

Departament d'Economia Aplicada

Actividad económica y emisiones de
CO2 derivadas del consumo de energía
en Cataluña, 1990-2005. Análisis
mediante el uso de los balances
energéticos desde una perspectiva input-
output

Vicent Alcántara Escolano,
Emilio Padilla Rosa,
Jordi Roca Jusmet

**D
O
C
U
M
E
N
T
D
E
T
R
E
B
A
L
L**

07.10



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales

Aquest document pertany al Departament d'Economia Aplicada.

Data de publicació : **Novembre 2007**

Departament d'Economia Aplicada
Edifici B
Campus de Bellaterra
08193 Bellaterra

Telèfon: (93) 581 1680
Fax:(93) 581 2292
E-mail: d.econ.aplicada@uab.es
<http://www.ecap.uab.es>

Actividad económica y emisiones de CO₂ derivadas del consumo de energía en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output

Vicent Alcántara Escolano^a, Emilio Padilla Rosa^a y Jordi Roca Jusmet^b

^aDpto. Economía Aplicada, Univ. Autónoma de Barcelona, Edificio B, 08193 Bellaterra.

^bDpto. Teoría Económica, Univ. Barcelona, Av. Diagonal, 690, 08034 Barcelona.

Resumen

En esta investigación se examina la evolución de las emisiones de CO₂, el más importante de los gases de efecto invernadero, para el periodo 1990 a 2005.

A lo largo del trabajo hemos analizado, tanto desde una perspectiva agregada, como posteriormente con todo el detalle posible, la evolución experimentada por estas emisiones, teniendo en cuenta las limitaciones de información¹. Para hacerlo se han utilizado conceptos y precisiones metodológicas ampliamente utilizadas en la literatura científica sobre el tema.

Del estudio realizado en la primera parte del trabajo resulta evidente que el importante crecimiento de las emisiones en Cataluña durante el periodo considerado, de un 60.1%, muy superior a la media española (50,5%), se explica como principal factor por el aumento en el PIB per cápita, con un crecimiento del 33,35%². El crecimiento demográfico también habría contribuido de forma importante al incremento en las emisiones totales, con un aumento del 10,5% de la población; sobre todo a partir de 1999, ya que en la década de los noventa la población se mantuvo estable con pocas variaciones.

No obstante, las diferencias en población y en disponibilidad de bienes y servicios per cápita no bastan para explicar la evolución que se ha producido en las emisiones totales. De hecho, la evolución en la actividad económica no es suficiente para explicar la importante variación en las emisiones per cápita a lo largo del periodo, como muestra el mayor aumento de las emisiones per cápita, del 44,89%, respecto al 33,35% de aumento del PIB per cápita. Debido

¹ Cuando hablamos de limitación de información nos referimos a la información no disponible, o que debería de estar disponible para desarrollar un análisis con un mayor nivel de desagregación. Afortunadamente, hemos podido disponer de unos balances energéticos cuidadosos, elaborados por el Instituto Catalán de la Energía (ICAEN), y con el consejo y sugerencias de Joan Esteve y Albert Casanovas que, en todo momento, han estado dispuestos a atender solícitamente nuestras necesidades de cara al estudio.

² En la primera parte del trabajo se utilizan los datos del inventario de emisiones a la atmósfera Corine-Air, que incluye todas las emisiones de CO₂ generadas por los diferentes procesos, mientras que en la segunda parte se trabaja con las emisiones estimadas a partir de la energía primaria utilizada (sin incluir la destinada a usos no energéticos).

a esto, hemos analizado otras variables explicativas que interactúan con las variables económicas más habituales y que son sobre las que se tiene que actuar diseñando políticas ambientales y económicas que hagan compatible el bienestar de la sociedad y el respeto al medio ambiente. Indicadores como la intensidad energética, el índice de carbonización, y/o cambios en la estructura productiva y la tecnología de los procesos productivos, juegan un papel importante en cuanto a las posibilidades de reducción de las emisiones.

En el sentido apuntado al final de párrafo anterior, hemos detectado que, en el caso de Cataluña, los datos muestran una mayor importancia de la evolución de la intensidad energética para explicar el cambio que se ha dado en la intensidad de emisiones del PIB (toneladas de CO₂ por millón de euros de PIB). De hecho, casi todo el aumento de la intensidad de emisiones del PIB (8,66%) se explicaría por el aumento de la intensidad energética (8,36%), mientras que el índice de carbonización casi es el mismo al inicio y al final del periodo. No obstante, este resultado, comparando el inicio y el final del periodo, esconde la importancia que ha tenido el índice de carbonización en la evolución de las emisiones. De hecho, la mayor variabilidad que se ha dado en este índice explica, en gran parte, las variaciones experimentadas a lo largo del periodo por la intensidad de emisiones del PIB. Este último aspecto queda muy claro en la segunda parte del análisis, donde se pone de manifiesto que la descarbonización ha tenido un impacto del -6.6% en la evolución de las emisiones provocadas por el consumo de energía. No obstante, el lector ha de tomar esta información con cuidado. Para evitar efectos de coyuntura, en la segunda parte de este trabajo se han obtenido las medias de los años 1990-1992 y 2003-2005 y la información está basada en la energía consumida para usos energéticos de los sectores económicos. Si tomamos el periodo año a año encontraremos que la evolución del índice de carbonización ha sido la principal responsable de la reducción de emisiones por unidad de PIB que se produjo entre 1995 y 1998. Y también ha sido el fuerte incremento entre 2002 y 2004 de este índice el que ha producido el aumento que se observa al final del periodo en la intensidad de carbono del PIB.

La sustitución de las fuentes energéticas utilizadas también es un factor importante para explicar los procesos de descarbonización y su papel en la mejora de la eficiencia energética global, contribuyendo a disminuir los consumos de energía primaria utilizada y las emisiones de CO₂. A pesar de esto, se debe tener en cuenta que el transporte por carretera hace un uso intensivo de la energía, hecho que dificulta que baje la intensidad energética, y se nutre con el consumo de combustibles fósiles, que dificulta que baje el índice de carbonización, contrarrestando los cambios producidos en otros sectores donde ha habido sustitución por combustibles que, como el gas natural, emiten menos CO₂. Como se señala en la segunda parte de este trabajo, la contribución más importante al crecimiento de las emisiones corresponde al sector transporte, el incremento del cual es más del doble que el de la industria. Los consumos finales de combustibles del sector transporte se incrementaron en un 70,8%. La sustitución por gas fue mínima, la sustitución de derivados de petróleo por gas a penas fue de 4 kteps.

Por otro lado, el sector industrial incrementó sus consumos energéticos finales en un 46,3%, y su contribución al crecimiento total de la energía final de la economía fue del 17,3%. Este crecimiento fue superior a su contribución a las emisiones totales que fueron de un 16,9%. Esta diferencia está muy bien explicada por la sustitución de combustibles. La reducción en un 90% en el uso de carbón, el bajo crecimiento de los derivados de petróleo y el recurso al gas natural con un menor factor de emisión de CO₂ por tep (tonelada equivalente de petróleo), como ya hemos señalado antes, ha hecho posible un efecto sustitución en este sector, que ha sido el más importante, ayudando a que las emisiones totales no se disparasen más. No obstante, el aumento muy importante de los consumos de energía eléctrica en la industria, un 46,3%, ha hecho que, por otro lado, el sector industrial haya sido el más importante contribuidor, desde el punto de vista de la transformación de energía final a primaria, al crecimiento de las emisiones totales, con un 5,45%.

El sector servicios y el doméstico han experimentado evoluciones muy paralelas. Las sustituciones de fuentes energéticas finales han experimentado cambios parecidos en cuanto a fuentes y, en algunos aspectos en porcentaje. Así, los dos sectores han ralentizado sus consumos de productos petrolíferos: en el caso de los servicios sus consumos crecieron un 4,2% y los hogares lo disminuyeron en un 8,5%. Por otro lado, los dos sectores incrementan muy substancialmente sus consumos de gas natural. Desde el punto de vista del efecto transformación, con una contribución al aumento de las emisiones del 3,22% en el caso de los servicios (superior al transporte) y del 2,61% en el caso de los hogares, podemos aventurar que es debido al fuerte incremento del consumo eléctrico, con un importante arrastre sobre los inputs de energía fósil utilizados en la producción de electricidad, a pesar de la importancia de la nuclear en Cataluña. Si nos fijamos en los datos del Anexo II, en todo el periodo el sector servicios aumentó un 123,4% el consumo de electricidad, y el sector doméstico un 61,3%.

A pesar de lo que hemos comentado sobre el comportamiento de los sectores productivos en cuanto a sus consumos energéticos y las emisiones de CO₂ vinculadas a estos consumos, hay que decir que, dejando de lado el transporte que inequívocamente es uno de los grandes responsables de las emisiones del más importante de los gases de efecto invernadero, los casos de la industria y los servicios merecen un análisis mucho más detallado, vinculando las emisiones también al comportamiento económico de los diferentes subsectores. Esto permitiría observar aspectos importantes como el comportamiento en relación al uso más o menos eficiente de la energía, las relaciones con otros sectores y los impactos que se producen entre sectores, para estimar los márgenes de maniobra de las políticas ambientales a implementar.

Comparando los incrementos porcentuales debidos a los diferentes efectos sobre las emisiones y la energía primaria necesaria, la importancia del aumento del consumo final de energía (efecto actividad) es fundamental. Por otro lado, la sustitución de combustibles —a favor básicamente del gas natural— ha jugado un papel favorable a la disminución de las emisiones, pero muy pequeño e insuficiente para compensar los resultados desfavorables dados por

el incremento de las necesidades de energía primaria. Conviene destacar que a pesar de su pequeña importancia, la sustitución de las fuentes energéticas utilizadas por los sectores económicos ha tenido un impacto mucho más significativo en la reducción de emisiones que en la disminución de las necesidades de energía primaria. Por último, a pesar de observarse una cierta descarbonización, el efecto transformación ha jugado desde la perspectiva del CO₂ un efecto bastante negativo, contribuyendo al aumento de las emisiones en un 14%, aunque, desde la perspectiva de la energía primaria, las necesidades para transformación disminuyeron. La razón principal es el peso decreciente de la energía nuclear respecto a la producción de electricidad en centrales térmicas de gas natural; estas tienen una mayor eficiencia en la conversión de calor a electricidad pero emiten CO₂, a diferencia de las nucleares que (directamente) no emiten este gas. Éste es un buen ejemplo de las diferentes conclusiones que a veces podemos extraer de un análisis de efectos en términos de energía primaria o de emisiones de carbono.

En Cataluña, de la misma forma que en el conjunto de España, y al contrario de lo que ha pasado en la mayoría de países industrializados, no se ha producido una reducción de la intensidad energética del PIB. Es más, esta intensidad ha aumentado a lo largo del periodo analizado, con el resultado de que la intensidad de carbono del PIB también ha aumentado. A pesar de las ganancias de eficiencia en el uso de energía en los sectores industriales, el fuerte aumento en el uso de energía por parte del transporte por carretera ha llevado a este comportamiento.

En conclusión, en el caso de Cataluña no es posible hablar de desvinculación entre crecimiento económico y emisiones de CO₂ en ninguno de los sentidos en que habitualmente se utiliza el término, ya que tanto las emisiones totales como la intensidad de emisiones del PIB aumentan a lo largo del periodo considerado. En este sentido, y desde nuestra perspectiva, queda claro que hay que aplicar políticas adecuadas y orientadas a mejorar la eficiencia energética, así como a reducir las emisiones por unidad de energía si queremos evitar que el crecimiento económico continúe comportando mayores emisiones (tanto absolutas como por unidad de PIB).

1. Introducción

En este documento se examina la evolución de las emisiones de CO₂ para el periodo 1990 a 2005. Nos centraremos en una de las presiones ambientales más importantes ligadas al consumo de energía, las emisiones de CO₂, el más importante de los gases de efecto invernadero.

El aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera causado por la actividad humana es el principal factor responsable de la intensificación del efecto invernadero y del cambio climático resultante³. El principal factor explicativo del aumento en las concentraciones de gases con efecto

³ 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.

invernadero en la atmósfera es el uso masivo de combustibles fósiles que acompañó —y acompaña— los procesos de industrialización y a la expansión del transporte por carretera. Aunque el problema del cambio climático se ha convertido actualmente en uno de los problemas ambientales que genera más preocupación a nivel global, no parece que las medidas adoptadas para hacerle frente hayan sido ni mucho menos demasiado efectivas en mitigar las emisiones que lo causan y en reducir las concentraciones atmosféricas de los gases con efecto invernadero.

Hasta ahora el resultado más visible de esta preocupación fue el compromiso de control de emisiones establecido en el Protocolo de Kyoto el año 1997 que, a pesar de la moderación de sus propuestas, no ha sido ratificado aún por los Estados Unidos, el país que emite más gases de efecto invernadero. Para la Unión Europea, el compromiso implicaba una reducción de emisiones del 8%. En el caso español, este compromiso se tradujo en limitar el crecimiento de las emisiones en el periodo 2008-2012 en un 15% respecto a las de 1990. No obstante, la Unión Europea se plantea actualmente unas reducciones superiores, hasta llegar, como mínimo, al 20 de reducción el año 2020, según se aprobó en febrero de 2007 en el Consejo de Medio Ambiente de la Unión Europea. Esto, cuando se acabe de traducir en diferentes compromisos para cada país miembro, tendrá que significar mayores esfuerzos para reducir las emisiones en los próximos años.

A lo largo de esta investigación se analiza la evolución de las emisiones de dióxido de carbono en Cataluña, tanto desde una perspectiva agregada, como con todo el detalle posible que nos permiten los datos disponibles.

Para la primera parte del estudio, apartados 2 y 3 se han utilizado los datos del Inventario de Emisiones a la Atmósfera Corine-Aire, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente para el periodo 1990-2004. Estos datos incluyen todas las emisiones CO₂, clasificadas en diferentes procesos emisores. Esto nos permite disponer de una perspectiva sobre la evolución de las emisiones totales de CO₂, analizando los principales factores determinantes de esta evolución, siguiendo metodologías ampliamente utilizadas en el análisis energético (como la descomposición en factores de Kaya) que nos permite tener una primera visión global sobre las fuerzas motrices que han determinado el comportamiento experimentado en las emisiones. Unas emisiones que, como veremos, han superado con mucho los límites de crecimiento citados anteriormente, que hay establecidos para el conjunto de España.

Esta base de datos nos permitirá también analizar la importancia de los diferentes procesos emisores en Cataluña. Los datos permiten analizar las diferencias que hay con el conjunto de España en la importancia de los diferentes procesos.

Para la segunda parte del estudio, apartados 4 a 6, la base de datos utilizada son los balances energéticos de Cataluña, facilitados para el periodo 1990-2005 por el Instituto Catalán de la Energía (ICAEN)⁴. En esta segunda parte

⁴ Debemos agradecer al ICAEN, y especialmente a Joan Esteve y Albert Casanoves, habernos facilitado la base de datos y haber resuelto nuestras dudas sobre esta información. Los datos

sólo se tendrán en cuenta las emisiones vinculadas al consumo de energía para usos energéticos. Por otro lado, sólo se consideran las emisiones de CO₂ relacionadas con el carbón, el petróleo, los saldos importadores de derivados de petróleo y el gas natural, dado la escasa importancia del resto de elementos.

Las emisiones de CO₂ se explican, principalmente, por el uso de energía fósil. No obstante, no todas las fuentes de energía primaria tienen los mismos factores de emisión (carbono por unidad de energía) ni tampoco es igual la eficiencia en su uso y transformación. El trabajo que se desarrolla en estos apartados se basa en la metodología desarrollada en Alcántara y Roca (1995), consistente en la estimación de la energía primaria “arrastrada” por los consumos finales de energía y las emisiones que implica esta energía primaria. Para obtener las estimaciones de las emisiones con los datos de los balances, a partir de la aplicación de la citada metodología, hemos utilizado los factores de emisión publicados por el IPCC (1996).

La obtención de las estimaciones de emisiones a partir del uso de energía para usos energéticos ha de permitir analizar los cambios operados que explican la evolución de las emisiones. Esta evolución se presenta en una perspectiva general y también descomponiendo en factores explicativos la evolución de estas emisiones.

Después de esta introducción, la estructura del estudio es la siguiente. El apartado 2 describe la evolución de las emisiones totales de CO₂ en Cataluña durante el periodo 1990-2004 y sus principales factores explicativos. El apartado 3 analiza la importancia de los diferentes procesos emisores catalanes y los compara con el conjunto español. El apartado 4 estima las emisiones a partir de la energía primaria “arrastrada” por los consumos finales de energía para usos energéticos y analiza la evolución de estas emisiones de CO₂. El apartado 5 analiza los cambios operados que explican esta evolución desde una perspectiva general. El apartado 6 analiza los factores explicativos de la evolución de las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de energía para usos energéticos. Finalmente, el apartado 7 recoge unas breves conclusiones.

2. Evolución de las emisiones de CO₂ en Cataluña y sus principales factores explicativos

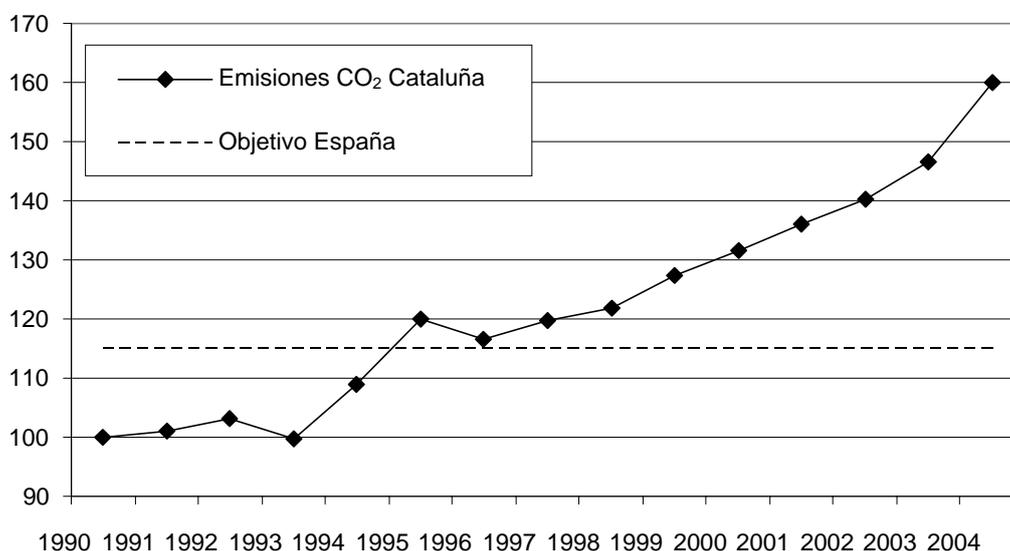
En este apartado analizamos la evolución de las emisiones de CO₂ en Cataluña⁵, estudiando las principales fuerzas motrices que las producen. En la Figura 1, se puede observar cuál ha sido la evolución de las emisiones entre 1990 y 2004 y su distanciamiento respecto a los compromisos internacionales

de 2004 y 2005 sobre energía primaria que hemos utilizado en los cálculos son avances que pueden experimentar variaciones, lo que podría hacer variar los cálculos de estos apartados.

⁵ Consideramos únicamente las emisiones de CO₂; por tanto, los datos no incluyen las emisiones de metano ni de óxido nítrico ni de otros gases de efecto invernadero en CO₂ equivalente.

sobre cambio climático de control de emisiones de gases causantes del efecto invernadero.

Figura 1. Evolución de las emisiones de CO₂ en Cataluña y distancia respecto al compromiso español de emisiones de gases de efecto invernadero (100=nivel de 1990)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ministerio de Medio Ambiente.

A lo largo del periodo analizado, las emisiones aumentaron considerablemente. No obstante, se pueden distinguir diversas etapas en el comportamiento de estas emisiones. Durante los primeros años de la década de los noventa, las emisiones se estabilizaron, siendo en 1993 incluso inferiores a las de 1990. Entre 1993 y 1995, en cambio, se produjo un importante aumento de emisiones, de más de una 20%, que llevó a que Cataluña, el año 1995, ya superase el crecimiento límite del 15% del nivel de 1990, marcado posteriormente por el compromiso español en el marco del Protocolo de Kyoto (dentro del conjunto de la Unión Europea, España no puede superar el 15% de aumento para el promedio de las emisiones de 2008-2012 respecto a las de 1990 para el total de gases de efecto invernadero contemplados por el protocolo de Kyoto⁶). Después de una ligera reducción entre 1995 y 1996, se inicia una etapa de aumento continuo en el nivel de emisiones, incremento que se dispara en el último año de la muestra. Siendo España uno de los países que más se ha distanciado del compromiso establecido dentro de la Unión Europea, es muy destacable el hecho de que en Cataluña la evolución de las emisiones haya sido aún más desfavorable.

Como resultado, las emisiones de CO₂ en Cataluña, lejos de estabilizarse, han experimentado un importante crecimiento respecto al nivel de 1990, año de referencia para el Protocolo de Kyoto, aumentando en un 60,11% desde entonces.

⁶ Los seis gases contemplados por el Protocolo son: CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs y SF₆.

Uno de los factores tras la evolución de las emisiones a lo largo de un periodo en cualquier economía es la evolución de la actividad económica que se haya producido. No obstante, el crecimiento económico puede producirse por la mayor prosperidad económica de sus habitantes (mayores niveles de consumo), o simplemente debido 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. Por tanto, existen múltiples factores que influyen en el nivel de emisiones de CO₂. Como 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 con las principales fuerzas motrices causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero es la identidad de Kaya (1989) (véase, por ejemplo, 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):

- el índice de carbonización o intensidad de carbono de la energía (definida como el CO₂ emitido por unidad de energía primaria, $\frac{CO_{2t}}{E_t}$),
- la intensidad energética (definida como la energía primaria por unidad de PIB, $\frac{E_t}{PIB_t}$),
- la renta económica (definida como el PIB per cápita, $\frac{PIB_t}{P_t}$), i
- la población (P_t)⁷.

$$CO_{2t} = \frac{CO_{2t}}{E_t} \cdot \frac{E_t}{PIB_t} \cdot \frac{PIB_t}{P_t} \cdot P_t$$

El primer componente refleja la combinación de combustibles o fuentes energéticas de una economía, 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 económica.

⁷ Esta identidad es una aplicación de un enfoque más general para discutir las fuerzas determinantes de los impactos ambientales, la llamada identidad IPAT, que relaciona los impactos (I) con la población (P) multiplicada por la afluencia o prosperidad económica (A) y la tecnología (T).

El producto de los dos primeros factores nos muestra la intensidad de emisiones del PIB ($\frac{CO_{2t}}{PIB_t}$) y si pasáramos la población a la izquierda de la

ecuación, tendríamos la descomposición de las emisiones per cápita ($\frac{CO_{2t}}{P_t}$).

El enfoque de los factores de Kaya permite descomponer las emisiones de CO₂ en las principales fuerzas determinantes de estas emisiones. No obstante, uno de sus inconvenientes es que estos principales factores determinantes pueden no ser independientes entre sí (p.ej., al alcanzar un mayor bienestar económico podrían desarrollarse tecnologías más eficientes gracias a un mayor nivel de capital, hecho que podría llevar a menores intensidades energéticas).

La Tabla 1 muestra la evolución entre 1990 y 2004 de los diferentes factores citados anteriormente.

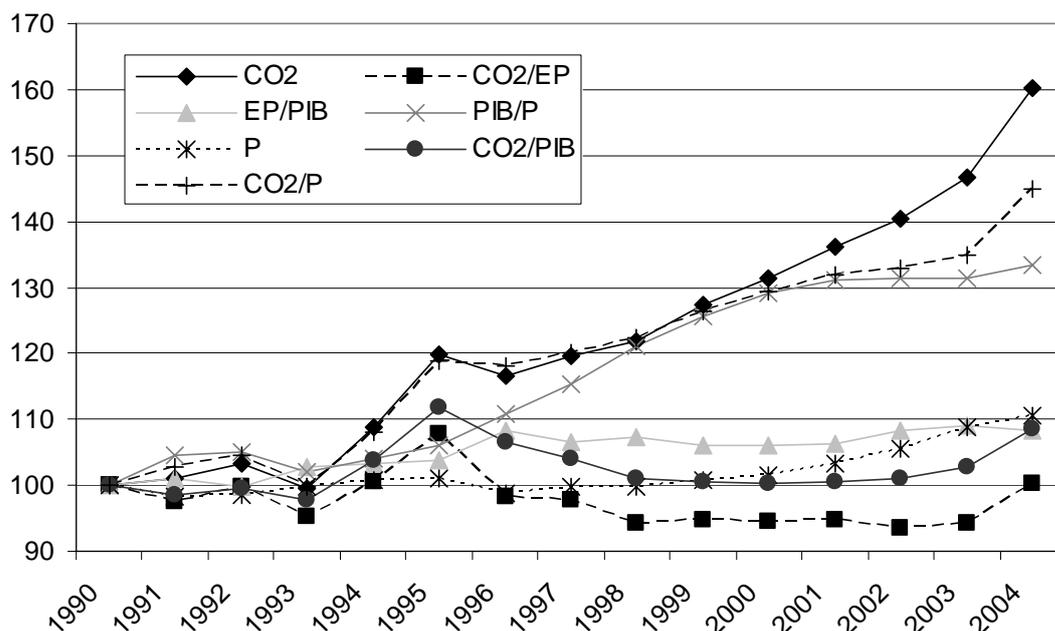
Tabla 1. Descomposición de las emisiones de CO₂ en Cataluña entre 1990 y 2004

Año	Emisiones CO ₂	Factores de Kaya				Intensidad emisiones del PIB CO ₂ /PIB	Emisiones per cápita CO ₂ /P
		Índice carbonización CO ₂ /E	Intensidad Energética E/PIB	PIB per cápita PIB/P	Población P		
1990	29380,5	1,759	173,21	15,64	6165,6	304,69	4,77
1991	29711,4	1,714	175,04	16,34	6059,5	300,10	4,90
1992	30326,5	1,756	172,68	16,45	6082,0	303,20	4,99
1993	29266,5	1,674	177,95	15,95	6158,7	297,92	4,75
1994	31974,7	1,770	178,70	16,28	6208,6	316,36	5,15
1995	35230,3	1,895	179,91	16,60	6226,9	340,92	5,66
1996	34274,2	1,728	187,69	17,35	6090,0	324,40	5,63
1997	35143,2	1,718	184,62	18,03	6144,6	317,14	5,72
1998	35813,9	1,657	185,76	18,92	6147,6	307,88	5,83
1999	37414,5	1,668	183,74	19,66	6207,5	306,51	6,03
2000	38622,0	1,662	183,80	20,19	6262,0	305,42	6,17
2001	40008,2	1,665	184,19	20,51	6361,4	306,65	6,29
2002	41225,2	1,643	187,53	20,56	6506,4	308,20	6,34
2003	43101,7	1,656	188,98	20,54	6704,1	312,99	6,43
2004	47042,1	1,764	187,69	20,85	6813,3	331,07	6,90
% variación	60,11	0,27	8,36	33,35	10,50	8,66	44,89

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de emisiones del MMA, datos de población de IDESCAT, datos de PIB del INE, y los balances de energía facilitados por el ICAEN.

Nota: Emisiones en Ktn de CO₂; Población en miles de habitantes; Emisiones per cápita en toneladas por habitante; Índice de carbonización en toneladas de CO₂ por toneladas de energía primaria en equivalente de petróleo; Intensidad energética en toneladas de energía primaria en equivalente de petróleo por millón de euros constantes de 1995; Intensidad de carbono del PIB en toneladas de CO₂ por millón de euros constantes de 1995. En esta tabla y las siguientes, el PIB per cápita se expresa en miles de euros constantes de 1995.

Figura 2. Evolución de las emisiones y de los diferentes factores en números índice (100=nivel 1990)



Fuente: Elaboración propia a partir de MMA, IDESCAT, INE y los balances de energía facilitados por el ICAEN.

Nota: EP indica energía primaria; P indica población.

En la Tabla 1 y la Figura 2 se puede observar que el principal factor que ha influido en el notable incremento de emisiones ha sido el aumento en el PIB per cápita, con un crecimiento del 33,35%. El crecimiento demográfico también habría contribuido de forma importante al aumento en las emisiones totales, con un aumento del 10,5% en este factor: sobre todo a partir de 1999, ya que en la década de los noventa la población se mantuvo estable con pocas variaciones.

No obstante, las diferencias en población y en disponibilidad de bienes y servicios no bastan para explicar la evolución de las emisiones totales. De hecho, el crecimiento económico no es suficiente para explicar la importante variación en las emisiones per cápita lo largo del periodo, como muestra el mayor aumento de las emisiones per cápita, del 44,89% respecto al 33,35% de aumento del PIB per cápita. Es necesario analizar las diferencias en el índice de carbonización y la intensidad energética, que hacen que la intensidad de emisiones del PIB sea más grande al final del periodo de 15 años analizado. En concreto, esta intensidad ha aumentado un 8,66% a lo largo del periodo.

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 (véase Roca y Alcántara, 2002)⁸. No obstante, el debate sobre

⁸ 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 (1999), en cambio, en respuesta al comentario anterior, insiste en la mayor importancia de la intensidad energética.

si un factor es más o menos importante que el otro en explicar la evolución de la intensidad de emisiones del PIB, no es un debate demasiado relevante, ya que no se puede generalizar para el comportamiento de todos los países y la evolución de los diferentes factores dependerá del caso analizado. Hay razones —y evidencia empírica— que muestran que los dos factores pueden ser muy variables.

La intensidad energética del PIB es un valor agregado que depende de diversos factores, como la estructura de la demanda de bienes y servicios, la eficiencia energética en la provisión de los diferentes productos y los modelos de transporte. La intensidad energética puede variar mucho a lo largo del tiempo y ser muy diferente entre países con un nivel similar de renta per cápita.

Respecto al índice de carbonización, este depende directamente de la combinación de fuentes energéticas que se utilicen. En el caso de los combustibles fósiles, el factor de emisión del carbón es mucho más grande que el del gas natural, mientras que en el caso de la energía solar o eólica, los factores de emisión son nulos (también en el caso de las nucleares, aunque esta energía comportaría otros costes y riesgos ambientales que hacen que, en nuestra opinión, sea una alternativa peor a los combustibles fósiles)⁹. Por tanto, los cambios en el índice de carbonización muestran cambios en la combinación de las fuentes que se utilizan para obtener energía.

Por tanto, se puede afirmar que hay muchos más factores que pueden influir en la intensidad energética que en el índice de carbonización. Pero esto no implica que la intensidad energética tenga necesariamente más importancia. De hecho, no es posible imaginarse un sistema socioeconómico donde no se utilice energía, pero sí que podemos imaginarnos una situación donde se haya producido la transición completa de combustibles fósiles a fuentes de energía renovables, como podría ser la isla de El Hierro. De hecho, este cambio es inevitable en el largo plazo, dada la condición de recursos no renovables de los combustibles fósiles y, cuanto antes se haga la transición, mayores serán los impactos ambientales negativos que se evitarían.

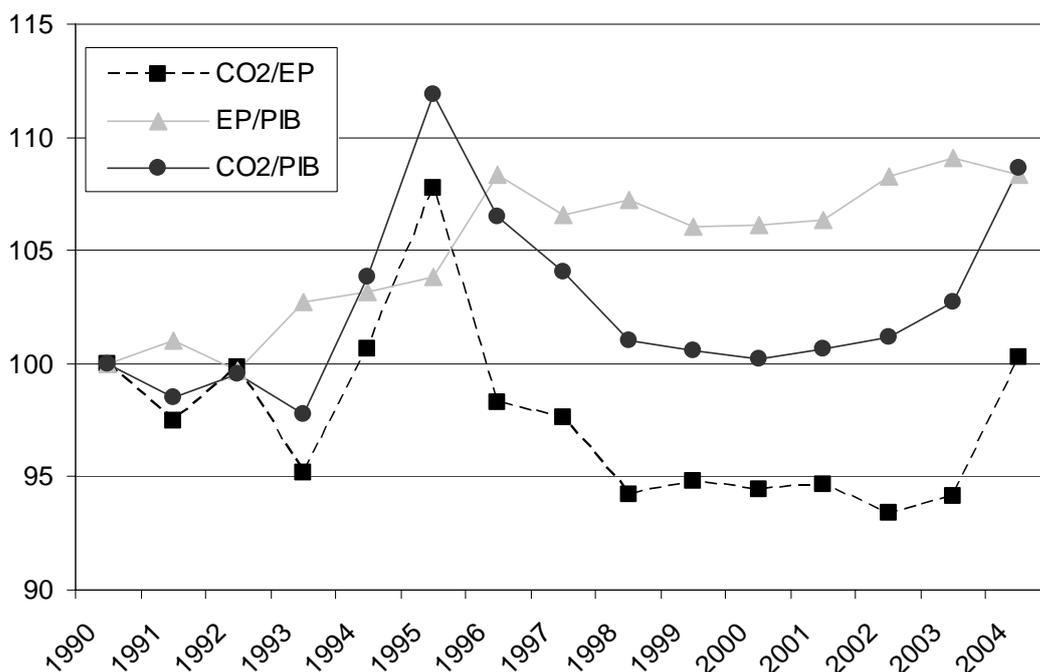
En el caso de Cataluña, y sin que sea generalizable para el debate citado, los datos muestran una mayor importancia de la evolución de la intensidad energética para explicar el cambio en la intensidad de emisiones del PIB (emisiones por unidad de PIB). De hecho, casi todo el aumento de la intensidad energética del PIB (8,66%) se explicaría por el aumento de la intensidad energética (8,36%), mientras que el índice de carbonización casi es el mismo al inicio y al final del periodo.

No obstante, este resultado, comparando únicamente el inicio y el final del periodo, puede esconder la importancia del índice de carbonización en la evolución de las emisiones. La Figura 3 muestra claramente que es la mayor variabilidad que ha habido en el índice de carbonización la que explica, en gran

⁹ De hecho, las emisiones también pueden ser bastante importantes si se analiza el ciclo de vida completo del combustible, incluyendo la energía para las plantas enriquecedoras o para gestionar los residuos, además de la utilizada en la construcción de las centrales o en las minas de uranio.

parte, las variaciones experimentadas a lo largo del periodo por la intensidad de emisiones del PIB; aunque al final del periodo coincide el cambio porcentual producido en la intensidad de emisiones con el de la intensidad energética del PIB. La evolución del índice de carbonización (es decir, el cambio en el *mix* de fuentes energéticas utilizadas) ha sido la principal causa de la reducción de emisiones por unidad de PIB que se produjo entre 1995 y 1998. De la misma forma, el fuerte incremento de este índice entre 2002 y 2004 es la causa del aumento que se observa al final del periodo en la intensidad de carbono del PIB.

Figura 3. Intensidad de emisiones del PIB y sus factores explicativos (100=nivel 1990)



Fuente: Elaboración propia a partir de MMA, IDESCAT, INE y los balances de energía facilitados por el ICAEN.

Nota: EP indica energía primaria

En buena parte, el hecho de que no se reduzca la intensidad de carbono del PIB, y que hasta haya aumentado, responde a la importancia que ha tenido el aumento del transporte por carretera a lo largo del periodo, hecho que ha compensado las ganancias en eficiencia que se han producido en la industria. El transporte por carretera por un lado hace un uso intensivo de la energía, de manera que si aumenta dificulta que baje la intensidad energética, y por otro lado se nutre con el consumo de combustibles fósiles, hecho que dificulta que baje el índice de carbonización, contrarrestando los cambios producidos en otros sectores donde ha habido sustitución por combustibles que, como el gas natural, emiten menos CO₂. Además, mientras aumente el uso de energía, el porcentaje en la oferta energética que representan las centrales nucleares va disminuyendo (y previsiblemente disminuirá mucho más cuando éstas se empiecen a cerrar durante las próximas décadas). Este hecho, si no se sustituye la generación de electricidad de origen nuclear por energías limpias, presiona al alza el índice de carbonización.

Los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética han de ayudar a reducir las emisiones de cara al futuro, si bien ésta también responde en buena parte a la evolución en la estructura productiva; es decir, de si la producción de los bienes y servicios que ven aumentada su demanda requiere más o menos energía que la producción de los que ven reducida su demanda en términos relativos. Ya hemos comentado que 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, en Cataluña también queda mucho camino aún por recorrer en la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía alternativas. Los mercados de emisiones, imponiendo progresivamente más limitaciones a los niveles de emisiones, o los impuestos energéticos y sobre el CO₂, que han sido propuestos en el pasado en numerosas ocasiones en la Unión Europea (véase Padilla y Roca, 2003, 2004), 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 el transporte por carretera.

Algunos autores, como Sun (1999) analizan la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental para las emisiones de CO₂. Esta hipótesis, surgida en los primeros noventa en diversos estudios, sugiere la existencia de una relación en forma de U invertida entre presión ambiental y renta per cápita. En un primer estadio del desarrollo económico el problema ambiental aumentaría conforme aumenta la renta per cápita, pero se llegaría a un punto a partir del cual la problemática disminuye con el crecimiento económico¹⁰. No obstante, la hipótesis, además de tener una base teórica débil, tampoco se ha visto demasiado apoyada por la evidencia empírica (véase Roca et al., 2001; Roca y Padilla, 2003).

Sun define la hipótesis como la evolución de la intensidad de emisiones (el cociente entre emisiones y PIB) siguiendo una función en forma de U invertida respecto al PIB per cápita. Según Sun, la hipótesis se cumpliría efectivamente en algunos casos (él analiza el caso de China), aunque, sensatamente, indica que el resultado no se podría generalizar para otros países y que las conclusiones no se podrían extender a otros indicadores ambientales. Sun asume que el índice de carbonización no cambia o que sus variaciones son suficientemente pequeñas, de forma que las formas funcionales de la evolución de las intensidades de energía y de emisiones serían idénticas. Por otro lado, Mielnik y Goldemberg (1999) destacan que la desvinculación entre consumo de energía y crecimiento económico, medida a través del comportamiento de la intensidad energética, se debería complementar —según ellos— con el análisis más relevante del índice de carbonización.

Tanto Sun como Mielnik y Goldemberg definen implícitamente la desvinculación entre presión ambiental y crecimiento económico como la reducción en la intensidad de emisiones cuando aumenta el ingreso. Se podría adoptar esta definición, pero la cuestión relevante desde el punto de vista

¹⁰ Esta hipótesis se ha dado a conocer con este nombre por su similitud con la relación encontrada por Kuznets (1955) entre nivel de desigualdad y renta per cápita.

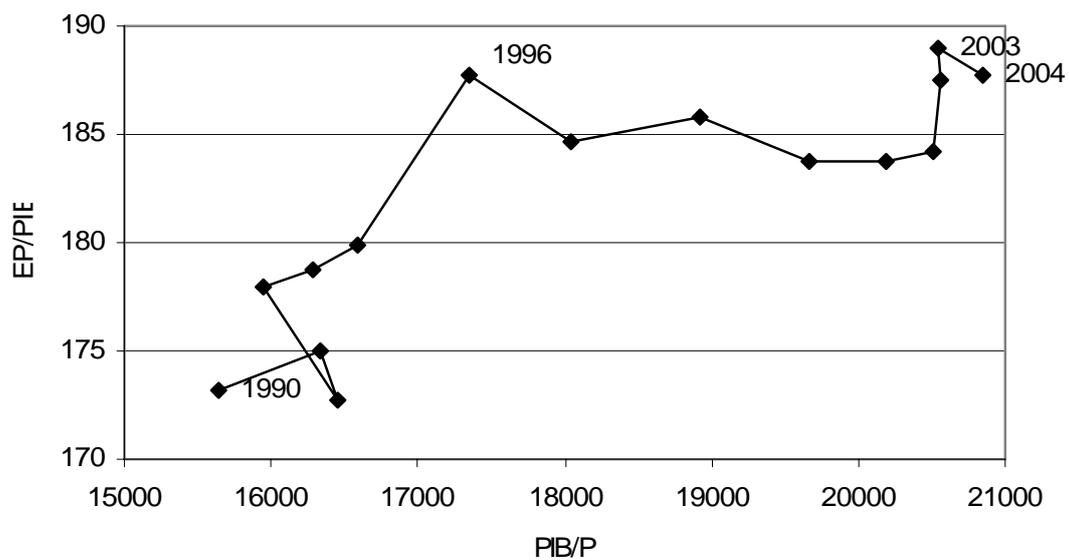
ambiental no es la evolución de la intensidad de emisiones, sino la tendencia en el nivel absoluto de emisiones.

En el caso de algunos países, como China, se ha reducido la intensidad de emisiones del PIB, hecho que, a veces, se ha puesto como muestra de la desvinculación entre crecimiento económico y emisiones de CO₂. No obstante, se ha de tener en cuenta que lo que causa impacto en el ecosistema no es la intensidad de emisiones del PIB, sino la cantidad total de CO₂ que se emite y que, por tanto, hace variar las concentraciones atmosféricas y el efecto invernadero (además de los otros efectos ambientales asociados a la quema de combustibles). Siguiendo la terminología de Bruyn y Opschoor (1997) lo que es importante para los ecosistemas no es la desvinculación relativa (“desvinculación débil”) entre emisiones y crecimiento económico, sino la desvinculación absoluta (“desvinculación fuerte”). Es decir, que el aumento del PIB no provoque aumentos del flujo de emisiones en la atmósfera.

En Cataluña, de la misma forma que en el conjunto español, y al contrario de lo que ha pasado en la mayoría de países industrializados de la OCDE, no se ha producido una reducción en la intensidad energética del PIB. Es más, como ya hemos visto, esta intensidad ha aumentado a lo largo del periodo, con el resultado de que la intensidad de carbono del PIB también ha aumentado. A pesar de las ganancias de eficiencia en el uso de energía en los sectores industriales, el fuerte aumento en el uso de energía por parte del transporte por carretera ha llevado a este comportamiento.

En conclusión, en el caso de Cataluña no es posible hablar de desvinculación entre crecimiento económico y emisiones de CO₂ en ninguno de los sentidos mencionados, ya que tanto las emisiones totales como la intensidad de emisiones del PIB aumentan a lo largo del periodo considerado. Este hecho queda evidenciado en las Figuras 4 a 6. Por tanto, queda claro que hay que aplicar las políticas adecuadas orientadas a mejorar la eficiencia energética y a reducir las emisiones por unidad de energía si queremos evitar que el crecimiento económico continúe comportando mayores emisiones (tanto absolutas, como por unidad de PIB).

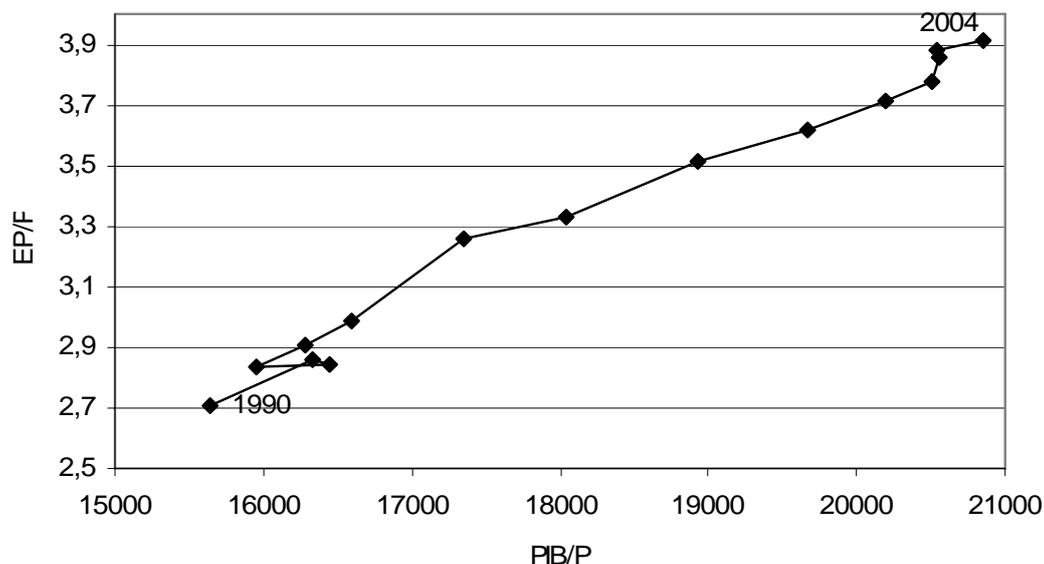
Figura 4. Relación entre la intensidad energética del PIB (tep/10⁶ €) y el PIB per cápita (€/hab)



Fuente: Fuente: Elaboración propia a partir de MMA, IDESCAT, INE y los balances de energía facilitados por el ICAEN.

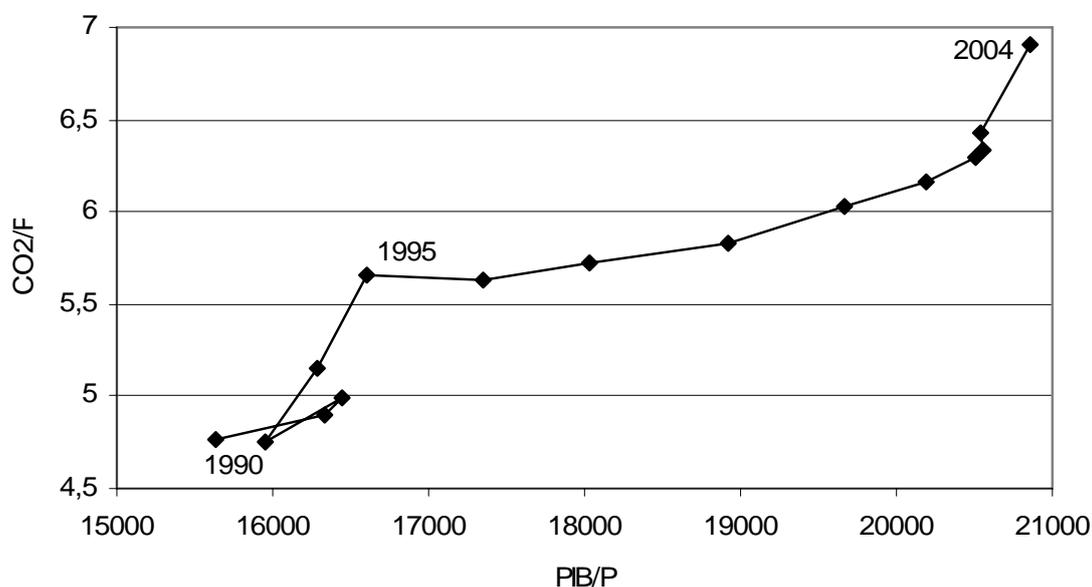
Nota: EP indica energía primaria, P indica población

Figura 5. Relación entre el uso de energía primaria per cápita (tep/hab) y el PIB per cápita (€/hab)



Fuente: Elaboración propia a partir de MMA, IDESCAT, INE y los balances de energía facilitados por el ICAEN.

Figura 6. Relación entre las emisiones de CO₂ per cápita (toneladas/hab) y el PIB per cápita (€/hab)



Fuente: Elaboración propia a partir de MMA, IDESCAT, INE y los balances de energía facilitados por el ICAEN.

3. La importancia de los diferentes procesos emisores en Cataluña y comparación con el conjunto de España

En la siguiente tabla podemos observar la composición por procesos emisores de las emisiones de CO₂ en Cataluña y las emisiones totales en España.

Tabla 2. Emisiones de CO₂ por grupos de procesos, 2004

	Cataluña			España		
	CO ₂ (kt)	CO ₂ p cap. (tn)	%	CO ₂ (kt)	CO ₂ p.cap. (tn)	%
1 COMBUSTIÓN EN PROD. Y TRANSF. DE ENERGÍA	7587,6	1,11	16,13	114482,4	2,68	32,29
Centrales termoeléctricas de uso público	4495,6	0,66	9,56	99088,6	2,32	27,95
Plantas de refino de petróleo	2956,2	0,43	6,28	13397,9	0,31	3,78
Plantas de transformación de combustibles sólidos	0	0	0	1057,8	0,02	0,30
Minería del carbón; extracción de petróleo/gas; compr.	135,8	0,02	0,29	938,1	0,02	0,26
2 PLANTAS DE COMBUSTIÓN NO INDUSTRIAL	4824,2	0,71	10,26	30222,5	0,71	8,52
Plantas de combustión comercial i institucional	1984,0	0,29	4,22	9027,9	0,21	2,55
Plantas de combustión residencial	2699,5	0,40	5,74	19438,9	0,46	5,48
Plantas de combustión en la agricultura, silvicultura y acuicultura	140,7	0,02	0,30	1755,7	0,04	0,50
3 PLANTAS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	13823,7	2,03	29,39	68725,3	1,61	19,38
4 PROCESOS INDUSTRIALES SIN COMBUSTIÓN	4602,5	0,68	9,78	27782,3	0,65	7,84
Procesos en la industria de refino de petróleo	0,0	0,00	0,00	1969,9	0,05	0,56
Proc. en la industria del hierro y el acero y en las coqu.	89,7	0,01	0,19	1951,9	0,05	0,55
Procesos en la industria de metales no férreos	0	0	0	1570,5	0,04	0,44
Procesos a la industria química inorgánica	0	0	0	666,0	0,02	0,19
Procesos ind. de la madera, p. de papel, alim., bev. y otros	4512,8	0,66	9,59	21624,0	0,51	6,10
Cemento (descarbonatación)	3926,6	0,58	8,35	16630,9	0,39	4,69
Vidrio (descarbonatación)	0,1	0,00	0,00	1,2	0,00	0,00
Cal (descarbonatación)	187,8	0,03	0,40	1632,2	0,04	0,46
Otros (incluyendo la fabricación de productos de amianto)	6,4	0,00	0,01	460,2	0,01	0,13
Uso de piedra calcárea y dolomita	312,3	0,05	0,66	2206,8	0,05	0,62
Producción y uso de carbonato sódico	79,5	0,01	0,17	692,7	0,02	0,20
5 EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y ENERGÍA GEO.	0,3	0,00	0,00	0,5	0,00	0,00
6 USO DE DISOLVENTES Y OTROS PRODUCTOS	228,6	0,03	0,49	1246,8	0,03	0,35
7 TRANSPORTE POR CARRETERA	13153,5	1,93	27,96	90368,6	2,12	25,49
Turismos	6740,1	0,99	14,33	47048,5	1,10	13,27
Vehículos ligeros < 3,5 t	1865,3	0,27	3,97	12033,5	0,28	3,39
Vehículos pesados > 3,5 t y autobuses	4448,8	0,65	9,46	30857,3	0,72	8,70
Motocicletas y ciclomotores < 50 cm ³	12,4	0,00	0,03	82,3	0,00	0,02
Motos > 50 cm ³	86,9	0,01	0,18	347,0	0,01	0,10
8 OTROS MODOS DE TRANSPORTE I MAQ. MÓVIL	2201,9	0,32	4,68	20520,4	0,48	5,79
9 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE RESIDUOS	619,8	0,09	1,32	1213,5	0,03	0,34
TOTAL	47042,1	6,90	100	354562,3	8,31	100

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

Podemos destacar algunas de las diferencias que hay entre Cataluña y el conjunto de España respecto a las emisiones clasificadas por procesos emisores, tal y como las clasifica el inventario Corine-aire.

Teniendo en cuenta los porcentajes que representan los diferentes procesos respecto al total de emisiones en cada caso, lo más relevante es el diferente peso que tienen los procesos de combustión en la producción y transformación de energía. En Cataluña, estos procesos representan un porcentaje del 16,13% respecto al total de emisiones, muy por debajo del porcentaje del conjunto de España, donde prácticamente explican una tercera parte de las emisiones totales. En términos de emisiones per cápita, estos procesos generan 1,57 toneladas más per cápita en el conjunto de España de lo que generan en Cataluña, siendo las emisiones per cápita por este concepto en Cataluña sólo un 42% de lo que representan en el conjunto de España. La diferencia se explica por el peso de las centrales termoeléctricas (donde las emisiones per cápita españolas triplican a las catalanas). La mayor dependencia de la energía nuclear en el caso de Cataluña, y la existencia de centrales térmicas de carbón muy contaminantes en otras comunidades autónomas, como es el caso de Galicia o Asturias, explican esta gran diferencia. En cambio, en Cataluña, las emisiones por refino de petróleo tienen un peso relativo bastante superior al del conjunto español.

Respecto a las plantas de combustión no industrial, las diferencias no son demasiado importantes, aunque se puede destacar un mayor peso en el caso de Cataluña de las plantas de combustión comercial e institucional, es decir, en el sector comercio y en los edificios de la administración pública.

Donde sí nos encontramos una diferencia importante de las emisiones, en términos relativos y absolutos, es en las emisiones de las plantas de combustión industrial. Estos procesos implican unas emisiones per cápita de 2,03 toneladas, frente a 1,61 en la media española. Es decir, en Cataluña se emiten 0,42 más de toneladas per cápita causadas por los procesos de combustión industrial. Esto es así como consecuencia del mayor peso que el sector industrial tiene a Cataluña, que hace que la participación total en las emisiones sea de un 29,39% frente a un 19,39% en el conjunto de España.

Los procesos industriales sin combustión también tienen un mayor peso y unas mayores emisiones per cápita en Cataluña. En concreto, las emisiones per cápita atribuibles a las cementeras son un 50% superiores en Cataluña; siendo 0,2 tn per cápita superiores a las del conjunto de España.

Finalmente, en el caso del transporte por carretera, si bien en Cataluña representan un porcentaje un poco más grande, no se aprecian diferencias relevantes en las emisiones per cápita. Más bien, las emisiones per cápita son ligeramente inferiores. El mayor peso de estas emisiones respecto al total sería resultado de las menores emisiones totales per cápita en Cataluña que, como hemos dicho, se deben sobre todo al menor peso absoluto de los procesos de producción y transformación de energía.

4. Evolución de las emisiones de CO₂ vinculadas al consumo de energía para usos energéticos

Las emisiones de CO₂ se explican, principalmente, por el uso de energía fósil. No obstante, no todas las fuentes de energía primaria de este tipo tienen los mismos factores de emisión (contenido de carbono por unidad física utilizada), como tampoco la eficiencia en su uso y transformación es la misma. Por otro lado, es evidente que las emisiones totales generadas por una sociedad dependerán en última instancia del volumen de energía consumido para usos finales. Naturalmente, la estructura de producción y consumo de la sociedad, así como el mayor o menor cuidado en su utilización, son factores muy relevantes para explicar la cantidad de energía final consumida. No obstante, estos últimos aspectos no serán tenidos en cuenta en el análisis que llevaremos a cabo en estas páginas. El trabajo desarrollado en este apartado considera como dato base la media del periodo 1990-1992 y como dato final la media del periodo 2003-2005, a fin y efecto de evitar aspectos coyunturales que podrían desvirtuar los resultados. Y se basa en la metodología desarrollada en Alcántara y Roca (1995).

Aunque el análisis desarrollado en los apartados anteriores de este estudio está basado en la información que proporciona el inventario Corine-aire, con objeto de hacer comparaciones con el resto de España, en este apartado solamente tendremos en cuenta las emisiones vinculadas al consumo de energía para usos energéticos. Por otro lado, sólo se considerarán las emisiones de CO₂ relacionadas con el carbón, petróleo, derivados de petróleo utilizados como fuente primaria y el gas natural. Otros elementos, como el biogás, biodiesel, y determinados residuos, no han sido tenidos en cuenta dada su poca importancia relativa. Nuestras estimaciones son muy similares a las obtenidas en el Plan de la Energía de Cataluña y, por tanto, estas omisiones apenas afectan a los resultados obtenidos.

Para nuestro trabajo hemos partido de los balances energéticos de Cataluña. Por lo que respecta a los factores de emisión, hemos utilizado los propuestos por el IPCC (1996). En el caso del petróleo crudo y el gas natural hemos aplicado los factores de emisión de carbono recomendados por esta institución: 20,0 t C/TJ en el caso del crudo y 15,3 t C/TJ para el gas natural. Para el carbón y el saldo de los derivados de petróleo, que es la suma de los mismos que se utilizan como energía primaria, hemos utilizado un factor de emisión de carbono que es la media ponderada de los utilizados en Cataluña. A partir de aquí, la conversión a factores de emisión de CO₂ es inmediata.

Los factores de emisión estimados son los de la tabla siguiente (Tabla 3):

Tabla 3. Factores de emisión CO₂/tep (en toneladas de CO₂ por tep)

	1990-92	2003-05
Carbón	4,01	3,99
Petróleo crudo	3,04	3,04
Saldo derivados de petróleo	4,42	3,12
Gas natural	2,34	2,34

Fuente: Elaboración propia a partir de IPCC (1996), véase texto.

En primer lugar, determinaremos las emisiones correspondientes a los dos periodos, tanto por sectores como por fuentes energéticas primarias. Denotaremos como \mathbf{E} a una matriz ($j \times s$), donde j es el número de fuentes primarias consideradas (16) y s el número de sectores económicos considerados en nuestro análisis (5 en nuestro caso: primario, industria, servicios, transporte y doméstico). Así pues, nuestra matriz \mathbf{E} es de dimensión 16×5 .

Nuestro punto de partida es la siguiente expresión matricial:

$$\mathbf{E}_t = \mathbf{T}_t \mathbf{P}_t \hat{\mathbf{C}}_t \quad (1)$$

La matriz \mathbf{T} es un operador lineal que transforma la energía final utilizada en la energía primaria necesaria para obtenerla, de orden ($j \times k$), donde k es el número de energías finales empleadas. La matriz \mathbf{P} representa los pesos de las energías finales consumidas por cada sector en el total de su consumo, tiene pues una dimensión ($k \times s$). Por último, $\hat{\mathbf{C}}$ es una matriz diagonal que tiene en su diagonal principal los consumos energéticos totales finales de los s sectores considerados. Es pues de orden ($s \times s$). t es el periodo correspondiente.

Definiendo ahora una nueva matriz diagonal $\hat{\mathbf{F}}$ que tiene los factores de emisión correspondientes en las n fuentes de energía analíticamente consideradas (4 en nuestro caso) en la diagonal principal y ceros en el resto, podemos determinar la siguiente matriz \mathbf{Q} :

$$\mathbf{Q}_t = \hat{\mathbf{F}}_t \mathbf{E}_t = \hat{\mathbf{F}}_t \mathbf{T}_t \mathbf{P}_t \hat{\mathbf{C}}_t \quad (2)$$

En la cual, para un momento determinado, su elemento característico $Q_{ig,t}$ expresa las emisiones de CO_2 generadas por el sector g debidas a las necesidades de energía de tipo i . Evidentemente, $i \in n$, $g \in s$ y el orden de la matriz es ($n \times s$).

La computación de la expresión (2), teniendo en cuenta los factores de emisión anteriores y las necesidades de energía primaria sectorial calculadas en Roca et al. (2007), nos daría, para los dos periodos de tiempo considerados, las matrices de las tablas 4 y 5:

Tabla 4. Emisiones de CO_2 (kt) medias en el periodo 1990 – 1992

	Primario	Industria	Servicios	Transporte	Doméstico
Carbón	8,9	1376,7	192,3	23,0	210,6
Petróleo	1317,4	4050,1	842,0	11992,2	1492,5
SDP*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gas	10,2	2875,6	496,6	17,6	996,5

Nota: * Saldo derivados de petróleo.

Fuente: Elaboración propia a partir de ICAEN y la metodología explicada en el texto.

Tabla 5: . Emisiones de CO₂ (kt) medias en el periodo 2003– 2005

	Primario	Industria	Servicios	Transporte	Doméstico
Carbón	8,2	449,1	251,5	19,5	179,4
Petróleo	1336,6	3057,2	622,2	13588,8	915,1
SDP*	627,0	1434,1	291,9	6374,4	429,3
Gas	90,3	7744,9	2765,5	231,8	3401,1

Nota: * Saldo derivados de petróleo.

Fuente: Elaboración propia a partir de ICAEN y la metodología explicada en el texto.

Consideraremos a continuación, los cambios globales operados entre los dos momentos. Lo haremos, en primer lugar, desde una perspectiva global y, en segundo lugar, analizaremos los efectos que explican los cambios que han tenido lugar en los últimos quince años.

5. Una perspectiva general de las emisiones totales de CO₂ vinculadas al consumo de energía

A lo largo del periodo considerado en este análisis, las emisiones de CO₂ vinculadas al consumo de energía para usos energéticos experimentaron un crecimiento porcentual total del 69,2%. Este es un incremento, como hemos visto en el apartado anterior, muy superior al promedio de España. Nos interesa, en primer lugar, ver los grandes cambios operados para explicar este crecimiento tan importante de las emisiones. Lo haremos, en primer lugar, desde una perspectiva global, tanto desde el punto de vista de las fuentes de energía emisoras aquí consideradas como desde un punto de vista sectorial.

5.1. Las fuentes de emisión y su comportamiento

Si en las Tablas 4 y 5 sumamos las filas, obtenemos las emisiones correspondientes a cada fuente de energía, que se muestran en la Tabla 6. El lector debe tener en cuenta que, si se compara esta información con los resultados de Roca et al. (2007), que se trata de las emisiones de CO₂ excluyendo la energía primaria que se destina a usos no energéticos. Por tanto, aquí haremos una valoración respecto de las necesidades de energía primaria (las cuatro fuentes más importantes desde la perspectiva del CO₂: carbón, petróleo crudo, derivados de petróleo importados y gas natural) vinculadas a los usos finales de energía de los sectores económicos para usos energéticos.

Tabla 6. Estimación de las emisiones de CO₂ por fuentes de energía primaria

	1990-1992	2003-2005	Variación	
	Miles de toneladas (kt)		%	
Carbón	1811,5	907,7	-903,9	-49,9
Petróleo	19694,3	19519,9	-174,4	-0,9
SDP	0	9156,6	9156,6	---
Gas	4396,6	14233,5	9836,9	223,7
Total	25902,4	43817,7	17915,3	69,2
	Distribución sectorial %		Contribución a la Variación total %	
Carbón	7,0	2,1	-3,5	
Petróleo	76,0	44,5	-0,7	
SDP	0	20,9	35,4	
Gas	17,0	32,5	38,0	
Total	100,0	100,0	69,2	

Fuente: Elaboración propia a partir de ICAEN y la metodología explicada en el texto.

Como vemos, estas emisiones han pasado de 25.902,4 kt. a 43.817,7 kt. Y esto se debe al incremento experimentado por el gas natural y los derivados de petróleo. No debe sorprender la contribución negativa del carbón, ya que ha perdido importancia como fuente de energía primaria. En el caso del petróleo crudo, la explicación está en que se ha “sustituido” en gran parte por importaciones de derivados de petróleo ya refinados. Sería injusto otorgar una culpabilidad sin matizaciones al gas natural, que ha aumentado de forma muy considerable, ya que el factor de emisión por tonelada equivalente de petróleo (tep) es mucho menor que en los otros combustibles fósiles, como vimos en la Tabla 3 de factores de emisión. No obstante, estas cuestiones se pondrán de manifiesto en el análisis posterior.

La Tabla 6 muestra claramente los cambios que se han producido en la sustitución de combustibles sólo comparando la estructura de las emisiones. La participación de las emisiones del gas natural prácticamente se ha multiplicado por dos, pasando a representar el 32,5% del total. Por otro lado, el 20,9% de participación del saldo de derivados de petróleo (SDP en adelante) compensa en cierta manera la disminución de la participación del petróleo crudo. Lo único que parece mostrar es que aquellos derivados utilizados en la producción de energía final que eran producidos en el interior de Cataluña, han sido sustituidos por productos importados. Una forma más adecuada de ver la relevancia de estos cambios es calcular la contribución positiva o negativa en términos relativos de cada fuente energética. Tenemos bastante con calcular, como se muestra en la parte inferior de la última columna de la tabla, el porcentaje que supone la variación en sus emisiones de una determinada fuente sobre las emisiones totales del periodo base (en nuestro caso 1990-1992). Queda claro que las variaciones en la disminución de las emisiones vinculadas al carbón y el petróleo no han contribuido, ni de lejos, a compensar los incrementos experimentados por el SDP y el gas natural, de aquí el importante incremento de las emisiones de CO₂ totales.

Pasamos ahora a analizar de una forma también muy general la evolución e las emisiones totales desde una perspectiva sectorial.

5.2. Los cambios operados en los sectores económicos

Partiremos, como en el caso anterior, de las Tablas 4 y 5. Si ahora sumamos las columnas de estas tablas, lo que obtenemos son las emisiones de CO₂ relacionadas con los cinco sectores económicos analíticamente considerados. La Tabla 7 replica, por tanto, la Tabla 6 por sectores de actividad:

Tabla 7. Estimación de las emisiones sectoriales de CO₂				
	1990-92	2003-05	Variación	
	Miles de toneladas (kt)			%
Primario	1336,6	2062,1	725,5	54,3
Industria	8302,5	12685,3	4382,8	52,8
Servicios	1530,9	3931,1	2400,2	156,8
Transporte	12032,8	20214,4	8181,6	68,0
Doméstico	2699,6	4924,9	2225,3	82,4
Total	25902,4	43817,7	17915,3	69,2
	Distribución sectorial %		Contribución a la variación total %	
Primario	5,2	4,7	2,8	
Industria	32,1	29,0	16,9	
Servicios	5,9	9,0	9,3	
Transporte	46,5	46,1	31,6	
Doméstico	10,4	11,2	8,6	
Total	100,0	100,0	69,2	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ICAEN y la metodología explicada en el texto.

Si nos fijamos en la parte superior de la tabla, donde se muestran las tasas de crecimiento de los diferentes sectores sobre su situación en el periodo base, los sectores servicios y los hogares aparecen como los de mayor crecimiento, y estaríamos tentados de atribuirles una gran responsabilidad en el crecimiento de las emisiones en el periodo de tiempo analizado. No obstante, queda claro que el transporte es el gran responsable directo de las emisiones de CO₂, aunque es cierto que los servicios y los hogares han incrementado su participación en la distribución de las emisiones entre sectores. El sector servicios ha pasado de representar el 5,9% en 1990-1992 al 9% en 2003-2005; una variación de 3 puntos, prácticamente la disminución de la industria, mientras que no llega al uno por ciento el cambio en el peso relativo de los hogares.

Lo que hemos considerado al final del anterior párrafo desmitifica un poco la importancia que podríamos atribuir al sector doméstico y al de servicios. Esto no podría ser de otra forma, dado que el consumo energético de estos sectores —y también las necesidades de energía primaria— es muy inferior a los de la industria y el transporte. No obstante, hay que recordar que la base material sobre la que se sustenta tanto el consumo del sector residencial como las actividades de servicios comportan una sustancial responsabilidad de parte de las emisiones de la industria por los efectos de arrastre que comportan (véase Alcántara y Padilla, 2006): por ejemplo, las necesidades energéticas del sector

de producción de automóviles y de la construcción de carreteras se explica por el transporte.

Conviene ver ahora qué factores participan y qué papel juegan en la explicación de la evolución de estas emisiones, lo que se analizará en la sección siguiente.

6. Efectos explicativos de la evolución de las emisiones de CO₂ vinculadas al uso de energía: metodología, aplicación y resultados.

Al principio de este estudio hablábamos del papel que tienen tanto las cantidades de energía consumidas como la eficiencia en su uso, y de la relevancia de los factores de emisión de los diferentes tipos de energía consumida. Este último aspecto otorga una importancia crucial a la sustitución de fuentes en el *mix* energético.

La descomposición en factores explicativos de la evolución de las emisiones de CO₂ sigue la metodología explicada en Roca et al. (2007) y Alcántara y Roca (1995, 2003).

6.1. Metodología

Como hemos visto antes, la expresión (2), que rescribimos como sigue:

$$\mathbf{Q}_t = \hat{\mathbf{F}}_t \mathbf{T}_t \mathbf{P}_t \hat{\mathbf{C}}_t \quad (3)$$

nos dice que las emisiones den un momento del tiempo t , dadas por la matriz \mathbf{Q} dependen al menos de cuatro factores, a saber: de las emisiones por unidad de energía (factores de emisión) que en la ecuación (3) están representadas por la matriz diagonal \mathbf{F} ; un operador lineal que transforma la energía final en primaria \mathbf{T} ; el *mix* de energía final consumida \mathbf{P} ; y las cantidades totales utilizadas e íntimamente relacionadas con los niveles de actividad sectorial. Para un periodo de tiempo $[0, t]$, el incremento experimentado por las emisiones vendrá dado por

$$\Delta \mathbf{Q} = \hat{\mathbf{F}}_t \mathbf{T}_t \mathbf{P}_t \hat{\mathbf{C}}_t - \hat{\mathbf{F}}_0 \mathbf{T}_0 \mathbf{P}_0 \hat{\mathbf{C}}_0 \quad (4)$$

Este incremento se puede descomponer aditivamente, utilizando alguna de las muchas técnicas de descomposición existentes, de manera que cada sumando muestre la cantidad de la variación atribuible a las variaciones experimentadas por los diferentes factores explicativos de las emisiones. En nuestro caso:

$$\Delta \mathbf{Q} = \Delta \hat{\mathbf{F}}_{efecto} + \Delta \mathbf{T}_{efecto} + \Delta \mathbf{P}_{efecto} + \Delta \hat{\mathbf{C}}_{efecto} \quad (5)$$

Llamaremos al primer sumando a la derecha de la expresión **Efecto carbonización**¹¹. Éste muestra los cambios en las emisiones por los cambios operados dentro de algunos grupos de productos. Por ejemplo, el factor de emisión del carbón es una media ponderada que depende de los tipos de carbón utilizados. Lo mismo pasa con los derivados de petróleo, como se puede ver en la tabla de factores de emisión (Tabla 3). El segundo, **Efecto transformación**, explica las variaciones debidas a los cambios en la estructura de la transformación energética. En realidad este efecto muestra un doble aspecto, tanto los cambios operados desde la perspectiva de los combustibles utilizados como el grado de eficiencia conseguido en la transformación. Las variaciones experimentadas en las diferentes fuentes utilizadas por los sectores productivos, la variación del *mix* energético sectorial, viene dado por el tercer sumando y le llamamos **Efecto sustitución**. Por último, al último sumando a la derecha de la expresión (5) lo llamaremos **Efecto actividad**, aunque este término puede ser algo equívoco y también podría utilizarse el de nivel de consumo energético. Por un lado muestra el consumo de energía correspondiente a la propia expansión de la economía y, por otro, la eficiencia en el uso de la energía debida a las variaciones por unidad de producto obtenido (intensidad energética final), así como por la estructura de la producción, tal y como se pone de manifiesto en Alcántara y Roca (2003,1996).

En la literatura sobre esta temática existe un amplio abanico de métodos de descomposición en efectos para estimar los factores que proponemos en la expresión (5)¹². Desde un punto de vista matricial, el mejor método, a la vez que sencillo de calcular y riguroso, es el propuesto por Sun (1998), que hemos utilizado en Roca et al. (2007), pero ampliado a un factor más.

Las expresiones serían ahora las siguientes:

Efecto carbonización

$$\begin{aligned} \hat{\Delta F}_{efecte} = & \hat{\Delta F} T_0 P_0 \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} \Delta T P_0 \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T P_0 \Delta \hat{C}_0) + \\ & 1/3(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) \end{aligned}$$

Efecto transformación

$$\begin{aligned} \hat{\Delta T}_{efecte} = & \hat{F} \Delta T_0 P_0 \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} \Delta T P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0) + \\ & 1/3(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) \end{aligned}$$

Efecto sustitución

¹¹ El término carbonización es equívoco y ha sido objeto de discusión. Para una clarificación véase Roca i Alcántara (2001) y (2002), así como Ang (1999).

¹² Algunos trabajos relevantes son los de Ang y Zhang (2000), Hoekstra (2005), Choi y Ang (2003), y la revisión sobre el tema de Bunn (2000) y Liu y Ang (2003).

$$\hat{\Delta P}_{efecte} = \hat{F} T_0 \Delta P_0 \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0) +$$

$$1/3(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0)$$

Efecto actividad

$$\hat{\Delta C}_{efecte} = \hat{F} T_0 P_0 \hat{\Delta C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} T P_0 \hat{\Delta C}_0 + \hat{F} \Delta T P_0 \hat{\Delta C}_0 + \hat{F} T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0) +$$

$$1/3(\hat{\Delta F} \Delta T P_0 \hat{\Delta C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{\Delta C}_0)$$

6.2. Aplicación y resultados

Los resultados del cálculo de estos efectos a partir de la información sobre energía primaria obtenida en Roca et al. (2007), añadiendo los factores de emisiones estimados, se encuentran en el Anexo I y en forma resumida los presentamos en las tablas 8 y 9. Comentaremos, en primer lugar, los efectos que explican la evolución de las emisiones de CO₂ a lo largo del periodo considerado, atendiendo a los cambios operados en las fuentes energéticas responsables de estas emisiones.

Tabla 8. Contribución de los principales tipos de energía fósil

Efectos en miles de toneladas (kt)					
	Carbonización	Transformación	Sustitución	Actividad	Total
Carbón	-6,0	-436,3	-1149,2	687,6	-903,9
Petróleo	0	-8657,3	-1929,1	10412,1	-174,4
SDP*	-1698,9	9146,2	-450,9	2160,2	9156,6
Gas natural	0	3662,9	2160,2	4013,8	9836,9
Total	-1704,9	3715,4	-1368,9	17273,7	17915,3
Distribución %	-9,5	20,7	-7,6	96,4	100,0
Contribución de los efectos al crecimiento de las emisiones (% de las emisiones totales iniciales)					
Carbón	-0,02	-1,68	-4,44	2,65	-3,49
Petróleo	0,00	-33,42	-7,45	40,20	-0,67
SDP*	-6,56	35,31	-1,74	8,34	35,35
Gas natural	0,00	14,14	8,34	15,50	37,98
Total	-6,58	14,34	-5,28	66,69	69,16

Nota: * Saldo derivados de petróleo utilizados.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE e ICAEN, según la metodología explicada en el texto.

De los resultados cabe destacar que el incremento de las emisiones está prácticamente explicado por el incremento del consumo energético, que hemos denominado efecto actividad. La contribución a la variación total es del 96,4%.

A fin de que el lector haga una interpretación correcta de los resultados, haremos un primer análisis del caso del petróleo. Si nos fijamos en la columna total, esta fuente de energía primaria ha tenido un efecto total negativo y,

asimismo, el valor que vemos en la columna del efecto actividad es altísimo y tiene una contribución en el crecimiento de las emisiones totales del 40,2%. Esto quiere decir, y de aquí la importancia de la descomposición en factores explicativos, que si no se hubieran dado otras circunstancias y todo hubiera continuado igual, éste habría sido el impacto del uso del petróleo crudo. No obstante, la sustitución del petróleo por otros vectores energéticos (efecto sustitución) y su menor uso en la transformación de energía primaria a energía final (efecto transformación) han contrarrestado el efecto actividad. De no haberse dado estos cambios, la contribución total del petróleo habría sido la más importante y con un impacto muy fuerte, dada la importancia que el petróleo tenía al principio del periodo en el sistema energético catalán. El efecto carbonización es nulo porque el factor de emisión es el mismo y su variación nula. Por tanto, la contribución negativa se explica, en este caso, por la importancia de los efectos transformación y sustitución.

En el caso del carbón, el impacto del efecto actividad es relativamente pequeño porque su nivel de uso de partida ya era muy bajo, por lo que, aunque todo hubiera continuado igual, el incremento de los usos energéticos sectoriales a penas sí hubieran tenido impacto. Por otro lado, los cambios operados en los tipos de carbón utilizados han hecho disminuir, aunque de forma muy pequeña, el factor medio de emisión y, por tanto, el efecto carbonización es negativo. Además, tanto la sustitución del carbón como fuente energética final sectorial, como el menor uso del mismo en la transformación de energía han contribuido a que los efectos sustitución y transformación, junto con la menor carbonización, hayan sido más que suficientes para compensar el efecto actividad, dando lugar a una contribución a la variación de las emisiones total del -3,5%.

En cuanto a los derivados del petróleo, el efecto más importante es el efecto transformación. Mientras que el efecto sustitución es negativo, es decir, los sectores productivos han reducido sus consumos finales de derivados de petróleo (igual que lo han hecho en el caso del carbón y el petróleo)¹³, los derivados de petróleo compensan de sobras la disminución del petróleo en el sector energético de Cataluña. Mientras que el petróleo ha contribuido desde la perspectiva de la transformación, es decir, por ser fuente de energía primaria para la obtención de energía final, a una disminución potencial de las emisiones del 33,42%, los derivados de petróleo han contribuido a su incremento en un 35,31%. Eso sí, teniendo en cuenta que el factor de emisión de estos productos es una media ponderada de los utilizados, la disminución de este factor de emisión ha dado lugar a una disminución del 6,65%.

Por lo que respecta a las emisiones vinculadas al consumo de gas natural, como ya vimos con anterioridad, éstas son las que experimentan un mayor crecimiento. No solamente en cuanto a su efecto actividad, que es realmente importante, sino también por lo que respecta a los efectos transformación, con una contribución al crecimiento total del 14,14%, y sustitución, con un incremento relativo del 8,34%, que unido al 15,5% del efecto actividad da lugar

¹³ El lector puede verificar esta afirmación consultando el Anexo I, al final del texto, donde aparecen de forma completa las matrices de los diferentes efectos.

a un impacto en el aumento total de las emisiones respecto al periodo base del 37,98%.

Después de lo que hemos dicho del gas natural, conviene hacer algunas matizaciones para no caer en confusiones. Los incrementos positivos de los efectos transformación y sustitución del gas natural se deben a que este combustible se utiliza para sustituir otros combustibles fósiles tanto en el sistema energético para la producción de energía eléctrica, como en el uso final de los diferentes sectores económicos considerados. Aunque después comentaremos esta cuestión desde una perspectiva sectorial, el lector puede ver claramente en el Anexo I, en la parte del cuadro referida al efecto sustitución, la importancia en las emisiones de CO₂ de la sustitución de este combustible por otros, principalmente en el caso de la industria, los servicios y el sector doméstico. Aunque esto no es positivo en sí mismo, podemos considerar que el cambio de otros combustibles por el gas natural ha sido un aspecto relativamente positivo. Consideramos lo siguiente: si en la Tabla 8 sumamos las emisiones “ahorradas”, digamos, por la sustitución, estas ascienden a 3.529,1 kt. de CO₂, mientras que el incremento de emisiones del gas natural por el mismo motivo, al tomar el relevo de aquella sustitución, ascendieron a 2.160,3 kt. de CO₂. Esto se debe al menor coeficiente de emisión de CO₂ por tep de este gas. El efecto carbonización, por supuesto, igual que pasaba con el petróleo, es nulo porque el factor de emisión es el mismo en los dos periodos de tiempo.

6.3. Los efectos explicativos desde la perspectiva de los sectores económicos

Podemos ahora abordar el análisis desde el punto de vista de los cinco sectores económicos aquí considerados. Esto nos permitirá darnos cuenta del papel jugado por los diferentes sectores en los cambios que acabamos de ver en las distintas fuentes energéticas. Completando y, en algunos casos, aclarando aún más los resultados antes comentados.

Elaboraremos para esto la siguiente tabla (Tabla 9), muy parecida a la anterior, pero poniendo ahora el énfasis en los sectores.

Tabla 9. Efectos explicativos de la contribución sectorial a la variación de las emisiones

Efectos en miles de toneladas (kt)					
	Carbonización	Transformación	Sustitución	Actividad	Total
Primario	-115,3	96,4	-17,7	762,1	725,5
Industria	-290,6	1411,4	-706,7	3968,8	4382,8
Servicios	-62,1	834,4	-242,4	1870,4	2400,2
Transporte	-1141,2	698,3	-65,0	8689,4	8181,6
Doméstico	-95,7	675,0	-337,1	1983,1	2225,3
Total	-1704,9	3715,4	-1368,9	17273,7	17915,3
Distribución %	-9,5	20,7	-7,6	96,4	100,0
Contribución de los efectos al crecimiento total de las emisiones (%)					
Primario	-0,45	0,37	-0,07	2,94	2,80
Industria	-1,12	5,45	-2,73	15,32	16,92
Servicios	-0,24	3,22	-0,94	7,22	9,27
Transporte	-4,41	2,70	-0,25	33,55	31,59
Doméstico	-0,37	2,61	-1,30	7,66	8,59
Total	-6,58	14,34	-5,28	66,69	69,16

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE e ICAEN, según la metodología explicada en el texto.

Desde una perspectiva sectorial el incremento del efecto actividad sí que juega un papel importante. En este caso, tal y como se explica en Roca et al. (2007), lo que muestra es el efecto de arrastre que el uso final de la energía opera en los consumos de energía primaria. Si pensamos, atendiendo a la información recogida en ese estudio, que la energía eléctrica de uso final creció del orden de un 50% y los refinados de petróleo en torno al 67% a lo largo del periodo, no es extraño que la contribución de este efecto actividad equivalga a un 96,4% del crecimiento de las emisiones totales como ya hemos señalado anteriormente. Para que el lector pueda comprobar los consumos de energía final sectorial y su evolución, hemos elaborado el Anexo II, sobre el que se apoyan algunos de los argumentos de este apartado.

Por sectores, la contribución más importante al crecimiento de las emisiones corresponde al sector transporte, el incremento del cual es más del doble que el de la industria. Los consumos finales de combustibles del sector transporte aumentaron en un 70,8%. La sustitución por gas fue mínima; la sustitución de derivados de petróleo por gas a penas fue de 4 kteps, lo que explica, en cierta manera, la contribución potencial a la disminución de las emisiones totales, por efecto sustitución, del 0,25%.

El sector industrial incrementó sus consumos energéticos finales en un 46,3%, y su contribución al crecimiento total de la energía final de la economía fue del 17,3%. Este crecimiento fue superior a su contribución al crecimiento de las emisiones totales, que fue de un 16,9%. Esta diferencia se explica muy bien por la sustitución de combustibles, como se puede comprobar en el Anexo II, donde queda clara la reducción en un 90% del uso de carbón, el bajo crecimiento de los derivados de petróleo y el recurso al gas natural con un factor de emisión de CO₂ por tep inferior, como ya hemos señalado antes.

Estos factores combinados han jugado un papel relevante en que el efecto sustitución de este sector haya sido el más importante. No obstante, el incremento muy elevado de sus consumos de energía eléctrica, un 46,3%, han dado lugar a que por otro lado, el sector industrial haya sido el más importante contribuidor, desde el punto de vista de la transformación, al crecimiento de las emisiones totales con un 5,45%.

El sector servicios y el doméstico han experimentado evoluciones bastante paralelas (véase Anexo II). Las sustituciones de fuentes energéticas finales han experimentado cambios parecidos en cuanto a fuentes y, en algunos aspectos, en porcentaje. Así, todos los sectores han reducido sus incrementos de consumo de productos petrolíferos: en el caso de los servicios los consumos crecieron un 4,2% y en los hogares disminuyó en un 8,5%. Por otro lado, los dos sectores incrementan muy sustancialmente sus consumos de gas natural. Desde el punto de vista del efecto transformación, con una contribución al aumento de las emisiones del 3,22% en el caso de los servicios (superior al transporte) y del 2,61% en el caso de los hogares, podemos aventurar que se debe al elevado aumento del consumo eléctrico, con un importante arrastre sobre los inputs de energía fósil utilizados en la producción de electricidad, a pesar de la importancia de la nuclear en Cataluña. Si nos fijamos en los datos del citado anexo, en todo el periodo el sector servicios aumentó un 123,4% el consumo de electricidad y el sector doméstico un 61,3%.

A pesar de lo que hemos comentado en relación al comportamiento de los sectores productivos en cuanto a sus consumos energéticos y las emisiones de CO₂ vinculadas a estos consumos, hay que decir que, dejando de lado el transporte que inequívocamente es uno de los grandes responsables de las emisiones del más importante de los gases con efecto invernadero, en el caso de la industria y los servicios, éstos merecerían un análisis mucho más detallado, vinculando las emisiones también al comportamiento económico de los diferentes subsectores. Esto permitiría conocer aspectos importantes como el comportamiento en el uso más o menos eficiente de la energía, las relaciones con otros sectores y los impactos que se producen entre sectores, para estimar los márgenes de maniobra para las políticas ambientales a implementar.

Vale la pena ahora, dada la importancia que hemos visto que tiene la energía primaria necesaria para el funcionamiento de la economía, comparar de una forma agregada los efectos explicativos de la evolución del consumo primario de energía y las emisiones de CO₂. A tal efecto hemos elaborado la Tabla 10.

Tabla 10. Contribución al incremento de las necesidades de energía primaria y las emisiones de CO₂ por efectos explicativos (%)

	Carbonización	Transformación	Sustitución	Actividad	Total
Energía primaria	0	-9,5	-0,5	63,0	53,0
Emisiones de CO ₂	-6,6	14,3	-5,3	66,7	69,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE e ICAEN, según la metodología explicada en el texto y Roca et al. (2007).

La Tabla 10 se ha elaborado simplemente calculando el incremento porcentual debido a los diferentes efectos sobre las emisiones y la energía primaria

necesaria al principio del periodo analizado. La importancia del incremento de consumo final de energía, que hemos llamado efecto actividad, es fundamental. El paralelismo entre este efecto y el resultado total es más que evidente. Por otro lado, la sustitución de combustibles —en favor básicamente del gas natural— ha jugado un papel favorable a la disminución de las emisiones, pero muy pequeño e insuficiente para compensar los desfavorables resultados causados por el incremento de las necesidades de energía primaria. Conviene destacar que, a pesar de su poca importancia, la sustitución de las fuentes energéticas utilizadas por los sectores económicos ha tenido un impacto mucho más significativo en la reducción de emisiones que en la disminución de las necesidades de energía primaria.

Por último, aunque se produce una cierta descarbonización, el efecto transformación ha jugado desde la perspectiva del CO₂ un efecto bastante negativo, contribuyendo al incremento de las emisiones en un 14%, aunque, desde la perspectiva de la energía primaria, las necesidades para transformación disminuyeron. La razón principal es el peso decreciente de la energía nuclear respecto a la producción de electricidad en centrales térmicas de gas natural; éstas tienen una mayor eficiencia en la conversión de calor a electricidad, pero emiten CO₂, a diferencia de las nucleares que (directamente) no emiten este gas. Este es un buen ejemplo de las diferentes conclusiones que a veces podemos extraer de un análisis en términos de energía primaria o de emisiones de carbono.

7. Conclusiones

En esta investigación hemos analizado la evolución de las emisiones de CO₂, el más importante de los gases de efecto invernadero, para el periodo 1990 a 2005.

A lo largo del trabajo hemos estudiado, tanto desde una perspectiva agregada, como posteriormente con todo el detalle posible, teniendo en cuenta las limitaciones de información, la evolución experimentada por las emisiones de dióxido de carbono. Con este objetivo, se han utilizado conceptos y precisiones metodológicas ampliamente utilizadas en la literatura científica sobre el tema.

Del estudio realizado en la primera parte del trabajo queda claro que el importante crecimiento de las emisiones en Cataluña durante el periodo considerado, de un 60,1% (muy superior al de la media española, de un 50,5%), se explica como principal factor por el aumento del PIB per cápita, con un crecimiento del 33,35%. El crecimiento demográfico también habría contribuido de forma importante al incremento en las emisiones totales, con un aumento del 10,5% de la población; sobre todo a partir de 1999, ya que en la década de los noventa la población fue estable con pocas variaciones.

No obstante, las diferencias en población y en disponibilidad de bienes y servicios per cápita no bastan para explicar la evolución que se ha dado en las emisiones totales. De hecho, la evolución en la actividad económica no es suficiente para explicar la importante variación en las emisiones per cápita a lo

largo del periodo, como muestra el mayor aumento de las emisiones per cápita, del 44,89%, respecto al 33,35% de aumento del PIB per cápita. Por esto hemos analizado otras variables explicativas que interactúan con las variables económicas habituales y que son sobre las que se ha de actuar diseñando políticas ambientales y económicas que hagan compatible el bienestar de las sociedad y el respeto al medio ambiente. Indicadores como la intensidad energética, el índice de carbonización, y/o cambios en la estructura productiva y la tecnología de los procesos productivos juegan un papel importante en cuanto a las posibilidades de reducir las emisiones de CO₂.

Se ha detectado que en el caso de Cataluña los datos muestran una mayor importancia de la evolución de la intensidad energética para explicar el cambio que se ha producido en la intensidad de emisiones el PIB. De hecho, casi todo el aumento de la intensidad de emisiones del PIB (8,66%) se explicaría por el aumento de la intensidad energética (8,36%), mientras que el índice de carbonización casi es el mismo al inicio y al final del periodo. No obstante, este resultado esconde la importancia que ha tenido el índice de carbonización en la evolución de las emisiones. La mayor variabilidad que se ha dado en este índice explica, en gran parte, las variaciones experimentadas a lo largo del periodo por la intensidad de emisiones del PIB¹⁴. Si tomamos el periodo año a año encontramos que la evolución del índice de carbonización ha sido la principal responsable de la reducción de emisiones por unidad de PIB que se produjo entre 1995 y 1998. Y también ha sido el fuerte incremento entre 2002 y 2004 de este índice, el que ha provocado el aumento que se ha producido al final del periodo en la intensidad de carbono del PIB.

La sustitución de las fuentes energéticas utilizadas también es un factor importante para explicar los procesos de descarbonización y su papel para mejorar la eficiencia energética global, contribuyendo a disminuir los consumos de energía primaria utilizada y las emisiones de CO₂. No obstante, se debe tener en cuenta que el transporte por carretera hace un uso intensivo de la energía, hecho que dificulta que baje la intensidad energética, y se nutre con el consumo de combustibles fósiles, lo que dificulta que baje el índice de carbonización, contrarrestando los cambios producidos en otros sectores donde ha habido sustitución por combustibles que, como el gas natural, emiten menos CO₂. El análisis muestra que la contribución más importante al crecimiento de las emisiones corresponde al sector transporte, el incremento del cual es más del doble que el de la industria. Los consumos finales de combustibles del sector transporte aumentaron en un 70,8%. La sustitución por gas fue mínima, la sustitución de derivados del petróleo por gas a penas fue de 4 ktps.

¹⁴ Este último aspecto queda muy claro en la segunda parte del análisis donde se pone claramente de manifiesto que la descarbonización ha tenido un impacto del -6,6% en la evolución de las emisiones provocadas por el consumo de energía. No obstante, hay que tener en cuenta las diferencias entre las emisiones utilizadas en la primera parte y las estimadas en la segunda parte. Para evitar efectos de coyuntura, en la segunda parte de este trabajo se han tomado las medias de los años 1990-1992 y 2003-2005 y la información está basada en la energía consumida para usos energéticos de los sectores económicos.

Por otro lado, el sector industrial aumentó sus consumos energéticos finales en un 46,3%, y su contribución al crecimiento total de la energía final de la economía fue del 17,3%. Este crecimiento fue superior a su contribución a las emisiones totales que fueron de un 16,9%. Esta diferencia se explica muy bien por la sustitución de combustibles. La reducción en un 90% del uso de carbón, el bajo crecimiento de los derivados de petróleo y el recurso al gas natural con un menor factor de emisión de CO₂ por tep, ha hecho posible un efecto sustitución en este sector, que ha sido el más importante, ayudando a que las emisiones totales no se dispararan más. No obstante, el incremento bastante importante de sus consumos de energía eléctrica, un 46,3%, ha dado lugar a que, por otro lado, el sector industrial haya sido el más importante consumidor, desde el punto de vista de la transformación de energía final a primaria, al crecimiento de las emisiones totales con un 5,45%.

El sector servicios y el doméstico han experimentado evoluciones bastante paralelas. Las sustituciones de fuentes energéticas finales han experimentado cambios parecidos en las fuentes y, en algunos aspectos, en porcentaje. Así, los dos sectores han ralentizado sus consumos de productos petrolíferos: en el caso de los servicios sus consumos crecieron un 4,2% y los hogares lo disminuyeron en un 8,5%. Por otro lado, los dos sectores aumentan muy sustancialmente sus consumos de gas natural. Desde el punto de vista del efecto transformación, con una contribución al incremento de las emisiones del 3,22% en el caso de los servicios (superior al transporte) y del 2,61% en el caso de los hogares, podemos aventurar que es debido al importante aumento del consumo eléctrico, con un importante arrastre sobre los inputs de energía fósil utilizados en la producción de electricidad. Si nos fijamos en los datos del anexo, en todo el periodo el sector servicios aumentó un 123,4% el consumo de electricidad y el sector doméstico un 61,3%.

Aún con lo que hemos comentado en relación al comportamiento de los sectores productivos en cuanto a sus consumos energéticos y las emisiones de CO₂ vinculadas a estos consumos, hay que decir que, dejando de lado el transporte, que inequívocamente es uno de los grandes responsables de las emisiones del más importante de los gases de efecto invernadero, los casos de la industria y los servicios merecerían un análisis mucho más detallado, vinculando las emisiones también al comportamiento económico de los diferentes subsectores. Esto permitiría profundizar en aspectos importantes, como el comportamiento en cuanto al uso más o menos eficiente de la energía, las relaciones con otros sectores y los impactos que se dan entre sectores, para estimar los márgenes de maniobra de las políticas ambientales a implementar.

Comparando los incrementos porcentuales debidos a los diferentes efectos sobre las emisiones y la energía primaria necesaria, la importancia del incremento del consumo final de energía (efecto actividad) es fundamental. Por otro lado, la sustitución de combustibles —a favor básicamente del gas natural— ha jugado un papel favorable en la disminución de las emisiones, pero muy pequeño e insuficiente para compensar los desfavorables resultados dados por el aumento de las necesidades de energía primaria. Conviene destacar que, a pesar de su poca importancia, la sustitución de las fuentes

energéticas utilizadas por los sectores económicos ha tenido un impacto mucho más significativo en la reducción de emisiones que en la disminución de las necesidades de energía primaria. Por último, a pesar de que se produce una cierta descarbonización, el efecto transformación ha jugado, desde la perspectiva del CO₂, un efecto bastante negativo, contribuyendo al incremento de las emisiones en un 14%, aunque, desde la perspectiva de la energía primaria, las necesidades para transformación disminuyeron. La razón principal es el peso decreciente de la energía nuclear respecto a la producción de electricidad en centrales térmicas de gas natural; éstas tienen una mayor eficiencia en la conversión de calor a electricidad pero emiten CO₂ a diferencia de las nucleares que (directamente) no emiten este gas. Este es un buen ejemplo de las diferentes conclusiones que, a veces, podemos extraer de un análisis de efectos en términos de energía primaria o de emisiones de carbono.

En Cataluña, de la misma forma que en el conjunto de España, y al contrario de lo que ha pasado en la mayoría de países industrializados, no se ha producido una reducción de la intensidad energética del PIB. Es más, esta intensidad ha aumentado a lo largo del periodo analizado, con el resultado de que la intensidad de carbono del PIB también ha aumentado. A pesar de las ganancias de eficiencia en el uso de la energía en los sectores industriales, el fuerte aumento en el uso de energía por parte del transporte por carretera ha llevado a este comportamiento.

En conclusión, en el caso de Cataluña no es posible hablar de desvinculación entre crecimiento económico y emisiones de CO₂ en ninguno de los sentidos en que habitualmente se utiliza el término, ya que tanto las emisiones totales como la intensidad de emisiones del PIB aumentan a lo largo del periodo considerado. En este sentido, y desde nuestra perspectiva, queda claro que hay que aplicar políticas adecuadas y orientadas a mejorar la eficiencia energética, así como a reducir las emisiones por unidad de energía si queremos evitar que el crecimiento económico continúe comportando mayores emisiones (tanto absolutas como por unidad de PIB).

Agradecimientos

Vicent Alcántara Escolano y Emilio Padilla Rosa agradecen el apoyo de los proyectos 2005SGR-177 y XREPP (Dirección General de Investigación, Departamento de Innovación, Universidades y Empresa), y SEJ2006-4444 (Ministerio de Ciencia y Tecnología). Jordi Roca Jusmet agradece el apoyo del proyecto SEJ2006-15219 (Ministerio de Ciencia y Tecnología).

Referencias

Alcántara, V. y Padilla, E. (2006) "An input-output analysis of the "key" sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the spanish economy", Working Paper 06.01., Departamento de Economía Aplicada, UAB.

- Alcántara, V. y Roca, J., (2003) "Consumo energético y actividad económica: Sobre el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output" en Campos Palacín, P. y J. M. Casado Raigón (coord), *Contabilidad Nacional Ambiental Integrada*, Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid, pp. 163-178.
- Alcántara, V. y Roca, J. (1996): "Tendencias en el uso de energía en España (1975-1990). Un análisis a partir de los balances energéticos". *Economía industrial*, pp. 161-67
- Alcántara, V. y Roca, J. (1995). "Energy and CO₂ emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980- 1990". *Energy Economics*, vol. 17 (3) 221-230.
- Ang, B.W. (1999)." Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?", *Energy Policy* 27, 943-946.
- Ang, B.W., y Zhang, F.Q., 2000, "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies", *Energy*, 25: 1149-1176.
- 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.
- Bunn, D. (2000): Editorial, *Energy Economics*, 22, pp 1-8.
- Choi, K.H. y Ang, B.W. (2003): "Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference" *Energy Economics* 25, pp. 615-624.
- Departamento de Economía y Finanzas (2005) *Pla de de l'Energia de Catalunya 2006-2015*. Disponible en: http://www.gencat.cat/economia/doc/doc_68879950_1.pdf
- Hoekstra, R., (2005): *Economic Growth, Material Flows and the Environment*. Edward Elgar, Cheltenham.
- IPCC (1996) *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*.
- 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, França.
- Kuznets, S. (1955): "Economic growth and income inequality", *American Economic Review*, vol. 45, pp. 1-28.
- Liu, F.L. y B.W. Ang (2003): "Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry" *Applied Energy* 76 (1-3): 15-23.

- Mielnik, O. y Goldemberg, J. (1999): "The evolution of the "carbonization index" in developing countries", *Energy Policy*, Vol. 27, pp. 307-308.
- Ministerio de Medio Ambiente. Inventario de Emisiones a la Atmósfera. CORINE-AIRE.
- 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.
- Padilla, E. y Roca, J. (2004): "The proposals for a European tax on CO₂ and their implications for intercountry distribution", *Environmental and Resource Economics*, Vol. 27, n 3, pp. 273-295.
- Roca, J. y Alcántara, V. (2001): "Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Epanish case" *Energy Policy* 29: 553-556
- Roca, J. y Alcántara, V. (2002): "Economic Growth, Energy Use, and CO₂ Emissions" en Blackwood, J.R. (Editor): *Energy Research at the Cutting Edge*. Ed. Nova Science Publishers, Nueva York.
- Roca, J., Alcántara, V. y Padilla, E. (2007): "Actividad económica, consumo final de energía y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output", Working Paper 07/09, Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Roca, J., Padilla, E., Farré, M. y Galletto, V. (2001) "Economic Growth and Atmospheric Pollution in Spain: Discussing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis", *Ecological Economics*, Vol. 39, n. 1, pp. 85-99.
- Roca, J. y Padilla, E. (2003) "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., (1999). "The nature of CO₂ emissions Kuznets curve". *Energy Policy* 27, 691-694.
- Sun, J.W., (1998) "Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model", *Energy Economics*, 20: 85-100.
- Yamaji, K., R. Matsushashi, 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.

Anexo I. Descomposición de la variación de emisiones en efectos

Efecto carbonización						
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>	Total
Carbón	-0,04	-4,07	-0,97	-0,09	-0,85	-6,01
Petróleo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SDP	-115,29	-286,52	-61,15	-1141,09	-94,89	-1698,93
Gas natural	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-115,32	-290,59	-62,12	-1141,18	-95,73	-1704,95

Efecto transformación						
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>	Total
Carbón	-4,58	-202,31	-120,35	-11,30	-97,81	-436,34
Petróleo	-564,01	-1634,85	-408,19	-5467,12	-583,18	-8657,35
SDP	619,10	1614,86	344,13	6012,67	555,45	9146,22
Gas natural	45,88	1633,65	1018,82	164,04	800,53	3662,92
Total	96,41	1411,36	834,41	698,29	674,98	3715,45

Efecto sustitución						
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>	Total
Carbón	-0,07	-1110,97	9,01	-4,17	-42,95	-1149,16
Petróleo	-26,54	-761,39	-414,45	-44,44	-682,26	-1929,08
SDP	-6,12	-174,71	-100,62	-10,21	-159,22	-450,87
Gas natural	15,04	1340,33	263,61	-6,13	547,36	2160,22
Total	-17,68	-706,74	-242,44	-64,95	-337,08	-1368,89

Efecto actividad						
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>	Total
Carbón	3,99	389,67	171,53	12,06	110,39	687,65
Petróleo	609,66	1403,33	602,89	7108,12	688,07	10412,06
SDP	129,27	280,49	109,53	1513,00	127,94	2160,23
Gas natural	19,17	1895,26	986,40	56,23	1056,74	4013,81
Total	762,08	3968,75	1870,35	8689,41	1983,15	17273,74

Efecto total						
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>	Total
Carbón	-0,69	-927,68	59,23	-3,50	-31,22	-903,87
Petróleo	19,12	-992,91	-219,75	1596,56	-577,37	-174,37
SDP	626,97	1434,12	291,89	6374,37	429,28	9156,64
Gas natural	80,09	4869,24	2268,84	214,14	2404,63	9836,95
Total	725,49	4382,78	2400,20	8181,57	2225,32	17915,35

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE e ICAEN, según la metodología explicada en el texto

Anexo II. Consumo final de energía sectorial (ktep)

2003-2005					
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>
Carbón	0,0	23,7	0,9	0,0	0,5
Gas natural	10,0	2208,2	424,3	4,3	905,2
Biomasa	1,8	44,2	9,1	0,0	41,3
Solar térmica	0,0	0,1	0,7	0,0	3,5
Res. no renovables	0,0	43,6	0,0	0,0	0,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0
Biogás	1,9	4,5	0,7	0,0	0,0
Refinados de petróleo	571,0	1216,3	200,7	5822,2	345,1
Electricidad	36,2	1653,7	1159,4	66,5	829,0
Total	620,8	5194,4	1795,9	5925,6	2124,6
1990-1992					
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>
Carbón	0,0	241,8	1,4	0,0	6,3
Gas natural	1,4	1053,1	145,2	0,0	351,1
Biomasa	0,0	78,5	0,0	0,0	0,0
Solar térmica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Res. no renovables	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biogás	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Refinados de petróleo	372,8	1046,0	192,6	3407,9	377,1
Electricidad	23,4	1130,4	519,0	49,7	513,9
Total	397,5	3549,7	858,3	3457,6	1248,5
Variación en términos absolutos (ktep)					
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>
Carbón	0,0	-218,1	-0,5	0,0	-5,9
Gas natural	8,6	1155,1	279,1	4,3	554,1
Biomasa	1,8	-34,3	9,1	0,0	41,3
Solar térmica	0,0	0,1	0,7	0,0	3,5
Res. no renovables	0,0	43,6	0,0	0,0	0,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0
Biodiésel	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0
Biogás	1,9	4,5	0,7	0,0	0,0
Refinados de petróleo	198,2	170,3	8,1	2414,4	-32,0
Electricidad	12,8	523,3	640,4	16,7	315,1
Total	223,3	1644,6	937,7	2468,0	876,1
Variación sectorial en %					
	<i>Primario</i>	<i>Industria</i>	<i>Servicios</i>	<i>Transporte</i>	<i>Doméstico</i>
Carbón	0,00	-90,21	-33,41	0,00	-92,40
Gas natural	628,75	109,68	192,16	---	157,82
Biomasa	---	-43,65	---	---	---
Solar térmica	---	---	---	---	---
Res. no renovables	---	---	---	---	---
Bioetanol	---	---	---	---	---
Biodiésel	---	---	---	---	---
Biogás	---	---	---	---	---
Refinados de petróleo	53,16	16,29	4,21	70,85	-8,49
Electricidad	55,00	46,29	123,38	33,62	61,31

Total	56,18	46,33	109,25	71,38	70,17
Contribución sectorial al crecimiento total de los consumos energéticos finales (%)					
Total	2,35	17,29	9,86	25,95	9,21

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE e ICAEN, según la metodología explicada en el texto

Últims documents de treball publicats

NUM	TÍTOL	AUTOR	DATA
07.10	Actividad económica y emisiones de CO2 derivadas del consumo de energía en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una	Vicent Alcántara Escolano, Emilio Padilla Rosa,	Novembre 2007
07.09	Actividad económica, consumo final de energía y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances	Jordi Roca Jusmeta, Vicent Alcántara Escolano,	Novembre 2007
07.08	SUBSISTEMAS INPUT-OUTPUT Y CONTAMINACIÓN: UNA APLICACIÓN AL SECTOR SERVICIOS Y LAS EMISIONES DE CO2 EN ESPAÑA	Vicent Alcántara Escolano, Emilio Padilla Rosa	Novembre 2007
07.07	Effects of Competition over Quality-Adjusted Price Indexes: An Application to the Spanish Automobile Market	Ana Isabel Guerra Hernández	Octubre 2007
07.06	Análisis de la distribución de las emisiones de CO2 a nivel internacional mediante la adaptación del concepto y las medidas de polarización	Juan Antonio Duro Moreno, Emilio Padilla Rosa	Setembre 2007
07.05	Equity and CO2 Emissions Distribution in Climate Change Integrated Assessment Modelling	Nicola Cantore, Emilio Padilla Rosa	Setembre 2007
07.04	The Appraisal of Projects with Environmental Impacts. Efficiency and Sustainability	Joan Pasqual, Emilio Padilla	Setembre 2007
07.03	La evaluación de proyectos con impacto ambiental. Eficiencia y sostenibilidad.	Joan Pasqual, Emilio Padilla	Juliol 2007
07.02	ANÁLISIS INPUT-OUTPUT Y EMISIONES DE CO2 EN ESPAÑA: UN PRIMER ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE SECTORES CLAVE EN LA	Vicent Alcántara	Juliol 2007
07.01	Commuters' valuation of travel time variability in Barcelona	Javier Asensio, Anna Matas	Gener 2007
06.06	The short and long-run determinants of the real exchange rate in Mexico	Antonia Lopez Villavicencio, Josep Lluís Raymond	Octubre 2006
06.05	Real equilibrium exchange rates. A panel data approach for advanced and emerging economies	Antonia Lopez Villavicencio	Octubre 2006
06.04	El nuevo mapa de los distritos industriales de España y su comparación con Italia y el Reino Unido	Rafael Boix, Vittorio Galletto	Setembre 2006
06.03	SPRAWL. Definición, causas y efectos	Ivan Muñoz, Miquel Angel García, Daniel Calatayud	Juny 2006
06.02	Análisis de los factores determinantes de las desigualdades internacionales en las emisiones de CO2 per cápita aplicando el enfoque distributivo: una	Juan Antonio Duro Moreno, Emilio Padilla Rosa	Febrer 2006