cambio tecnológico, las dotaciones de recursos, las estructuras institucionales, los modelos de transporte, los estilos de vida y el comercio internacional.

Una herramienta analítica utilizada frecuentemente para explorar cuáles son las principales fuerzas motrices causantes de este comportamiento contaminante

es la identidad de Kaya (1989) (ver p.e., Yamaji et al., 1991). Según esta identidad, las emisiones de un país se descomponen en el producto de cuatro factores básicos (que, a su vez, se ven influenciados por otros factores): índice de carbónización o intensidad de carbono de la energía (definida como el CO₂ emitido por unidad de energía consumida, $\frac{CO_{2i}}{E_i}$), la intensidad energética (definida como la energía consumida por unidad de PIB, $\frac{E_i}{PIB_i}$), la renta económica (definida como el PIB per cápita, $\frac{PIB_i}{P_i}$) y la población (P_i).

$$CO_{2i} = \frac{CO_{2i}}{E_i} \cdot \frac{E_i}{PIB_i} \cdot \frac{PIB_i}{P_i} \cdot P_i$$

El primer componente refleja la combinación de combustibles o fuentes energéticas de un país, el segundo está asociado a la eficiencia energética en la provisión de diferentes bienes y servicios, pero también a otros factores, teniendo especial relevancia el modelo de transporte y la estructura sectorial de la economía, mientras que el tercero es una medida de renta económica⁶. A su vez, el producto de los dos primeros factores nos muestra la intensidad de emisiones del PIB ($\frac{CO_{2i}}{PIB_i}$) y si pasáramos la población al lado izquierdo de la ecuación tendríamos la descomposición de las emisiones per cápita ($\frac{CO_{2i}}{P_i}$).

El enfoque de los factores de Kaya permite descomponer las principales fuerzas determinantes de las emisiones de CO₂. No obstante, uno de sus inconvenientes es que esos principales factores determinantes pueden no ser independientes entre sí (p.e., países con mayor bienestar económico podrían desarrollar tecnologías más eficientes gracias a un mayor nivel de capital, llevando a menores intensidades energéticas.)

⁶ Esta identidad es una aplicación de un enfoque más general para discutir las fuerzas determinantes de los impactos ambientales, la identidad llamada IPAT, que relaciona los impactos (I) con la población (P) multiplicada por la afluencia o prosperidad económica (A) y la tecnología (T).

Tabla 2. Descomposición de las emisiones del año 2001⁷

	Factores de Kaya						
		Índice carbonización	Intensidad Energética	PIB per cápita	Población	Intensidad emisiones del PIB	Emisiones per cápita
	CO ₂	CO ₂ /E	E/PIB	PIB/P	P	CO ₂ /PIB	CO ₂ /P
Norteamérica	6551,73	2,44	252,59	25,52	416,10	617,07	15,75
OCDE	3988,70	2,21	183,44	18,72	524,54	406,16	7,60
Europa OCDE	2239,79	2,39	628,02	5,15	289,09	1503,88	7,75
Ex-URSS	1970,59	2,32	194,59	22,06	197,87	451,43	9,96
Pacífico OCDE	3112,64	2,69	237,64	3,80	1278,58	640,05	2,43
China	2179,32	1,89	208,33	2,86	1935,20	394,03	1,13
Asia (sin China)	841,82	1,87	170,68	6,25	421,91	319,35	2,00
Latinoamérica	720,23	1,40	302,87	2,09	812,51	424,12	0,89
África	253,52	2,56	284,83	6,01	57,90	728,21	4,38
Europa no OCDE	1044,57	2,68	387,53	5,95	168,85	1038,88	6,19
Oriente Medio							
<i>Mundo</i>	23683,75	2,33	239,89	6,94	6102,56	558,92	3,88
<i>países Anexo I</i>	13802,63	2,35	236,20	20,01	1239,89	556,24	11,13
<i>países no-Anexo I</i>	9100,30	2,18	237,35	3,61	4862,68	518,24	1,87
<i>Coefficiente de variación x 100</i>		17,44	45,64	84,03		53,38	76,48

Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Nota: Emisiones per cápita en toneladas por habitante; Índice de carbonización en toneladas de CO₂ por toneladas energía primaria en equivalente de petróleo; Intensidad energética en toneladas de energía primaria en equivalente de petróleo por millón de dólares de 1995 en poder de paridad de compra; Intensidad de carbono del PIB en toneladas de CO₂ por millón de dólares de 1995 en paridad de poder de compra; PIB per cápita en miles de dólares por habitante de 1995 en paridad de poder de compra. El coeficiente de variación es el de las diez regiones consideradas y está calculado sin ponderar por población.

En cuanto a las diferencias entre regiones, destaca el hecho de que China y el resto de Asia juntas emitan menos emisiones que la región de Norteamérica,

⁷ Las emisiones totales mundiales incluyen los búnkeres marinos y de aviación, es decir, el combustible utilizado por los barcos y aviones de cualquier bandera encargados de tráfico internacional, incluidos los barcos de guerra, que no se contabilizan en las emisiones de los países.

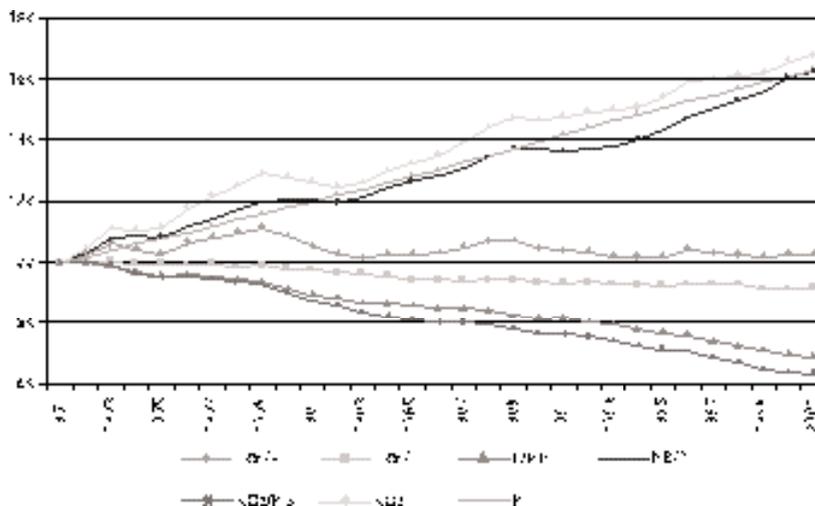
cuando tienen casi 8 veces más población. Los grupos de países seleccionados hacen referencia a territorios con un tamaño y una población muy diferentes, con lo que resulta más relevante centrar el análisis comparativo en las emisiones per cápita, si bien después se analizará la influencia de las diferentes tasas de crecimiento de población sobre las emisiones totales. Observando los datos, claramente, el principal factor explicativo de las grandes diferencias en las emisiones per cápita de los distintos países es la diferencia en el PIB per cápita. Este factor oscila entre los 2,09 mil dólares de África y los 25,52 de Norteamérica (una proporción de 12 a 1) y el coeficiente de variación entre las diferentes regiones (sin ponderar por población) llegaría hasta el 84,03%. El mayor PIB per cápita de los países ricos sería el factor que más contribuye a explicar su alto nivel de emisiones, mientras que en el caso de África, su pobreza explicaría por qué el nivel de emisiones de sus habitantes es mucho menor.

No obstante, las diferencias en el bienestar económico no bastan para explicar las grandes diferencias que se dan en las emisiones per cápita de las diversas zonas, como muestra el hecho de que las emisiones per cápita de la antigua Unión Soviética son mayores que las de Europa, cuando su PIB per cápita es menos de la tercera parte. Es necesario estudiar las diferencias en el índice de carbonización y la intensidad energética que hacen que la intensidad de emisiones del PIB sea muy diferente en distintas regiones. Así, la intensidad de emisiones del PIB es casi cinco veces mayor en el caso de la ex-URSS que en el caso de Latinoamérica. Diversos autores han discutido sobre la mayor importancia de la intensidad energética o el índice de carbonización para explicar las diferentes emisiones y su evolución (ver Roca y Alcántara, 2002). Mielnik y Goldemberg (1999) cuestionan la mayor importancia que según ellos se ha dado a la intensidad energética y destacan el hecho de que la intensidad energética sigue un patrón histórico más definido, mientras que el índice de carbonización tendría un comportamiento con mayor variabilidad y, por tanto, explicaría mejor las diferencias a lo largo del tiempo entre países. Ang (1999a), en cambio, insiste en la mayor importancia de la intensidad energética.

Sin que ello sea generalizable, los datos muestran que la variabilidad en el 2001 de las grandes regiones del mundo consideradas es mucho mayor en el caso de la intensidad energética que en el caso del índice de carbonización, con un coeficiente de variación del 45,64% en el primer caso frente a un 17,44% en el segundo. La intensidad energética oscila entre el valor de 628,02 toneladas de energía primaria en equivalente de petróleo por millón de dólares de la exURSS a las 170,68 de Latinoamérica (3,67 veces más energía por unidad de PIB en la exURSS). El resultado refuerza la idea de que la intensidad energética es el principal factor determinante de las diferencias en la intensidad de emisiones de los distintos países y el segundo factor, después del PIB per cápita, en explicar las diferencias en emisiones. En cuanto a las diferencias en el índice de carbonización, éstas oscilan entre las 1,40 toneladas de CO₂ por tonelada de energía primaria en equivalente de petróleo de África, a los 2,69 de China (casi el doble de emisiones por unidad de energía).

La Figura 6 y las Tablas 3 y 4 muestran la variación experimentada entre 1971 y 1990 y entre 1990 y 2001 en los diferentes factores para el conjunto del mundo.

Figura 6. Evolución de las emisiones y los diferentes factores



Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Tabla 3. Variación en los diferentes factores, 1971-1990

	Factores de Kaya					Intensidad emisiones del PIB	
	CO ₂	Índice carbonización CO ₂ /E	Intensidad Energética E/PIB	PIB per cápita PIB/P	Población P	Intensidad emisiones del PIB CO ₂ /PIB	Emisiones per cápita CO ₂ /P
Norteamérica							
OCDE	17,20%	-7,64%	-31,33%	44,07%	28,26%	-36,57%	-8,62%
Europa OCDE	7,13%	-17,04%	-21,70%	48,72%	10,90%	-35,04%	-3,40%
Ex-URSS	67,75%	-1,88%	1,91%	42,24%	17,93%	0,00%	42,24%
Pacífico OCDE	60,54%	-11,93%	-18,76%	84,47%	21,64%	-28,45%	31,98%
China	181,87%	26,43%	-46,38%	208,03%	35,00%	-32,21%	108,80%
Asia (sin China)	189,69%	33,85%	-15,29%	67,74%	52,31%	13,39%	90,20%
Latinoamérica	64,29%	-1,46%	-7,95%	21,55%	49,02%	-9,30%	10,25%
África	103,36%	1,92%	17,88%	-0,20%	69,61%	20,14%	19,90%
Europa no OCDE	55,71%	-4,92%	-13,21%	66,08%	13,61%	-17,48%	37,05%
Oriente Medio	361,40%	4,07%	170,13%	-15,16%	93,47%	181,12%	138,49%
<i>Mundo</i>	46,33%	-6,59%	-18,25%	37,07%	39,81%	-23,64%	4,67%

Tabla 4. Variación en los diferentes factores, 1990-2001

	Factores de Kaya						
	Índice carbonización		Intensidad Energética	PIB per cápita	Población	Intensidad emisiones del PIB	Emisiones per cápita
	CO ₂	CO ₂ /E	E/PIB	PIB/P	P	CO ₂ /PIB	CO ₂ /P
Norteamérica							
OCDE	18,09%	-0,45%	-13,78%	18,69%	15,93%	-14,17%	1,87%
Europa OCDE	1,32%	-8,59%	-11,75%	19,05%	5,49%	-19,33%	-3,96%
Ex-URSS	-33,04%	-3,51%	4,32%	-33,48%	0,00%	0,66%	-33,04%
Pacífico OCDE	29,06%	-4,18%	7,37%	18,52%	5,84%	2,88%	21,94%
China	35,95%	3,65%	-52,08%	144,24%	12,07%	-50,33%	21,31%
Asia (sin China)	73,78%	13,79%	-10,31%	39,67%	21,91%	2,06%	42,55%
Latinoamérica	40,54%	5,53%	-2,45%	14,23%	19,51%	2,95%	17,60%
África	33,20%	2,27%	0,44%	-0,44%	30,26%	2,71%	2,26%
Europa no OCDE	-34,40%	-6,71%	-22,95%	-5,56%	-3,37%	-28,12%	-32,12%
Oriente Medio	78,51%	2,98%	20,28%	11,23%	29,57%	23,87%	37,78%
<i>Mundo</i>	<i>14,63%</i>	<i>-1,75%</i>	<i>-15,75%</i>	<i>18,63%</i>	<i>16,74%</i>	<i>-17,23%</i>	<i>-1,81%</i>

Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

En la Figura 6 y las Tablas 3 y 4 podemos observar que los factores que han experimentado una mayor variación en ambos subperiodos considerados han sido la población y el PIB per cápita, siendo, por tanto, también los principales factores explicativos de la diferente variación de emisiones ocurrida en los distintos países durante el período. Entre 1971 y 2001 la población ha aumentado un 63,21%, mientras que el PIB per cápita lo ha hecho en un 62,6%. Centraremos nuestros comentarios en el período 1990-2001.

El crecimiento de población se ha concentrado en los países menos ricos, si bien, en el caso de China, ha estado por debajo de la media mundial. En cuanto al crecimiento económico, destaca el impresionante crecimiento del PIB per cápita experimentado por China, y en bastante menor grado del resto de Asia, lo que ha conllevado un mayor uso de recursos y energía por parte de estos países.

No obstante, a pesar de que el crecimiento del PIB per cápita de China ha sido más del triple del crecimiento de cualquiera de los otros bloques, destaca el hecho de que no ha sido el país que ha experimentado un mayor porcentaje de aumento de emisiones per cápita ni de emisiones totales⁸. Esto se explica porque la intensidad de emisiones de China se redujo a la mitad entre 1990 y 2001. La disminución en la intensidad energética, que se reduce en un 52%, explica que el 144,24% de crecimiento del producto per cápita se haya traducido "tan sólo" en un 21,31% más de emisiones, mientras que otras zonas con menor crecimiento, como el resto de Asia y Oriente Medio o el Pacífico OCDE, han experimentado mayores incrementos porcentuales en sus emisiones per cápita en la década 1990-2001.

Cabe destacar también el caso de la ex-URSS, donde la reducción en un tercio de su PIB per cápita se ha traducido en una reducción equivalente en sus emisiones. En el caso de Europa OCDE, a pesar de haber experimentado un crecimiento del PIB per cápita del 19%, se ha conseguido reducir el nivel de emisiones per cápita en casi un 4%. Este caso es especialmente destacable por el hecho de que el índice de carbonización ha tenido un papel casi tan relevante como la intensidad energética en la reducción, lo que respondería a una política más activa en la sustitución de combustibles por otros con menor contenido de carbono⁹.

Algunos autores han destacado que el comportamiento de China, y el de otros países que han reducido su intensidad de emisiones, es una muestra de la desvinculación entre crecimiento económico y las emisiones de CO₂. No obstante, hay que tener en cuenta que lo que impacta en el ecosistema no es la intensidad de emisiones del PIB, sino la cantidad total de carbono que se emite a la atmósfera. Siguiendo la terminología de Bruyn y Opschoor (1997) lo importante para el ecosistema no es la desvinculación relativa ("desvinculación débil") entre emisiones y crecimiento económico, es decir que la intensidad de emisiones del PIB sea menor, sino la desvinculación absoluta ("desvinculación fuerte"), es decir, que el aumento del PIB no provoque aumentos del flujo de emisiones a la atmósfera. El fuerte aumento de las emisiones de China y del resto de Asia, así como de las emisiones mundiales, no invitan en exceso al optimismo sobre un impacto más benigno sobre el medio ambiente del crecimiento económico.

⁸ Las emisiones totales en 2000 eran inferiores a las emisiones en 1996, lo que ha llevado a algunos (p.e., al director del Centro de Análisis de Dióxido de Carbono del Departamento de Energía de EE UU, Thomas Boden, *El País*, 17 de febrero de 2005) a expresar dudas sobre si las emisiones de China no son en realidad superiores a las que figuran en las estadísticas oficiales. China ha mejorado su eficiencia, pero ¿tanto como para compensar el impacto del fuerte crecimiento económico?

⁹ En la primera etapa, 1971-1990, también se habría dado una disminución relativa importante del índice de carbonización, en buena parte debido al mayor uso de la energía nuclear. No obstante, los importantes peligros y costes que conlleva esta energía han llevado a su estancamiento desde mediados de los 80, de forma que la continua reducción del índice de carbonización mostraría el uso de combustibles menos problemáticos ambientalmente.

Tabla 5. Variación en los diferentes factores, 1990-2001

	Factores de Kaya						
	Índice carbonización		Intensidad Energética	PIB per cápita	Población	Intensidad emisiones del PIB	Emisiones per cápita
	CO ₂	CO ₂ /E	E/PIB	PIB/P	P	CO ₂ /PIB	CO ₂ /P
Austria	66,63	2,17	154,32	24,49	8,13	334,71	8,20
Bélgica	119,6	2,03	230,42	24,91	10,28	467,10	11,63
Dinamarca	50,45	2,55	143,25	25,76	5,36	365,37	9,41
Finlandia	60,23	1,78	271,21	24,03	5,19	483,00	11,61
Francia	384,85	1,45	190,44	22,89	60,91	275,97	6,32
Alemania	850,16	2,42	182,67	23,34	82,34	442,32	10,32
Grecia	90,15	3,14	173,70	15,08	10,96	545,60	8,23
Irlanda	43,11	2,88	136,08	28,59	3,85	391,62	11,20
Italia	425,27	2,47	133,60	22,22	57,93	330,33	7,34
Luxemburgo	8,41	2,20	199,27	43,68	0,44	437,57	19,11
Holanda	177,48	2,30	193,48	24,88	16,04	444,76	11,06
Portugal	59,05	2,39	148,31	16,58	10,06	354,12	5,87
España	285,6	2,24	172,25	18,36	40,27	386,21	7,09
Suecia	48,05	0,94	236,84	24,22	8,9	222,92	5,40
Reino Unido	540,84	2,30	181,80	22,00	58,79	418,13	9,20
Unión Europea	3.209,88	2,15	177,33	22,22	379,44	380,74	8,46
Coefficiente de variación x 100		23,29	20,82	15,56		20,43	34,65

Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Nota: Emisiones per cápita en toneladas por habitante; Índice de carbonización en toneladas de CO₂ por toneladas energía primaria en equivalente de petróleo; Intensidad energética en toneladas de energía primaria en equivalente de petróleo por millón de dólares de 1995 en poder de paridad de compra; Intensidad de carbono del PIB en toneladas de CO₂ por millón de dólares de 1995 en paridad de poder de compra; PIB per cápita en miles de dólares por habitante de 1995 en paridad de poder de compra. El coeficiente de variación se ha calculado sin ponderar por población, en el caso del PIB per cápita, se ha calculado sin incluir Luxemburgo, debido a que esta observación de un país muy pequeño distorsionaba mucho los resultados (incluyendo Luxemburgo el coeficiente sería del 26,03%).

La Tabla 5 muestra las emisiones per cápita de los diferentes países de la Unión Europea y las descompone en los principales factores determinantes de las mismas. El país con mayores emisiones per cápita, Luxemburgo, sería también el país con una mayor renta per cápita (casi 3 veces la renta per cápita de Grecia, el país más pobre). No obstante, para el resto de países la variabilidad de la renta per cápita es menor de la que se da en los otros factores: el coeficiente de variación es del 15,56% y la renta más alta, 28,59 miles de dólares de Irlanda, es menos del doble de los 15,08 de Grecia. En cambio, se da una mayor variabili-

dad en los otros factores (índice de carbonización e intensidad energética) que llevan a que la intensidad de emisiones del PIB sea muy diferente entre países, oscilando desde los 222,92 de Suecia hasta los 545,60 de Grecia.

Al contrario de lo que pasaba al analizar las emisiones de las distintas zonas del mundo, en la UE se da una mayor variabilidad en el índice de carbonización que en la intensidad energética, como muestra su mayor coeficiente de variación (23,29% frente a 20,82%). El índice de carbonización oscila entre los 0,94 de Suecia y los 3,14 de Grecia, más del triple, mientras que la intensidad energética oscila entre los 133,60 de Italia y los 271,21 de Finlandia, el doble. El principal motivo del menor índice de carbonización de Suecia y Francia sería la alta proporción que representa la energía nuclear respecto al total de energía primaria, siendo también importante el uso de las energías renovables en el caso de Suecia. Mientras que en Grecia e Irlanda se daría una mayor importancia de los combustibles con mayor contenido de carbono. Las diferencias en la intensidad energética responden a diferencias que aún se dan a nivel comunitario en la eficiencia energética, a la diferente especialización productiva de los países, así como también al diferente nivel de desarrollo, modelos de transporte, hábitos sociales, clima, etc.

Tabla 6. Variación de los diferentes factores entre 1971 y 1990

	Factores de Kaya					Emisiones per cápita Intensidad emi- siones del PIB	
	Índice carbonización		Intensidad Energética	PIB per cápita	Población		
	CO ₂	CO ₂ /E	E/PIB	PIB/P	P	CO ₂ /PIB	CO ₂ /P
Austria	15,53%	-12,43%	-23,12%	66,51%	3,07%	-32,68%	12,09%
Bélgica	-9,10%	-25,44%	-25,59%	58,74%	3,21%	-44,52%	-11,93%
Dinamarca	-9,03%	-0,61%	-33,58%	32,97%	3,63%	-33,99%	-12,22%
Finlandia	37,14%	-13,35%	-16,42%	74,95%	8,24%	-27,58%	26,70%
Francia	-18,99%	-44,89%	-12,88%	52,02%	10,99%	-51,99%	-27,01%
Alemania	-1,98%	-15,29%	-27,53%	57,61%	1,30%	-38,61%	-3,24%
Grecia	177,76%	14,59%	55,75%	35,26%	15,06%	78,47%	141,40%
Irlanda	38,49%	-7,37%	-31,76%	86,01%	17,79%	-36,79%	17,58%
Italia	35,51%	1,68%	-23,83%	66,80%	4,90%	-22,55%	29,18%
Luxemburgo	-32,32%	-21,89%	-57,56%	82,66%	11,76%	-66,85%	-39,44%
Holanda	20,47%	-7,05%	-18,90%	41,01%	13,34%	-24,62%	6,29%
Portugal	171,30%	3,24%	28,05%	79,10%	14,58%	32,20%	136,77%
España	70,95%	-19,22%	16,15%	60,34%	13,63%	-6,17%	50,45%
Suecia	-38,57%	-51,98%	-14,20%	41,09%	5,68%	-58,80%	-41,87%
Reino Unido	-10,56%	-11,05%	-34,91%	50,83%	2,41%	-42,10%	-12,67%
Unión Europea	3,22%	-18,90%	-23,06%	55,51%	6,37%	-37,60%	-2,96%

Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

Tabla 7. Variación de los diferentes factores entre 1990 y 2001

	Factores de Kaya					Emisiones per cápita	
	Índice carbonización		Intensidad Energética	PIB per cápita	Población	Intensidad emisiones del PIB	Emisiones per cápita
	CO ₂	CO ₂ /E	E/PIB	PIB/P	P	CO ₂ /PIB	CO ₂ /P
Austria	17,82%	-3,96%	-3,87%	21,35%	5,17%	-7,68%	12,03%
Bélgica	11,89%	-7,66%	-2,89%	21,02%	3,11%	-10,33%	8,52%
Dinamarca	-0,22%	-11,16%	-11,48%	21,68%	4,28%	-21,36%	-4,31%
Finlandia	9,55%	-5,51%	-7,37%	20,34%	4,01%	-12,48%	5,33%
Francia	9,12%	-6,68%	-4,55%	17,00%	4,71%	-10,93%	4,21%
Alemania	-11,82%	-10,53%	-19,00%	17,28%	3,76%	-27,53%	-15,01%
Grecia	27,73%	-1,29%	-1,29%	21,51%	7,87%	-2,56%	18,40%
Irlanda	42,47%	0,52%	-33,09%	93,11%	9,69%	-32,74%	29,88%
Italia	6,30%	-5,72%	-5,21%	16,47%	2,13%	-10,64%	4,08%
Luxemburgo	-19,68%	-25,13%	-36,87%	46,76%	15,79%	-52,73%	-30,63%
Holanda	12,94%	-2,74%	-13,96%	25,79%	7,29%	-16,32%	5,27%
Portugal	49,08%	3,44%	8,08%	31,22%	1,62%	11,81%	46,71%
España	38,30%	-0,97%	4,57%	28,88%	3,63%	3,55%	33,46%
Suecia	-6,10%	-14,15%	-10,59%	17,67%	3,97%	-23,24%	-9,68%
Reino Unido	-3,48%	-12,91%	-13,63%	25,02%	2,64%	-24,78%	-5,96%
Unión Europea	3,15%	-8,49%	-10,19%	20,95%	3,76%	-17,81%	-0,59%

Fuente: elaboración propia a partir de AIE (2003).

En cuanto a la evolución de los diferentes factores nos centraremos en el período 1990-2001. Destaca el hecho de que el crecimiento en el PIB per cápita ha sido compensado por el buen comportamiento de la intensidad energética y el índice de carbonización en la gran mayoría de países. Únicamente en dos países ha aumentado la intensidad de emisiones del PIB, en España debido a un incremento de la intensidad energética, y en Portugal, donde ha aumentado tanto la intensidad energética como el índice de carbonización. Esto sirve de muestra de lo poco que se ha hecho en España para controlar las emisiones. Destaca el hecho de que en varios países europeos el comportamiento del índice de carbonización ha sido tan importante o más que el de la intensidad energética, lo que muestra un esfuerzo por parte de estos países de avanzar hacia una combinación menos contaminante de fuentes de energía, especialmente en los años 90, en los que también se estanca la importancia de la energía nuclear. Por último, cabe comentar que en Europa, el factor población ha tenido una escasa importancia relativa, dado el moderado crecimiento demográfico experimentado por prácticamente la

totalidad de países.

Los esfuerzos en mejorar la eficiencia energética deben ayudar a disminuir las emisiones en el futuro, si bien las diferencias entre países responden en buena parte a las diferentes especializaciones productivas. Las diferencias y los cambios en la intensidad energética pueden ser causados por muchos más factores que los cambios en el índice de carbonización, que básicamente responde a la combinación de fuentes de energía utilizadas. No obstante, el camino por recorrer en la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía alternativas es aún enorme, además de que es inevitable que esta sustitución se produzca en algún momento del futuro. Los mercados de emisiones, imponiendo progresivamente mayores limitaciones a los niveles de emisiones, o los impuestos energéticos, que han sido propuestos en el pasado en numerosas ocasiones en la Unión Europea (ver Padilla y Roca, 2003)¹⁰, podrían facilitar el cambio de combustibles, así como también reducir el uso de energía debido a su mayor precio relativo, teniendo mayor o menor impacto en función de las facilidades que se ponen para el desarrollo de energías limpias o de sistemas de transporte público que sustituyan al transporte por carretera.

3. Conclusiones

En el presente trabajo se ha analizado la evolución de las emisiones de CO₂ para el período 1971-2001, prestando especial atención a lo ocurrido desde 1990, año de referencia en el protocolo de Kyoto para este gas. La evolución relativamente moderada del conjunto de los países del Anexo 1, facilitada por la caída de emisiones del antiguo bloque soviético, se ha visto compensada por un fuerte aumento en las emisiones de los países que no pertenecen al Anexo 1. Actualmente nos encontramos más lejos de los objetivos del protocolo que en 1997, cuando se firmó el acuerdo.

Se ha desarrollado un análisis de los factores explicativos de las diferencias en el nivel de emisiones y su evolución en las diferentes zonas. Las importantes diferencias regionales en las emisiones per cápita se explicarían en gran medida por las diferencias en el producto per cápita de las diferentes regiones. También se ha destacado que las distintas zonas tienen una intensidad de emisiones del PIB muy diferente, que responde sobretodo a las diferencias en la intensidad energética de sus economías. En cuanto a la evolución de las emisiones de CO₂, los principales factores determinantes de su aumento han sido los crecimientos del PIB per cápita y de la población, especialmente en las regiones económicamente menos desarrolladas. No obstante, éstos se han visto compensados parcialmente por la fuerte reducción de la intensidad energética que han experimen-

¹⁰ Sería muy difícil que en el futuro se pueda avanzar en este sentido, al recogerse en la llamada "constitución europea" lo que ya existía: el requerimiento de unanimidad en la adopción de medidas sobre fiscalidad a nivel comunitario.

tado algunas economías, como es el caso de China. En el caso de la Unión Europea, cabe destacar la mayor importancia relativa del índice de carbonización, tanto para explicar las diferentes emisiones per cápita, como para explicar la diferente variación de emisiones experimentadas en los distintos países. Esto indica que en el resto de países existe un importante potencial de reducción de emisiones mediante políticas que fomenten la sustitución de combustibles fósiles.

Nuestro trabajo ha consistido en un ejercicio descriptivo. Una comprensión más profunda del problema exige analizar con detalle los condicionantes que llevan a la diferente evolución de los factores mencionados. Este debe servir para facilitar el estudio de las medidas y políticas que permitan, por un lado, reducir las emisiones de los países más desarrollados sin que esto implique una reducción de su bienestar y, por otro lado, hacer compatible el futuro desarrollo económico de las zonas que más lo necesitan con un control y estabilización de sus emisiones.

Bibliografía

- ANG, B.W. (1999A): "Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?", *Energy Policy*, Vol. 27, pp. 943-946.
- ANG, B.W. (1999B): "Decomposition methodology in energy demand and environmental analysis", en Berg, J.C.J.M. van den *Handbook of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 1149-1163.
- ANG, B.W. Y LEE, S.Y. (1996): "Decomposition of industrial energy consumption: the energy coefficient approach", *Energy Economics*, Vol. 16, pp. 129-143.
- BRUYN, S. M. DE Y OPSCHOOR, J. B. (1997): "Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations", *Ecological Economics*, Vol. 20, pp. 255-268.
- ESTEBAN MARQUILLAS, J.M. (1972): "A reinterpretation of shift-share analysis", *Regional and Urban Economics*, Vol. 2, pp. 249-255.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA) (2004): *Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2004. Progress by the EU and Member States towards achieving their Kyoto Protocol Targets*, EEA, Copenhagen. Disponible en: http://reports.eea.eu.int/eea_report_2004_5/en/GHG_emissions_and_trends_2004.pdf
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2003): *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*, OCDE, París.
- KAYA, Y. (1989): "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios", paper presented to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Intergovernmental Panel on Climate Change, París, Francia.
- MIELNIK, O. Y GOLDEMBERG, J. (1999): "The evolution of the "carboniza-

- tion index" in developing countries", *Energy Policy*, Vol. 27, pp. 307-308.
- OECD (2001): *OECD Environmental Outlook*, OECD, Paris, disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/51/6/2088589.pdf>
- PADILLA, E. Y ROCA, J. (2003): "Las propuestas para un impuesto europeo sobre el CO₂ y sus potenciales implicaciones distributivas entre países", *Revista de Economía Crítica*, n. 2, diciembre, pp. 5-24.
- ROCA, J. Y ALCÁNTARA, V. (2002): "Economic growth, Energy Use, and CO₂ emissions", en Blachwood, J.R. (Ed.) *Energy Research at the Cutting Edge*. Nova Science Publishers, Nueva York, pp. 123-134.
- ROCA, J. Y PADILLA, E. (2004): "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España: la curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto", *Economía Industrial*, n. 351, (número monográfico: *Ecología Industrial y Desarrollo Sostenible: Perspectivas nacional, regional y urbana*), pp. 73-86.
- SUN, J.W. (1998): "Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model", *Energy Economics*, Vol. 20 (1), pp. 85-100.
- YAMAJI, K., R. MATSUHASHI, NAGATA, Y. Y KAYA, Y. (1991): *An Integrated Systems for CO₂/Energy/GNP Analysis: Case Studies on Economic Measures for CO₂ Reduction in Japan*. Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century, 19–21 March 1991. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.