

Departament d'Economia Aplicada

Análisis de los factores determinantes
de las desigualdades internacionales en
las emisiones de CO₂ per cápita
aplicando el enfoque distributivo: una
metodología de descomposición por
factores de Kaya

Juan Antonio Duro Moreno
Emilio Padilla Rosa

**D
O
C
U
M
E
N
T

D
E
T
R
E
B
A
L
L**

06.02



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials

Aquest document pertany al Departament d'Economia Aplicada.

Data de publicació : **Febrer 2006**

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>

Análisis de los factores determinantes de las desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ per cápita aplicando el enfoque distributivo: una metodología de descomposición por factores de Kaya*

Juan Antonio Duro Moreno^a y Emilio Padilla Rosa^b

^aDepartamento de Economía, Universitat Rovira i Virgili, Av. de la Universitat, 1, 43204 Reus e Instituto de Análisis Económico, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.

^bDepartamento de Economía Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.

Resumen

En este trabajo desarrollamos una metodología para descomponer las desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ en factores (multiplicativos) de Kaya y dos términos de interacción. Utilizamos el índice de desigualdad de Theil y mostramos que esta metodología de descomposición puede extenderse para analizar los componentes de desigualdad inter e intragrupal. A continuación podemos analizar los factores detrás de las desigualdades en las emisiones de CO₂ per cápita entre países, entre grupos de países y dentro de los grupos de países. La ilustración empírica sugiere algunas cuestiones. Primero, la desigualdad internacional en las emisiones de CO₂ per cápita es principalmente atribuible a las desigualdades en los niveles de renta per cápita, lo que ayuda a explicar su reciente reducción, mientras que las diferencias en la intensidad de carbono de la energía y la intensidad energética han hecho una contribución mucho menos significativa. Este resultado está fuertemente influenciado por el comportamiento de China e India. En segundo lugar, el componente de la desigualdad entre grupos, que es el mayor, está también explicado en buena medida por el factor ingreso. En tercer lugar, el componente de la desigualdad dentro de los grupos aumentó ligeramente durante el período, algo principalmente debido al cambio en el factor de ingreso y los términos de interacción en unas pocas regiones.

Clasificaciones JEL: C19, D39, Q43.

Palabras clave: desigualdad en las emisiones, desigualdad entre países, factores de Kaya, índice de Theil

* Este trabajo ha sido financiado por el Instituto de Estudios Fiscales, Ministerio de Hacienda Pública. Los autores también agradecen el apoyo de los proyectos BEC2003-1831 (Ministerio de Ciencia y Tecnología) y 2001SGR-160 (Direcció General de Recerca).

1. Introducción

El aumento en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera causadas por la actividad humana—principalmente como resultado de la quema de combustibles fósiles—es el principal factor responsable de la intensificación del efecto invernadero y el cambio climático resultante. El estudio de los factores determinantes de las emisiones de CO₂ y su evolución ha sido comprensiblemente de considerable interés para investigadores y responsables políticos. Múltiples factores influencian estas emisiones, como desarrollos económicos y demográficos, cambio tecnológico, dotaciones de recursos, estructuras institucionales, estilos de vida y comercio internacional. Una herramienta analítica que se utiliza convencionalmente para explorar las principales fuerzas detrás de este comportamiento contaminante ha sido la identidad de Kaya (1989) (ver e.g. Yamaji et al., 1991). De acuerdo con esta identidad, las emisiones per cápita se descomponen en el producto de tres factores básicos (que se ven a su vez influidos por diferentes factores): índice de carbonización, intensidad energética y afluencia. Esta es una aplicación específica de un enfoque más general para discutir las fuerzas motrices detrás de los impactos ambientales, la llamada identidad IPAT, que relaciona los impactos (I) con la población (P) multiplicada por la afluencia (A) y la tecnología (T). El enfoque de los factores de Kaya permite descomponer las principales fuerzas determinantes de las emisiones de CO₂. No obstante, uno de sus inconvenientes es que esos principales factores pueden no ser independientes el uno del otro (e. g., países con mayor crecimiento económico podrían desarrollar tecnologías más eficientes gracias a la mayor rentabilidad del capital, llevando a menores intensidades energéticas).

El análisis de las desigualdades internacionales complementa el análisis de los niveles de emisiones de carbono a la atmósfera. Esta desigualdad es relevante para diseñar las políticas climáticas globales. Una vez el Protocolo de Kioto entró en vigor en Febrero de 2005¹, los problemas distributivos aparecen como la cuestión más importante en las negociaciones para adoptar nuevos acuerdos para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero. Tomar adecuadamente en consideración estas cuestiones distributivas en el diseño de políticas y en las

¹ A 18 de noviembre de 2005, 157 estados y organizaciones de integración económica regional han ratificado el Protocolo de Kioto, incluyendo 37 partes del Anexo I que representan el 61,6% de las emisiones total de dióxido de carbono para 1990 de ese grupo.

negociaciones podría facilitar una amplia participación, ya que las partes solo participarán si las acciones se perciben como justas. Cualquier solución factible al reto de estabilizar las concentraciones globales de emisiones necesita implicar tanto a los países ricos (incluyendo al máximo emisor, que no ha ratificado el Protocolo de Kioto), y las economías en desarrollo (a las que el Protocolo de Kioto no obligaba a controlar sus emisiones). El aumento de las emisiones ha sido impresionante en algunas economías en desarrollo. No obstante, sus emisiones per cápita están aún muy lejos de los niveles de las economías desarrolladas.

La estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero, como establece el mandato de la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU), implica establecer límites al nivel global de emisiones y distribuir este nivel entre los diferentes países. Imponer limitaciones podría implicar sacrificios económicos, ya que las emisiones son un subproducto no deseado de la actividad económica que está fuertemente ligado a la producción². Mientras que los países ricos temen que limitar sus emisiones puede hacer peligrar su crecimiento económico, los países pobres argumentan la gran desigualdad en emisiones presentes y pasadas entre los países ricos y los países pobres como argumento para no limitar sus oportunidades de desarrollo con políticas de control de emisiones. Existen múltiples enfoques sobre la distribución de los "derechos" sobre las emisiones futuras: la distribución de derechos en términos per cápita (ver e.g., Grubb, 1990; Agarwal y Narain, 1991; Meyer, 1995), la distribución basada en los niveles de emisiones actuales (ver e.g., Pearce y Warford, 1993), la distribución basada en el PNB (ver e.g., Wirth y Lashof, 1990; Cline, 1992) y diversas combinaciones de estas reglas³. Respecto a las propuestas para distribuir los costes de reducción, éstas se basan en diferentes aplicaciones del principio de "quien contamina paga" y en índices de la capacidad de pago (ver IPCC, 1996, pp. 103-112). E.g., Smith et al. (1993) proponen un índice de "deuda ecológica", de manera que cada país debería pagar en proporción a sus emisiones cumulativas

² El análisis sobre las emisiones de CO₂ y la curva de Kuznets ambiental podría informar sobre esta relación (ver e.g., Shafik, 1994; Holtz-Eakin y Selden, 1995; Schmalensee, et al. 1998; Roca et al., 2001; Heil y Selden 2001a). La literatura tiende a mostrar que el crecimiento económico por sí mismo supone mayores emisiones de CO₂ para la abrumadora mayoría de países.

³ Cabe señalar que la mayoría de análisis coste–beneficio aplicados para evaluar las políticas de mitigación del cambio climático no establecen ningún límite a las emisiones globales e implicitamente asumen una distribución de derechos en la que los emisiones tienen el derecho a emitir. Este supuesto podría sesgar sus resultados hacia la recomendación de políticas de mitigación menos decididas (Padilla, 2004).

desde una fecha específica⁴. En línea con este argumento, la llamada Propuesta Brasileña (ver Den Elzen, 1999; Den Elzen y Schaeffer, 2002; UNFCCC, 2001, 2002), argumenta que las responsabilidades relativas del cambio climático se deben adscribir a los países y grupos de países en base a las emisiones históricas. A continuación, la propuesta define metas para los países, construidas en base al relativo grado de responsabilidad por el cambio climático causado antropogénicamente.

La distribución de los derechos de emisión es una cuestión normativa, pero el análisis de la desigualdad en las emisiones debería ser de gran utilidad para informar el debate sobre las diferentes propuestas. El grado de desigualdad en las emisiones per cápita muestra el diferente grado de responsabilidades en la contribución al problema del cambio climático⁵. Las diferentes responsabilidades relativas de los habitantes de diferentes países y regiones, los problemas generados por esta desigualdad, y las causas de estas diferencias, son aspectos fundamentales para ser considerados por las iniciativas internacionales de mitigación del cambio climático.

En términos académicos y de políticas, es interesante averiguar si la aparente estabilidad en las emisiones per cápita globales en los últimos años (en torno a 4—entre 3,7 y 4,3—toneladas métricas de CO₂ por habitante mundial en el período 1971-1999 según los datos de la AIE (2001) sobre emisiones de combustibles fósiles) han coincidido con una distribución crecientemente desigual o no. Esta “preocupación distributiva” requiere el uso de un índice de desigualdad, el cual sintetiza el grado de desigualdad en las emisiones en un escalar. Sugerimos que las propiedades del índice de Theil (Theil, 1967) y, en particular, el hecho de que pueda ser descompuesto en diferentes componentes, hacen a éste adecuado para este propósito.

Muchos estudios han analizado la desigualdad en las emisiones de CO₂, como los recogidos en el segundo informe del IPCC (1996, pp. 91-99). Los trabajos de Heil y

⁴ Con un umbral de emisiones de “necesidades básicas” y teniendo en cuenta un elemento de capacidad de pago proporcional al PNB (en términos de poder de compra) para todos los países, sujeto a un valor umbral, de forma que los países por debajo del umbral quedarían exentos. Los pagos se destinarian a un fondo internacional que se utilizaría para financiar las políticas de control al menor coste marginal.

⁵ Para calcular la desigualdad en responsabilidades históricas del problema del cambio climático, se deberían analizar las desigualdades en las emisiones acumulativas, una cuestión desarrollada en Heil y Wodon (1997).

Wodon (1997, 2000) y Padilla y Serrano (2006) introducen varios índices tomados del análisis de la distribución del ingreso para medir y estudiar la evolución de la desigualdad en las emisiones de CO₂⁶. Heil y Wodon (1997) emplean una descomposición por grupos del índice de Gini para analizar la desigualdad en las emisiones de CO₂ per cápita y la contribución de dos grupos de ingreso (países pobres y países ricos) a esta desigualdad. Heil y Wodon (2000) emplean esta metodología para analizar la desigualdad futura en las emisiones per cápita utilizando proyecciones al año 2100 sin la aplicación de medidas adicionales, así como considerar el impacto sobre esta del Protocolo de Kioto y otras propuestas de reducción. Padilla y Serrano (2006) emplean índices de concentración para mostrar que la desigualdad entre países ricos y países pobres (desigualdad en emisiones entre países ordenados según su nivel de ingreso) ha disminuido menos que la desigualdad “simple” en las emisiones y utilizan una descomposición del índice de Theil para mostrar la contribución de cuatro grupos de ingreso a la desigualdad en emisiones.

El principal objetivo de este trabajo es utilizar las capacidades de estos índices para analizar las fuentes de las desigualdades internacionales en las emisiones per cápita utilizando el enfoque descrito por los factores de Kaya. En concreto, el valor añadido del trabajo es doble. En primer lugar, mostramos que cuando la desigualdad se considera mediante el índice de Theil, puede descomponerse en factores multiplicativos, como los factores de Kaya, y también mostramos que esta metodología se puede extender para explorar las fuentes de desigualdades intra e intergrupales. En segundo lugar, llevamos a cabo una aplicación empírica de la metodología para datos internacionales sobre emisiones de CO₂, consumo de energía, población y PIB: analizamos la desigualdad internacional en emisiones de CO₂ entre países, entre grupos de países y dentro de los grupos de países para el período 1971-1999 y descomponemos estas desigualdades en las desigualdades en los principales factores causantes de las emisiones (factores de Kaya), explorando así cuáles son las causas de las desigualdades en las emisiones de CO₂ per cápita y su evaluación.

⁶ Ravallion et al. (2000) desarrollan un campo de estudio complementario, analizando la relación entre la distribución del ingreso y el nivel de emisiones de CO₂. Estos autores encuentran que tanto el crecimiento económico como la menor desigualdad (entre países y dentro de los países) está asociada a más emisiones en el corto plazo. Sin embargo, también encontraron que el crecimiento económico mejora el conflicto (*trade-off*) con la equidad y que una menor desigualdad mejora el conflicto con el crecimiento económico. Por tanto, el crecimiento económico con equidad llevaría a una mejor trayectoria a largo plazo de las emisiones.

El trabajo se organiza como sigue. La sección 2 muestra la metodología de descomposición por factores de Kaya. La sección 3 realiza una ilustración empírica de esta metodología utilizando datos internacionales. Finalmente, la sección 4 se hacen unos comentarios finales a modo de conclusión.

2. Metodología: la descomposición de la desigualdad de CO₂ mediante los factores de Kaya

Sea c_i las emisiones de CO₂ per cápita del país i , esto es $c_i = \frac{CO_{2i}}{N_i}$ donde N_i es la población del país i . Aunque existen muchas medidas de desigualdad, el índice de Theil (1967) tiene muchas propiedades deseables. Bourguignon (1979) mostró que esta medida es el único índice de desigualdad ponderado por población que es descomponible por grupos de observaciones, es diferenciable, simétrico, invariante en escala y satisface el criterio Pigou-Dalton⁷. Para el objetivo de computar la desigualdad en emisiones de CO₂ entre países, esta medida puede escribirse como:

$$T(c, p) = \sum_i p_i \ln\left(\frac{\bar{c}}{c_i}\right) \quad (1)$$

donde p_i es la proporción de la población del país i en la población total (mundial) y \bar{c} es la media mundial en emisiones per cápita. El límite inferior es cero, y el límite superior depende de la muestra. Un valor próximo a 1 indica altos niveles de desigualdad⁸.

Para investigar las fuentes de desigualdades internacionales en emisiones de CO₂, nuestro punto de partida es la conocida identidad de Kaya (1989). De acuerdo con ésta, las emisiones per cápita pueden descomponerse en el producto de tres

⁷ El principio Pigou-Dalton de transferencias postula que si una distribución puede obtenerse de otra a partir de una secuencia de transferencias regresivas desde los relativamente pobres a los relativamente ricos, entonces la primera debería considerarse más desigual.

⁸ Theil (1967) también ofreció un índice de desigualdad alternativo, el cual puede obtenerse intercambiando las posiciones de \bar{c} y c_i en el logaritmo y substituyendo el esquema de ponderaciones de población por ratios de CO₂. No obstante, el índice ponderado con población – expresión (1) – parece una mejor medida por que: i) en nuestra opinión, si se analiza la dispersión en CO₂, las diferentes observaciones deberían ser ponderarse de acuerdo con la importancia de la población; ii) Existen diversos problemas relacionados con la interpretación de los resultados cuando el índice alternativo se descompone por grupos (ver Shorrocks, 1980).

componentes distintos: intensidad de carbono de la energía o índice de carbonización (definida como la masa de dióxido de carbono emitida por unidad de energía consumida, $\frac{CO_{2i}}{E_i}$), intensidad energética (definida como la cantidad de energía consumida por unidad de PIB, $\frac{E_i}{PIB_i}$) y afluencia (definida como el PIB per cápita, $\frac{PIB_i}{N_i}$). El primer componente refleja la combinación de combustibles de un país dado, el segundo está asociado tanto con la eficiencia energética como con la estructura sectorial de la economía; y el tercero es una medida de renta económica.

Por tanto, podemos denotar estos tres factores respectivamente como a , b e y , para cada país:

$$c_i = a_i \cdot b_i \cdot y_i \quad (2)$$

A continuación medimos la contribución de cada factor de Kaya individual al índice de desigualdad global. Para hacer esto, definimos tres vectores hipotéticos dejando que, en cada vector, sólo los valores de uno de los factores diverja de la media. Como resultado, obtenemos lo siguiente⁹:

$$\begin{aligned} c_i^a &= a_i \cdot \bar{b} \cdot \bar{y} \\ c_i^b &= \bar{a} \cdot b_i \cdot \bar{y} \\ c_i^y &= \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot y_i \end{aligned} \quad (3)$$

donde \bar{a} , \bar{b} e \bar{y} son las medias mundiales.

El grado de desigualdad de los factores individuales se calcula a continuación utilizando el índice de Theil:

⁹ Esta metodología fue desarrollada por Duro (2003) para el análisis de la desigualdad espacial del ingreso.

$$\begin{aligned}
T^a &= \sum_i p_i \ln \left(\frac{\bar{c}^a}{c_i^a} \right) \\
T^b &= \sum_i p_i \ln \left(\frac{\bar{c}^b}{c_i^b} \right) \\
T^y &= \sum_i p_i \ln \left(\frac{\bar{c}^y}{c_i^y} \right)
\end{aligned} \tag{4}$$

Cada uno de estos índices mida la contribución parcial de cada factor a la desigualdad global. Nótese que la importancia atribuible a cada factor puede percibirse como la cantidad de desigualdad que persistiría si sólo se permitiera que el factor examinado variara entre países, mientras que los otros factores se igualan a la media.

Nótese que si sumamos estos índices de Theil y si añadimos los términos $\log\left(\frac{\bar{c}}{\bar{c}^a}\right)$ y $\log\left(\frac{\bar{c}}{\bar{c}^b}\right)$, obtendríamos lo siguiente:

$$\begin{aligned}
\left(T^a + \log\left(\frac{\bar{c}}{\bar{c}^a}\right) \right) + \left(T^b + \log\left(\frac{\bar{c}}{\bar{c}^b}\right) \right) + T^y &= \sum_{i=1} p_i \log\left(\frac{\bar{c}}{c_i^a}\right) + \sum_{i=1} p_i \log\left(\frac{\bar{c}}{c_i^b}\right) + T^y = \\
\sum_{i=1} p_i \log\left(\frac{\bar{a}}{a_i}\right) + \sum_{i=1} p_i \log\left(\frac{\bar{b}}{b_i}\right) + \sum_{i=1} p_i \log\left(\frac{\bar{y}}{y_i}\right) &= \sum_i p_i \log\left(\frac{\bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{y}}{a_i \cdot b_i \cdot y_i}\right) = T(c, p) \tag{5}
\end{aligned}$$

No obstante, ¿qué significan los dos nuevos términos? Sería fácil demostrar que éstos se pueden interpretar como componentes de interacción. Podemos, por tanto, rescribirlos como¹⁰:

$$\begin{aligned}
\log\left(\frac{\bar{c}}{\bar{c}^a}\right) &= \log\left(1 + \frac{\sigma_{a,by}}{\bar{c}^a}\right) \\
\log\left(\frac{\bar{c}}{\bar{c}^b}\right) &= \log\left(1 + \frac{a\sigma_{b,y}}{\bar{c}^b}\right)
\end{aligned} \tag{6}$$

¹⁰ Estas demostraciones no se incluyen en el texto, si bien, están disponibles por parte de los autores.

donde $\sigma_{a,by}$ es la covarianza ponderada (utilizando proporciones de población) entre índices de carbonización y la energía per cápita consumida, y $\sigma_{b,y}$ denota la covarianza ponderada entre intensidades de energía y renta per cápita.

Podemos, por tanto, descomponer la desigualdad entre países en las emisiones per cápita en una suma de las contribuciones individuales de los factores de Kaya—expresadas mediante índices de Theil—y dos términos de interacción.

$$T(c, p) = T^a + T^b + T^y + \text{inter}_{a,by} + \text{inter}_{b,y} \quad (7)$$

donde $\text{inter}_{a,by}$ e $\text{inter}_{b,y}$ son respectivamente el primero y el segundo términos de interacción de la expresión (6).

Además, esta metodología puede extenderse para analizar los componentes de la desigualdad entre e intragrupal. Es bien conocido que el índice Theil puede también descomponerse por subgrupos de población de la siguiente forma (Theil, 1967; y Shorrocks, 1980):

$$T(c) = \sum_{g=1}^G p_g T(c)_g + \sum_{g=1}^G p_g \ln \left(\frac{\bar{c}}{c_g} \right) \quad (8)$$

donde p_g es el ratio de población del grupo g , T_g denota la desigualdad interna en el grupo g , y c_g representa las emisiones de CO₂ per cápita en el grupo g .

Nótese que el primer término—el componente intragrupal—es una media ponderada de los índices de Theil internos, y por tanto puede ser inmediatamente descompuesto en los factores multiplicativos de Kaya definidos anteriormente. El segundo término—el componente intergrupal—es justo un índice de Theil ponderado por población y, por tanto, la aplicación de nuestra metodología también es directa.

3. Resultados empíricos: análisis de la desigualdad de CO₂ entre países

Los datos de todas las variables—emisiones de CO₂, consumo de energía, población y PIB—se han tomado de la Agencia Internacional de la Energía, AIE (2001)¹¹. Las emisiones de la AIE no incluyen las emisiones que no derivan de la quema de combustibles fósiles, como los generados en la producción de cemento y en la quema de biomasa. Estos datos tienden a subestimar las emisiones de los países pobres, ya que la combustión es relativamente importante en estos países¹². El análisis se realiza para los años 1971, 1980, 1990 y 1999. Se han considerado dos muestras de países. La muestra completa incluye 114 países (ver Anexo A), lo que claramente refleja la situación internacional. La muestra representa más del 99% de la población mundial, el PIB y las emisiones de CO₂ provenientes de combustibles fósiles¹³. De forma complementaria, los resultados de han recalculado cuando China e India se excluyen de la muestra. La muestra restringida representa el 61,9% de la población total, el 83,6% del PIB total y el 82,4% de las emisiones totales. Aunque parece conveniente incluir todos los países disponibles para llevar a cabo un análisis comprehensivo, también puede ser interesante comprobar el impacto de estos países en los valores de desigualdad global. Éstos han experimentado impresionantes tasas de crecimiento económico y crecimiento de emisiones, representan una gran proporción de la población global, y por tanto pueden haber influenciado significativamente la evolución de los índices globales de desigualdad. La Tabla 1 muestra el resumen de las estadísticas para la muestra completa utilizada y para las diferentes regiones consideradas en el análisis.

¹¹ Hemos empleado la medida del PIB ajustado por la paridad del poder de compra (ppc), ya que ésta muestra mejor el consumo que se puede realizar con un nivel dado de ingreso que las medidas del PIB a tipos de cambio. No obstante, hay que tener en cuenta que esto también lleva a mostrar mayores medidas de los PIBs de los países pobres que los PIBs expresados a tipo de cambio de mercado.

¹² Mientras que una quema de biomasa completamente sostenible resultaría en cero emisiones netas, una buena proporción de las emisiones no provenientes de combustibles fósiles no se compensan replantando biomasa. Si estuviera disponible una imagen más completa de las emisiones de carbono—incluidas las relacionadas con el uso de biomasa, cambio en el uso de la tierra, agricultura, etc—la desigualdad global sería presumiblemente menor que la encontrada en este análisis.

¹³ No se han considerado los búnkeres marinos y de aviación, ya que no están asignados a ningún país.

Tabla 1 – Resumen estadístico para la muestra completa, 1999

Grupo	Zona templada	Este de Europa	América Tropical	África Tropical	Asia Sur-oeste	Asia Sur-centro	Asia Sur-este	China	Total (muestra completa)
Población	986,97	411,91	451,49	727,46	227,99	1347,37	508,65	1253,6	5915,44
% población	16,68%	6,96%	7,63%	12,30%	3,85%	22,78%	8,60%	21,19%	100%
PIB	22812,92	2419,81	2705,53	1111,68	1312,64	2839,96	2265,49	4357,82	39825,85
% PIB	57,28%	6,08%	6,79%	2,79%	3,30%	7,13%	5,69%	10,94%	100%
Energía	5039,4	1179,61	501,9	378,91	413,51	586,87	451,13	1088,35	9639,68
% energía	52,28%	12,24%	5,21%	3,93%	4,29%	6,09%	4,68%	11,29%	100%
Emisiones	11743,7	3021,97	1011,85	381,11	1068,68	1043,95	913,48	3006,76	22191,5
% emisiones	52,92%	13,62%	4,56%	1,72%	4,82%	4,70%	4,12%	13,55%	100%
PIB medio p.c.	22812,92	2419,81	2705,53	1111,68	1312,64	2839,96	2265,49	4357,82	39825,85
Energía media p.c.	5039,4	1179,61	501,9	378,91	413,51	586,87	451,13	1088,35	9639,68
Emisiones medias p.c.	11,90	7,34	2,24	0,52	4,69	0,77	1,80	2,40	3,75
Índice de carbonización	2,33	2,56	2,02	1,01	2,58	1,78	2,02	2,76	2,30
Intensidad energética del PIB	0,22	0,49	0,19	0,34	0,32	0,21	0,20	0,25	0,24

Nota: elaboración propia utilizando datos de la AIE. Población en millones. PIB en miles de millones de dólares de EEUU de 1995 ajustados por PPC. Energía en millores de toneladas de equivalente de petróleo. Emisiones in millones de toneladas métricas. PIB per cápita GDP en millones de dólares de EEUU de 1995 ajustados por PPC. Energía per cápita en toneladas de petróleo equivalentes. Emisiones per cápita en toneladas métricas. Índice de carbonización en toneladas de CO₂ por tonelada de petróleo equivalente. Intensidad energética en toneladas equivalentes de petróleo por millares de dólares de EEUU de 1995 ajustados por PPC.

La Tabla 2 presenta los valores del ejercicio de descomposición para algunos años seleccionados. Se pueden destacar algunos puntos sobre estos valores.

Tabla 2 – Descomposición de desigualdades internacionales en CO₂ per cápita por factores de Kaya utilizando el índice de Theil

	$T(c,p)$	T^a	T^b	T^y	Interact _{a,by}	Interact _{b,y}
Muestra completa						
1971	1,1167	0,1792 (16%)	0,1919 (17%)	0,7218 (65%)	0,2887 (26%)	-0,2648 (-24%)
1980	0,9944	0,1420 (14%)	0,1827 (18%)	0,7257 (73%)	0,2371 (24%)	-0,2930 (-29%)
1990	0,8479	0,1365 (16%)	0,1202 (14%)	0,6196 (73%)	0,1636 (16%)	-0,1919 (-19%)
1999	0,7581	0,1348 (18%)	0,1145 (15%)	0,5247 (69%)	0,1200 (12%)	-0,1360 (-14%)
Excluyendo China e India						
1971	1,1488	0,2521 (22%)	0,1601 (14%)	0,4679 (41%)	0,2706 (24%)	-0,0020 (-0%)
1980	1,0547	0,1960 (19%)	0,1508 (14%)	0,4962 (47%)	0,2531 (24%)	-0,0414 (-4%)
1990	1,0177	0,1941 (19%)	0,1547 (15%)	0,5568 (55%)	0,2397 (24%)	-0,1276 (-13%)
1999	0,9691	0,1941 (20%)	0,1730 (18%)	0,6129 (63%)	0,2085 (22%)	-0,2195 (-23%)

Nota: elaboración propia a partir de datos de la AIE (2001). Los porcentajes muestran el peso en la desigualdad total.

En primer lugar, existe una reducción sustancial en la desigualdad en las emisiones de CO₂ entre países entre 1971 y 1999. La reducción en el índice de Theil es del 32%. Esto, por tanto, muestra que la responsabilidad de las emisiones de CO₂, al menos en términos per cápita, se ha convertido gradualmente más difusa. No obstante, los niveles de desigualdad son claramente altos. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Heil y Wodon (1996) y Padilla y Serrano (2006).

En segundo lugar, esta trayectoria descendente se explica principalmente por el menor papel como inductor de desigualdad jugado por el factor afluencia (ingreso per cápita) a lo largo del tiempo. La contribución del factor de afluencia a la desigualdad, que es el más importante, desciende de 0,72 a 0,52, por tanto, una reducción del 27%, aunque no disminuyó entre 1971 y 1980. No obstante, este factor continúa siendo el componente más importante en explicar las desigualdades globales actuales, con una contribución individual del 69%. Una mayor convergencia en ingreso entre países puede, por tanto, esperarse razonablemente

que conlleve una reducción correspondiente en las desigualdades de CO₂ debido a un mayor aumento de emisiones en las economías en desarrollo. Sin embargo, dado que el objetivo no es la igualdad en emisiones, sino su control y reducción, es imperativo que tengan lugar las medidas e incentivos para permitir un crecimiento económico en las economías en desarrollo que no implique un aumento significativo en las emisiones globales en el futuro. La gran desigualdad entre países muestra que una política global enfocada en la reducción de emisiones en los países ricos (los principales emisores) podría ser bastante efectiva en el control de emisiones en el corto plazo. No obstante, la senda descendente de la desigualdad en el ingreso también muestra que esta podría ser bastante inefectiva en el largo plazo, debido al fuerte crecimiento económico de las economías en desarrollo¹⁴.

En tercer lugar, la evaluación de las desigualdades en los índices de carbonización y las intensidades en energía también han influido la reciente senda decreciente observada en las desigualdades en las emisiones de carbono per cápita¹⁵. Estas desigualdades y, especialmente, la desigualdad en intensidades energéticas, que ha experimentado una reducción del 40,3%¹⁶, también han disminuido fuertemente durante el período. Sin embargo, la relativa importancia de ambos factores, es claramente menor que la estimada para el factor afluencia.

En cuarto lugar, cabe hacer un comentario sobre los términos de interacción. El término referido a la correlación entre intensidad energética y nivel de desarrollo económico –*interact_{b,y}*– es negativo, aunque ha disminuido claramente en importancia en explicar la desigualdad global desde 1980. Esta correlación negativa significa que los países más ricos, que emiten más emisiones, tienden a mostrar también menores intensidades de emisiones, lo que atenúa a su vez la desigualdad en emisiones. Esta correlación negativa podría explicarse por el cambio en la

¹⁴ Sin embargo, se podría argumentar que centrar la política en los países ricos sería suficiente ya que, gracias al crecimiento económico, algunas economías en desarrollo se convertirían en "ricas" y por tanto deberían controlar sus emisiones. El problema sería entonces establecer el "umbral de riqueza" a partir del cual se debería establecer la obligación bajo los acuerdos de mitigación.

¹⁵ Para un análisis de la evolución de la intensidad energética véase Greening et al. (1997), quienes compara 6 métodos diferentes de descomposición para analizar la intensidad energética para la industria en 10 países de la OCDE. Encuentran que la mayoría de cambios en la intensidad energética podrían explicarse por cambios en la intensidad energética de subsectores individuales. Greening (2004) aplica un análisis de descomposición a la intensidad de carbono del transporte personal, encontrando que mientras que la reducción en la intensidad energética ha contribuido a controlar el aumento en las emisiones de CO₂, éste ha sido compensado por lo que llaman efectos de comportamiento, como factores de carga descendientes y cambios en modos de transporte.

¹⁶ Ver Alcántara y Duro (2004) y Sun (2002) para un análisis de la reducción en la desigualdad en las intensidades energéticas entre los países de la OCDE. Miketa y Mulder (2005) analizan la convergencia en la productividad de la energía entre las economías desarrolladas y subdesarrolladas en 10 sectores industriales.

estructura económica, ya que los países ricos han desarrollado fuertemente diversas actividades en el sector terciario que son menos demandantes de energía que las industriales, mientras que se da cierto estancamiento en la demanda para las actividades industriales¹⁷. El comercio internacional también ayuda a explicar esta correlación, ya que se podría utilizar para desplazar consumo de energía desde los países ricos a los pobres, sin ninguna reducción en el contenido de intensidad energética del consumo de los países ricos¹⁸. En cualquier caso, la reducción en el valor absoluto de este término muestra que esta correlación es ahora menos clara que al principio del período.

El término de interacción referido a la relación entre índice de carbonización y energía per cápita – $\text{interact}_{a,by}$ – muestra un valor positivo, por tanto, los países con mayor consumo de energía per cápita, también tienden a emitir más CO₂ por unidad de energía. Esta correlación se explica principalmente por la covarianza positiva entre intensidad de carbono de la energía y afluencia (ver Apéndice A). Este factor, por tanto, amplifica las desigualdades entre los países ricos y pobres en las emisiones de CO₂ per cápita. Sin embargo, esta correlación es mucho menor al final del período. Al principio del período, los países industrializados por tanto tendían a mostrar mayores índices de carbonización que los países pobres. Una explicación es que los países industrializados y los que se están industrializando tienden a tener mayor necesidad de quemar combustibles no renovables y emitir emisiones para generar energía que los países pobres, donde el sector primario es predominante. Nótese que los datos de la AIE no incluyen las emisiones provenientes de la quema de madera y otra biomasa – que significan una proporción importante de la energía consumida en los países más pobres – ya que estos combustibles no causan emisiones netas. Sin embargo, conforme los países pobres desarrollan y queman combustibles distintos a la madera, aumentan sus emisiones netas por unidad de energía, mientras que las ganancias en eficiencia y

¹⁷ No obstante, no todas las actividades del sector terciario que han aumentado son menos demandantes de energía, como es el caso del transporte aéreo. Además, incluso si el cambio en estructura sectorial se produce y la intensidad energética disminuye para algunos países ricos, esto no significa que el consumo total de energía de esos países se vea reducido, a menos que asumamos que los sectores ambientalmente más problemáticos son aquellos produciendo bienes inferiores, lo cual no es demasiado probable (Torras y Boyce, 1998). Podría darse una “desvinculación relativa” entre crecimiento económico y presión ambiental, pero no una “desvinculación absoluta” (ver de Bruyn y Opschoor, 1997; Roca y Alcántara, 2002).

¹⁸ Algunos autores han destacado esta posibilidad para explicar algunas relaciones en forma de u invertida—curvas de Kuznets ambientales—observadas entre algunas presiones ambientales y el crecimiento económico (Arrow et al., 1995; Stern et al., 1996; Ekins, 1997; Suri y Chapman, 1998).

los cambios en los tipos de combustible¹⁹ en los países ricos han contribuido a una importante reducción de este factor en la desigualdad de emisiones²⁰.

Finalmente, aunque los términos de interacción son significativos cuando se toman individualmente, principalmente en los primeros años analizados, cuando se toman conjuntamente tienen un impacto global pequeño en la desigualdad en el CO₂. Este resultado indica que las desigualdades globales en CO₂ pueden ser aproximadamente descompuestos como la suma de los índices de los factores de Kaya individuales.

Los resultados han sido recalculados tras excluir a China e India de la muestra. El objetivo de este ejercicio es verificar si los resultados son cualitativamente diferentes respecto a los obtenidos cuando se emplea la muestra completa. De hecho, la muestra restringida dibuja un escenario claramente diferente. El aspecto más llamativo es el fuerte contraste observado en le papel jugado por el ingreso per cápita en explicar la reciente reducción en las desigualdades de CO₂. La reducción en la desigualdad del CO₂ per cápita es menos importante que cuando se considera la muestra completa, y esta reducción se explica principalmente por los cambios en la intensidad de carbono y los términos de interacción. De particular interés es el papel jugado por el término Interact_{b,y}, el cual juega un papel importante en la reducción, mostrando una creciente correlación entre crecimiento económico y eficiencia energética, contrariamente a lo que pasa cuando se considera la muestra completa. El efecto de Interact_{b,y} es menos importante en explicar la reducción de la desigualdad de CO₂ de la muestra reducida. Contrariamente a lo que pasa con la muestra completa, la diferencia en afluencia entre países juega un papel creciente en la desigualdad de CO₂. Dado esto, y comparando los resultados con la muestra completa, debería señalarse que la convergencia observada en ingreso per cápita en la muestra completa se explica básicamente por el diferencial (positivo) de crecimiento económico experimentado por India y China a lo largo del período, que implicó un aumento significativo en sus

¹⁹ Nótese que la posibilidad de cambiar a energías que no emitan CO₂, como las energías hidroeléctrica y nuclear - las cuales han contribuido a la reducción en la intensidad de carbono en muchos países ricos – no está al alcance para muchos países pobres.

²⁰ Roberts y Grimes (1997) observan que la intensidad de carbono del PIB—el producto de la intensidad de carbono de la energía y la intensidad energética—se ha reducido para un pequeño número de países ricos desde 1970, mientras que el promedio para el resto del mundo ha empeorado. Ellos argumentan que los diferentes países no están pasando por etapas de desarrollo; mientras que los países ricos se especializan en servicios, la producción de bienes semielaborados intermedios tiende a concentrarse en algunos países de ingreso medio (Hettige et al., 1992, Moomaw y Tullis, 1994). Estos autores destacan que los factores sociopolíticos son crecientemente importantes en determinar qué países instituyen medidas de eficiencia.

emisiones²¹. Es necesario, por tanto, interpretar los resultados con precaución, tomando en consideración la muestra específica en cuestión. No obstante, podemos enfatizar que el principal papel jugado por los diferentes niveles de ingreso en explicar los niveles globales de desigualdad en CO₂ se confirma ampliamente con ambas muestras.

A continuación descomponemos los componentes de desigualdad entre e intragrupal por factores de Kaya. Hemos utilizado las siete grandes regiones mundiales sugeridas por Theil y Deepak (1994) en su análisis de las desigualdades internacionales en el ingreso (véase en el Anexo A la lista de países por regiones utilizadas en el estudio). Esta elección se justifica por varias razones. En primer lugar, los grupos se conforman básicamente de acuerdo con áreas geográficas. En segundo lugar, las diferentes áreas corresponden a grandes rasgos a diferentes niveles de desarrollo económico, de forma que dado que hemos encontrado que la diferencia en afluencia es el principal factor determinante de las desigualdades en las emisiones de carbono, parece una elección bastante razonable²².

²¹ También han experimentado importantes mejoras en eficiencia energética, las que en el caso de China se atribuyen mucho más a una mejora en la eficiencia técnica que a cambios en la estructura económica (EIA, 2004). Sin embargo, los datos de China son altamente inciertos. Según el Instituto Nacional de Estadísticas Chino, el período 2002–2004 supuso un gran aumento en el consumo de energía y un crecimiento en la intensidad de energía del PIB después de haber experimentado un descenso similar en la intensidad energética del PIB en años anteriores. La mayoría de analistas atribuyen este cambio, al menos en parte, a la calidad de los datos (tanto de consumo energético como de actividad económica).

²² La elección de los grupos tiene un impacto directo en los resultados del análisis de descomposición. Reglas de agrupación alternativas conllevarían diferentes resultados de la descomposición, si bien los niveles de desigualdad globales serían siempre iguales.

Tabla 3 – Descomposición de la desigualdad intergrupal de CO₂ per cápita por factores de Kaya utilizando el índice de Theil

	T_{inter}	T^a	T^b	T^y	Interact _{a,b,y}	Interact _{b,y}
Muestra completa						
1971	0,9587 (86%)	0,1080 (11%)	0,1326 (14%)	0,6625 (69%)	0,2863 (30%)	-0,2308 (-24%)
1980	0,8306 (84%)	0,0747 (9%)	0,1319 (16%)	0,6565 (79%)	0,2202 (27%)	-0,2527 (-16%)
1990	0,6547 (77%)	0,0490 (7%)	0,0625 (10%)	0,5476 (84%)	0,1352 (21%)	-0,1396 (-21%)
1999	0,5509 (73%)	0,0416 (8%)	0,0373 (7%)	0,4411 (80%)	0,0875 (16%)	-0,0566 (-10%)
Excluyendo China e India						
1971	0,9144 (80%)	0,1464 (16%)	0,0522 (6%)	0,3731 (41%)	0,2714 (30%)	0,0713 (8%)
1980	0,8103 (77%)	0,0961 (12%)	0,0531 (7%)	0,3853 (48%)	0,2312 (29%)	0,0446 (6%)
1990	0,7279 (72%)	0,0638 (9%)	0,0551 (8%)	0,4406 (61%)	0,1984 (27%)	-0,0301 (-4%)
1999	0,6550 (68%)	0,0538 (8%)	0,0609 (9%)	0,4784 (73%)	0,1594 (24%)	-0,0974 (-15%)

Nota: elaboración propia utilizando datos de la AIE. Los porcentajes de la primera columna muestran el peso sobre la desigualdad total. Los porcentajes en las otras columnas muestran el peso sobre la desigualdad intergrupal.

Tabla 4 – Descomposición de desigualdades globales intragrupales en CO₂ per cápita por factores de Kaya utilizando el índice de Theil

	$T_{\text{int ra}}$	T^a	T^b	T^y	Interact _{a,by}	Interact _{b,y}
Muestra completa						
1971	0,1581 (14%)	0,0778 (49%)	0,0698 (44%)	0,0593 (38%)	-0,0043 (-3%)	-0,0446 (-28%)
1980	0,1638 (16%)	0,0596 (36%)	0,0597 (36%)	0,0692 (42%)	0,0246 (15%)	-0,0492 (-30%)
1990	0,1932 (23%)	0,0707 (37%)	0,0501 (26%)	0,0719 (37%)	0,0452 (23%)	-0,0447 (-23%)
1999	0,2072 (27%)	0,0738 (36%)	0,0527 (25%)	0,0836 (40%)	0,0520 (25%)	-0,0549 (-26%)
Excluyendo China e India						
1971	0,2343 (20%)	0,1188 (51%)	0,1046 (45%)	0,0948 (40%)	-0,0139 (-6%)	-0,0700 (-30%)
1980	0,2444 (23%)	0,0912 (37%)	0,0886 (36%)	0,1109 (45%)	0,0306 (13%)	-0,0769 (-31%)
1990	0,2898 (28%)	0,1077 (37%)	0,0756 (26%)	0,1162 (40%)	0,0638 (22%)	-0,0735 (-25%)
1999	0,3141 (32%)	0,1147 (37%)	0,0826 (26%)	0,1345 (43%)	0,0747 (24%)	-0,0925 (-29%)

Nota: elaboración propia utilizando datos de AIE. Los porcentajes en la primera columna muestran el peso en la desigualdad total. Los porcentajes en las otras columnas muestran el peso en la desigualdad intragrupal.

Los resultados se muestran en la Tabla 3 y la Tabla 4. Cabe señalar diversas cuestiones. En primer lugar, los datos revelan que las desigualdades entre grupos son el principal factor detrás de las desigualdades totales (casi el 70% en ambas muestras). Este resultado confirma la relevancia de los grupos considerados, ya que existen amplias diferencias entre ellos. Una vez más, la diferencia en afluencia aparece como el principal determinante de las desigualdades entre grupos.

En segundo lugar, cuando tomamos la muestra completa, la reducción en las desigualdades entre grupos se explica principalmente por la reducción en las disparidades en el ingreso, pero las intensidades en carbón y energía y el primer término de interacción (Interact_{a,by}) también han colaborado en la trayectoria descendente. Todos estos factores experimentan una mayor reducción que cuando la desigualdad de CO₂ per cápita total es considerada. En el caso de la muestra restringida, la reducción se explica por la convergencia de las intensidades de

carbono e Interact_{a,by}, mientras que los otros factores tendieron a aumentar el componente intergrupal de la desigualdad en el CO₂ per cápita.

En tercer lugar, y en claro contraste, las desigualdades entre grupos aumentaron a lo largo del tiempo, y como resultado, su importancia relativa en la desigualdad global en ambas muestras aumentó. En el caso de la muestra restringida, este componente es más importante y el aumento fue el doble que el de la muestra completa. Este mayor aumento se explica básicamente por las diferencias crecientes en los niveles de ingreso per cápita cuando se eliminan China e India de la muestra de países.

También es instructivo mostrar información de las diferentes regiones mundiales. La Tabla 5 muestra los principales datos para el primero y el último año del período bajo consideración.

Tabla 5 – Descomposición de desigualdades en las emisiones de CO₂ per cápita por regiones

	$T(c, p)$	T^a	T^b	T^y	Interact _{a,b,y}	Interact _{b,y}
Zona Templada						
1971	0,2092	0,0045 (2%)	0,0765 (37%)	0,0587 (28%)	-0,0119 (-6%)	0,0814 (39%)
1999	0,1208	0,0156 (13%)	0,0290 (24%)	0,0522 (43%)	0,0013 (1%)	0,0227 (19%)
Europa del Este						
1971	0,0462	0,0029 (6%)	0,0214 (46%)	0,0243 (53%)	0,0044 (10%)	-0,0068 (-15%)
1999	0,0390	0,0058 (15%)	0,0614 (157%)	0,0335 (86%)	-0,0022 (-6%)	-0,0594 (-152%)
América Tropical						
1971	0,1853	0,0576 (31%)	0,0516 (28%)	0,0429 (23%)	0,0622 (34%)	-0,0290 (-16%)
1999	0,1684	0,0249 (15%)	0,0617 (37%)	0,0572 (34%)	0,0513 (30%)	-0,0268 (-16%)
África Tropical						
1971	0,4221	0,5860 (139%)	0,2843 (67%)	0,1941 (46%)	-0,2655 (-63%)	-0,3768 (-89%)
1999	0,8092	0,4842 (60%)	0,1654 (20%)	0,2520 (31%)	0,2424 (30%)	-0,3348 (-41%)
Asia Sur-Oeste						
1971	0,1942	0,0046 (2%)	0,0982 (51%)	0,2552 (131%)	-0,0109 (-6%)	-0,1530 (-79%)
1999	0,2794	0,0010 (0%)	0,1556 (56%)	0,2480 (89%)	-0,0170 (-6%)	-0,1082 (-39%)
Asia Sur-Centro						
1971	0,1414	0,0468 (33%)	0,0562 (40%)	0,0145 (10%)	0,0391 (28%)	-0,0153 (-11%)
1999	0,1044	0,0286 (27%)	0,0391 (37%)	0,0181 (17%)	0,0259 (25%)	-0,0073 (-7%)
Asia Sur-Este						
1971	0,3063	0,1174 (38%)	0,0994 (32%)	0,1750 (57%)	0,1379 (45%)	-0,2234 (-73%)
1999	0,4350	0,0321 (7%)	0,0424 (10%)	0,2738 (63%)	0,1504 (35%)	-0,0637 (-15%)

Nota: elaboración propia utilizando datos de la AIE. Los porcentajes muestran el peso sobre la desigualdad de cada grupo.

De forma interesante, el aumento en el componente global de desigualdad intragrupos está causado principalmente por el aumento en la desigualdad entre países en África Tropical, Asia Sur-Oeste y Asia Sur-Este. El gran aumento en la desigualdad observada en África Tropical se basa en la contribución aumentada de las disparidades en el ingreso y también en la gran variación en el signo del término

de interacción $\text{Interact}_{a,by}$, el cual a su vez depende del gran aumento en la covarianza entre intensidades de carbono de la energía y la energía per cápita consumida en esta región²³. En aumento en la desigualdad en el CO₂ per cápita en Asia Sur-Este se explica principalmente por el creciente papel de la desigualdad en afluencia dentro de esta región, y la reducción en el valor absoluto de $\text{Interact}_{b,y}$. Contrariamente a este patrón, la desigualdad en las emisiones de carbono per cápita entre países en el grupo Zona templada disminuyó claramente durante el período. Este comportamiento es atribuible a la menor contribución de las intensidades energéticas en la desigualdad, lo que a su vez se puede asociar a una mayor igualdad en las estructuras sectoriales entre los países desarrollados, y el papel decreciente jugado por $\text{Interact}_{b,y}$, que muestra la correlación entre intensidades energéticas y los niveles de ingreso per cápita²⁴.

4. Conclusiones

Este papel se ha centrado en dos aspectos principales, el primero metodológico y el segundo empírico. Por lo que se refiere al primero, hemos mostrado que las desigualdades en las emisiones de CO₂ per cápita—cuando éstas se miden utilizando el conocido índice de Theil—podrían descomponerse en términos de factores de Kaya en una suma de la contribución de cada factor y dos términos de interacción, que muestran la influencia debida a la variación conjunta en factores. También hemos mostrado que esta metodología puede extenderse para analizar los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos. Por lo que se refiere al aspecto empírico, hemos utilizado esta metodología para investigar las fuentes de desigualdades en CO₂ per cápita entre países utilizando los datos de la AIE.

Podemos concluir varios puntos básicos a partir de los resultados obtenidos. En primer lugar, las desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ per cápita se explican principalmente por las desigualdades en afluencia—medida por el ingreso per cápita—entre países y la disminución en estas desigualdades ayuda a explicar básicamente la reducción de la desigualdad en el CO₂. Sin embargo, la

²³ Estos resultados no se han incluido en el texto, aunque están disponibles previa solicitud a los autores.

²⁴ Nótese que el signo de este término es positivo. Luego, al contrario de lo que pasa con la muestra completa, los países más ricos dentro de este grupo, tienden a utilizar más energía por unidad de PIB, por tanto este término tiene un efecto positivo en la desigualdad en CO₂, aunque, como se mencionó anteriormente, esta correlación disminuyó a lo largo del tiempo.

evolución de las desigualdades en las intensidades de energía y los índices de carbonización también ha contribuido a la reducción global en la desigualdad en las emisiones per cápita. Este resultado está fuertemente influenciado por el comportamiento de China e India. Cuando estos países se excluyen de la muestra, la contribución de la desigualdad del ingreso aumenta, aunque esto es más que compensado por la menor contribución a la desigualdad del índice de carbonización y la interacción entre intensidad energética e ingreso. En segundo lugar, la descomposición del componente de desigualdad entre grupos, que constituye el mayor componente de desigualdad, muestra que el factor ingreso es similarmente importante. En tercer lugar, y a pesar de lo anterior, el componente de desigualdad intragrupal mostró un pequeño aumento a lo largo del período, lo que se explica principalmente por el patrón seguido por África tropical, Asia Sur-Oeste y Asia Sur-Este, con un fuerte cambio en la interacción entre índice de carbonización y la energía per cápita en le primera caso, y en la desigualdad en el ingreso y el término de interacción entre la intensidad de energía y el ingreso per cápita en el tercero.

La utilización del índice de Theil nos ha permitido analizar la evaluación de la desigualdad internacional en las emisiones de CO₂ y de los principales factores causantes. Este análisis ofrece información sobre algunas cuestiones de distribución global—como las diferencias en la responsabilidad en el problema—, de forma que aporta información útil para el debate sobre cómo distribuir la carga de los esfuerzos de control en las políticas del cambio climático.

El alto nivel de desigualdad internacional en las emisiones de CO₂ per cápita y la gran importancia que juega el componente de desigualdad en el ingreso apoyan la idea de que las iniciativas centradas en el control de emisiones en los países ricos podría ser bastante efectiva en el corto plazo. No obstante, la senda decreciente de este componente, debido al fuerte crecimiento económico de algunas economías en desarrollo, muestra que cualquier política de mitigación efectiva en el largo plazo, necesita de la participación futura de estas economías en desarrollo en el control de las emisiones.

Los resultados también muestran que la contribución de las desigualdades en el índice de carbonización y la intensidad energética no deberían ignorarse. Existen importantes divergencias en las intensidades energéticas. La reducción en las diferencias en la intensidad energética—gracias a las ganancias de eficiencia en algunas economías en desarrollo—muestra que la mejora de eficiencia es una de las

formas más importantes en que las emisiones pueden ser controladas. La reducción experimentada en el valor absoluto del término de interacción referido a la correlación negativa entre la intensidad energética y el nivel de afluencia, muestra cómo la reducción en la desigualdad en las intensidades energética –consiguiendo niveles similares de eficiencia en países con diferente ingreso– ha contribuido a atenuar el crecimiento de emisiones.

Existen también importantes desigualdades en los índices de carbonización entre países, incluso dentro de regiones con un nivel de ingreso per cápita similar²⁵, aunque su contribución a la desigualdad en el CO₂ se ha reducido a lo largo del tiempo. Es destacable el caso de la Zona Templada, donde ha habido un aumento de la desigualdad en países con similar nivel de ingreso. Esto puede deberse al hecho de que algunos países han llevado a cabo políticas más agresivas en el paso de combustibles fósiles a fuentes de energía que no emiten CO₂. Esto muestra el fuerte potencial que esta sustitución podría tener para controlar las emisiones globales en el futuro. Las diferencias y cambios en el índice de carbonización muestran la combinación de fuentes de energía, mientras que hay muchos más factores que podrían influir en las diferencias y cambios en la intensidad energética (como diferentes especializaciones productivas)²⁶. Sin embargo, existe un gran potencial para controlar las emisiones mediante el aumento de la importancia de las fuentes de energía no renovables y es inevitable que este cambio tenga lugar en el futuro.

La necesidad de crecimiento económico en los países pobres para aumentar su nivel de vida, que puede inicialmente conllevar un patrón decreciente en la desigualdad en las emisiones de CO₂ per cápita, puede también implicar un crecimiento significativo en las emisiones globales en el futuro, a menos que los países con medios para realizar acciones de mitigación reduzcan sus índices de carbonización e intensidades energéticas y cooperen con las economías en desarrollo con iniciativas—como transferencias de tecnología y cooperación—que compensen esto. Este es el reto.

²⁵ Padilla y Roca (2003), empleando datos de la AIE para 1999, mostraban que, en una zona relativamente homogénea como los 15 países de la UE, la variabilidad del índice de carbonización era muy similar e incluso algo superior a la variabilidad en la intensidad energética.

²⁶ En Ang (1999), Mielnik y Goldemberg (1999) y Roca y Alcántara (2002) se puede encontrar una interesante discusión sobre la importancia relativa de la intensidad energética y el índice de carbonización en la explicación de las diferencias a lo largo del tiempo en las emisiones per cápita de los diferentes países.

Referencias

- Agarwal, A. y Narain, S., 1991, Global warming in an unequal world, Center for Science and Environment, Nueva Delhi.
- Alcantara, V. y Duro, J.A., 2004, Inequality of energy intensities across OECD countries: a note, Energy Policy 32 (11), 1257-1260.
- 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.
- Arrow, K., Boling, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, S., Jansson, B.-O., Levin, S., Mäler, K.-G., Perrings, C. y Pimentel, D., 1995, Economic growth, carrying capacity and the environment, Science 268, 520-521.
- Bourguignon, F., 1979, Decomposable income inequality measures, Econometrica 47, 901-920.
- Cline, W.R., 1992, The economics of global warming, Institute for International Economics, Washington, DC.
- De Bruyn, S. M. y Opschoor, J. B., 1997, Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations, Ecological Economics 20, 255-268.
- Den Elzen, M.G.J., 1999, Report on the expert meeting on the Brazilian Proposal: Scientific Aspects and Data Availability, Center Forecasts and Climate Studies (CPTEC), Cachoeira Paulista, Brazil, May 190-20, 1990, disponible en http://unfccc.int/files/meetings/workshops/other_meetings/application/pdf/mre_p1999.pdf
- Den Elzen, M.G.J. y Schaeffer, M., 2002, Responsibility for past and future global warming: uncertainties in attributing anthropogenic climate change, Climatic Change 54, 29-73.
- Duro, J.A., 2003, Factor decomposition of spatial income inequality: a revision, Working Paper 03.02, Departamento de Economía Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Ekins, P., 1997, The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence, Environment and Planning A 29, 805–830.

Energy Information Administration, EIA, 2004, World energy use and carbon dioxide emissions, 1980-2001, Mayo 2004, disponible en <http://www.eia.doe.gov/emeu/carbonemiss>

Greening, L.A., 2004, Effects of human behavior on aggregate carbon intensity of personal transportation: comparison of 10 OECD countries for the period 1970-1993, Energy Economics 26, 1-30.

Greening, L.A., Davis, W.B., Schipper, L. y Khrushch, M., 1997, Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries, Energy Economics 19, 375-390.

Grubb, M., 1990, The greenhouse effect: negotiating targets, International Affairs 66, 67-89.

Heil, M.T., y Wodon, Q.T., 1997. Inequality in CO₂ emissions between poor and rich countries. Journal of Environment and Development 6, 426-452.

Heil, M. y Selden, T. M., 2001a, Carbon emissions and economic development: future trajectories based on historical experience, Environment and Development Economics 6, 63-83.

Heil, M. y Selden, T. M., 2001b, International trade intensity and carbon emissions: a cross-country econometric analysis, Journal of Environment and Development 10, 35-49.

Hettige, H., Lucas, R.E.B. y Wheeler, D., 1992, The toxic intensity of industrial production: Global patterns, trends, and trade policy, AEA Papers and Proceedings 82, 478-481.

Holtz-Eakin, D. y Selden, T., 1995, Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth, Journal of Public Economics 57, 85-101.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 1996, Climate Change 1995. Economic and social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.

Agencia Internacional de la Energía, IEA, 2001. CO₂ Emissions from fuel combustion, 1971-1999. 2001 Edition. International Energy Agency, París.

Kaya, Y., 1989. "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios," paper presented to the Energy and

Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Intergovernmental Panel on Climate Change, París, Francia.

Meyer, A., 1995, The unequal use of the global commons, presented at IPCC Workshop on Equity and Social Considerations, Nairobi, Julio.

Mielnik, O. y Goldemberg, J., 1999, The evolution of the "carbonization index" in developing countries, Energy Policy 27, 307-308.

Miketa, A., y Mulder, P., 2005, Energy productivity across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors: Patterns of growth and convergence, Energy Economics 27, 429-453.

Moomaw, W. y Tullis, M., 1994, Charting development paths: A multicountry comparison of carbon dioxide emissions, In Socolow, R., Andrews, C., Bwerkhou, F. y Thomas, V., Industrial Ecology and Global Change, New York, Cambridge University Press, 157-172.

Padilla, E., 2004, Climate change, economic analysis and sustainable development, Environmental Values 13, 523-544.

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 2, 5-24.

Padilla, E. y Serrano, A., 2006, Inequality in CO₂ emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach, Energy Policy, en prensa.

Pearce, D.W. y Warford, J.J., 1993, World without end. New York: Oxford University Press.

Ravallion, M., Heil, M. y Jalan, J., 2000, Carbon emissions and Income Inequality, Oxford Economic Papers 52, 651-669.

Roberts, J.T. y Grimes, P.E., 1997, Carbon intensity and economic development 1961-91: a brief exploration of the environmental Kuznets curve, World Development 25 (2), 191-198.

Roca, J. y Alcántara, V., 2002,. Economic growth, energy use, and CO₂ emissions. En J. R. Blackwood (Ed.), *Energy Research at the Cutting Edge*. Nova Science, Nueva York.

- Schmalensee, R., T. Stoker y Judson, R., 1998 , World carbon dioxide emissions: 1950-2050, Review of Economics and Statistics 80, 15.27.
- Shafik, N., 1994, Economic development and environmental quality: An econometric analysis, Oxford Economic Papers 46, 757-773.
- Shorrocks, A., 1980, The class of additively decomposable inequality measures, Econometrica 48, 613-625.
- Smith, K.R., Swisher, J. y Ahuja, D.R., 1993, Who pays to solve the problem and how much?, En Hayes, P. y Smith, K.R., (eds.), The global greenhouse regime: Who pays? UNU Press/Earthscan, London.
- Stern, D. I., Common, M. S. y Barbier, E. B., 1996, Economic growth, trade and the environment: implications for the environmental Kuznets curve, World Development 24, 1151-1160.
- Sun, J.W., 2002. The decrease in the difference of energy intensities between OECD countries from 1971 to 1998, Energy Policy 30, 631-635.
- Suri, V. y Chapman, D., 1998, Economic Growth, trade and the environment: implications for the environmental Kuznets curve, Ecological Economics 25, 195-208.
- Theil, H., 1967, Economics and Information Theory (North Holland, Amsterdam).
- Theil, H. y S.D. Deepak, 1994, The GDPs of Seven Major Regions, 1950-90, Empirical Economics 19, 517-522.
- Torras, M. y Boyce, J. K., 1998, Income, inequality and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve, Ecological Economics 25, 147-160.
- UNFCCC, 2001, Scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil. Progress report on the review of the scientific and methodological aspects of the proposal by Brazil. Note by the secretariat, FCCC/SBSTA/2001/INF.2, Julio 2001, Bonn, disponible en:
<http://unfccc.int/resource/docs/2001/sbsta/inf02.pdf>
- UNFCCC, 2002, Methodological issues. Scientific and methodological assessment of contributions to climate change. Report of the expert meeting. Note by the secretariat, FCCC/SBSTA/2002/INF.14, Octubre 2002, Nueva Delhi, disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2002/sbsta/inf14.pdf>

Wirth, D.A. y Lashof, D.A., 1990, Beyond Vienna and Montreal—Multilateral Agreements on Greenhouse Gases, *Ambio* 19, 305-310.

Yamaji, K., R. Matsuhashi, Nagata, Y. y Kaya, Y., 1991, An Integrated Systems for CO₂/Energy/GNP Analysis: Case Studies on Economic Measures for CO₂ Reduction in Japan. Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century, 19–21 March 1991. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Anexo A

a) Matriz de covarianzas

- Muestra completa

	$\text{cov}(a,b)$	$\text{cov}(a,y)$	$\text{cov}(b,y)$
1971	-0, 05	2, 71	-0, 44
1975	-0, 04	2, 63	-0, 52
1980	-0, 02	2, 56	-0, 55
1985	-0, 02	2, 14	-0, 39
1990	-0, 01	1, 85	-0, 35
1995	-0, 03	1, 43	-0, 29
1999	-0, 04	1, 66	-0, 24

- Excluyendo China e India

	$\text{cov}(a,b)$	$\text{cov}(a,y)$	$\text{cov}(b,y)$
1971	-0, 02	3, 83	-0, 00
1975	-0, 02	3, 96	-0, 03
1980	-0, 03	4, 12	-0, 10
1985	-0, 06	4, 07	-0, 24
1990	-0, 06	4, 06	-0, 31
1995	-0, 06	3, 56	-0, 50
1999	-0, 07	3, 77	-0, 54

b) Grupos

Zona templada: Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Chipre, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Gibraltar, Grecia, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Corea, Luxemburgo, Malta, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, Sudáfrica, España, Suecia, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos, Uruguay.

Europa del Este: Albania, Bulgaria, República Checa, Hungría, Polonia, Rumania, Eslovaquia, Ex-URSS, Ex-Yugoslavia.

América tropical: Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Trinidad y Tobago, Venezuela, Otros países latinoamericanos.

África tropical: Argelia, Angola, Benín, Camerún, Congo, República Democrática del Congo, Costa de Marfil, Egipto, Etiopia, Gabón, Ghana, Kenia, Libia, Marruecos, Mozambique, Nigeria, Senegal, Sudán, Tanzania, Togo, Túnez, Zambia, Zimbabwe, Otros países africanos.

Asia Sur-Oeste: Bahrein, Irán, Irak, Israel, Jordania, Kuwait, Líbano, Omán, Qatar, Arabia Saudita, Siria, Turquía, Emiratos Árabes Unidos, Yemen.

Asia Sur-Centro: Bangla Desh, India, Myanmar, Nepal, Pakistán, Sri Lanka.

Asia Sur-Este: Hong Kong, Indonesia, Malasia, Filipinas, Singapur, Tailandia, Vietnam, China Taipei, Otros países asiáticos.

China: China

Últims documents de treball publicats

NUM	TÍTOL	AUTOR	DATA
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
06.01	An input-output analysis of the "key" sectors in CO2 emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy	Vicent Alcántara Emilio Padilla	Febrer 2006
05.15	The relevance of Post-Match LTC: Why has the Spanish labor market become as volatile as the US one?	Hector Sala, Jose I. Silva	Octubre 2005
05.14	Sistemas Locales de Trabajo y Distritos Industriales Marshallianos en España	Rafel Boix Domenech, Vittorio Galletto	Setembre 2005
05.13	The spatial effect of intra-metropolitan agglomeration economies	Miguel Ángel García López, Ivan Muñiz	Juny 2005
05.12	Decentralisation, integration and polycentrism in Barcelona	Ivan Muñiz, Anna Galindo, Miguel Ángel García	Juny 2005
05.11	Employment decentralisation: polycentric compaction or sprawl? The case of the Barcelona Metropolitan Region 1986-1996	Miguel Ángel García López, Ivan Muñiz	Juny 2005
05.10	Nuevos instrumentos de política ambiental	Joan Pasqual Rocabert	Maig 2005
05.09	El impacto espacial de las economías de aglomeración y su efecto sobre la estructura urbana. El caso de la industria en Barcelona, 1986-1996	Miguel Ángel García, Ivan Muñiz	Maig 2005
05.07	ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO2 Y SUS FACTORES EXPLICATIVOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DEL MUNDO	Vicent Álcantara, Emilio Padiila	Abril 2005
05.06	Descentralización del empleo: ¿compactación policéntrica o dispersión? El caso de la región metropolitana de Barcelona 1986-1996	Miguel Ángel García, Ivan Muñiz	Abril 2005
05.05	Descentralización, integración y policentrismo en Barcelona	Ivan Muñiz/ Anna Galindo / Miguel Ángel García	Abril 2005
05.04	Knowledge, networks of cities and growth in regional urban systems	Joan Trullen / Rafael boix	Febrer 2005
05.03	Inequality in CO2 emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach	Emilio Padilla / Alfredo Serrano	Gener 2005
05.02	Environmental management problems, future generations and social decisions	Joan Pasqual / Emilio Padilla	Gener 2005