

Desigualdades internacionales en las emisiones de CO₂ per cápita: una metodología de descomposición en 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 en carbono y energía 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 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 influyen en 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. 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. 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 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). Los trabajos de Heil y Wodon (1997) y Padilla y Serrano (2005) introducen varios índices tomados del análisis de la distribución del ingreso para medir y estudiar la evolución de la desigualdad en el CO₂. 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.

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-Dalton. 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 desigualdad¹.

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 componentes distintos: intensidad de carbono (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.

¹ 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).

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

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

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 siguiente²:

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

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:

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

Cada uno de estos índices mide 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.

² Esta metodología fue desarrollada por Duro (2003) para el análisis de la desigualdad espacial del ingreso.

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:

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

No obstante, ¿qué significan los dos nuevos términos? Sería fácil demostrar que éstos se pueden interpretar como componentes de interacción. Podemos, por tanto, describirlos como³:

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

donde $\sigma_{a,by}$ es la covarianza ponderada (utilizando proporciones de población) entre intensidades de carbono 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.

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

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

³ Estas demostraciones no se incluyen en el texto, si bien, están disponibles por parte de los autores.

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 términos – el componente intergrupala – 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 se han tomado de la Agencia Internacional de la Energía, AIE (2002). 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, lo que claramente refleja la situación internacional. De forma complementaria, los resultados de han recalculado cuando China e India se excluyen de la muestra. 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 presenta los valores del ejercicio de descomposición para algunos años seleccionados. Se pueden destacar algunos puntos sobre estos valores.

Tabla 1 – 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 (2002). 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 (2005).

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 70%. 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.

En tercer lugar, la evaluación de las desigualdades en intensidades en carbón y energía también han influido la reciente senda decreciente observada en las desigualdades en las emisiones de carbono per cápita. Estas desigualdades y, especialmente, la desigualdad en intensidades energéticas, que ha experimentado una reducción del 40,3%⁴, 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 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 industriales⁵. 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

⁴ 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.

⁵ 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).

energética del consumo de los países ricos⁶. 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 – $interact_{a,by}$ – 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 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 los cambios en los tipos de combustible⁷ en los países ricos han contribuido a una importante reducción de este factor en la desigualdad de emisiones⁸.

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

⁶ 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).

⁷ 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.

⁸ 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.

resultado indica que las desigualdades globales en CO₂ pueden ser aproximadamente descompuestas como la suma de los índices de los factores 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 el 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 emisiones⁹. 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. Esta elección se justifica por varias razones. En

⁹ 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).

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 razonable.

Tabla 2 – Descomposición de la desigualdad intergrupala de CO₂ per cápita por factores de Kaya utilizando el índice de Theil

	T_{inter}	T^a	T^b	T^y	Interact _{a,by}	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%)

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

Tabla 3 – Descomposición de desigualdades globales intragrupal en CO₂ per cápita por factores de Kaya utilizando el índice de Theil

	T_{intra}	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. Lo 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 2 y la Tabla 3. 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 $\text{Interact}_{a,by}$, mientras que los otros factores tendieron a aumentar el componente intergrupar de la desigualdad de 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 4 muestra los principales datos para el primero y el último año del período bajo consideración.

Tabla 4 – Descomposición de desigualdades en las emisiones de CO₂ per cápita por regiones

	$T(c,p)$	T^a	T^b	T^y	Interact _{a,by}	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 $interact_{a,by}$, el cual a su vez depende del gran aumento en la covarianza entre intensidades de carbono y la energía per cápita consumida en esta región¹⁰. 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 $Interact_{b,y}$. 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 $Interact_{b,y}$, que muestra la correlación entre intensidades energéticas y los niveles de ingreso per cápita¹¹.

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 en la desigualdad en el CO₂. Sin embargo, la

¹⁰ Estos resultados no se han incluido en el texto, aunque están disponibles previa solicitud a los autores.

¹¹ 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 carbono 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 intensidad de carbono y la energía per cápita en el primer 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 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 intensidades de carbono y de energía y cooperan con las economías en desarrollo con iniciativas – como transferencias de tecnología y cooperación – que compensen esto. Este es el reto.

Referencias

- Alcantara, V. and Duro, J.A. 2004, Inequality of energy intensities across OECD countries: a note, *Energy Policy* 32 (11), 1257-1260.
- 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.
- De Bruyn, S. M. y Opschoor, J. B., 1997, Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations, *Ecological Economics* 20, 255-268.
- 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>
- 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.
- 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.
- 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.
- Kakwani, N., 1980, On a Class of Poverty Measures, *Econometrica* 48, 437-446.
- 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.

- Moomaw, W. y Tullis, M., 1994, Charting development paths: A multicountry comparison of carbon dioxide emissions, In Socolow, R., Andrews, C., Bwerkhout, F. y Thomas, V., *Industrial Ecology and Global Change*, New York, Cambridge University Press, 157-172.
- Padilla, E. y Serrano, A., (2005) Inequality in CO₂ emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach, *Energy Policy*, en prensa.
- 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., Alcántara, V., 2002,. Economic growth, energy use, and CO₂ emissions. In J. R. Blackwood (Ed.), *Energy Research at the Cutting Edge*. New York: Nova Science, Nueva York.
- Shorrocks, A., 1980, The class of additively decomposable inequality measures, *Econometrica* 48, 613-625.
- 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.
- Yamaji, K., R. Matsubishi, 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.

Apéndice A

a) Matriz de covarianzas

- Muestra completa

	$cov(a,b)$	$cov(a,y)$	$cov(b,y)$
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

	$cov(a,b)$	$cov(a,y)$	$cov(b,y)$
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, Etiopía, Gabón, Ghana, Kenia, Libia, Marruecos, Mozambique, Nigeria, Senegal, Sudán, Tanzania, Togo, Túnez, Zambia, Zimbabue, 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