

# Desigualdad en la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores: Descomposición y estudio de sensibilidad\*

**LORENA REMUZGO**

*Departamento de Economía, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, ESPAÑA. E-mail: lorena.remuzgo@unican.es*

**JOSÉ MARÍA SARABIA**

*Departamento de Economía, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, ESPAÑA. E-mail: sarabiaj@unican.es*

## RESUMEN

En este trabajo se analiza la desigualdad en la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores, para las regiones del PNUD en el año 2009, mediante el índice de Theil-Bourguignon, que permite descomponer la desigualdad total en la distribución por grupos de población. Cabe destacar que la mayor desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores se produce en regiones que están formadas por países pobres o en vías de desarrollo. Asimismo, los resultados proporcionan una mayor importancia relativa al componente de desigualdad intragrupos. Posteriormente, se completa el estudio anterior mediante un análisis de sensibilidad de los componentes de desigualdad, utilizando la familia de índices de entropía generalizada. Dichos resultados señalan de nuevo el importante peso del componente intragrupos.

*Palabras clave:* Distribución de emisiones de CO<sub>2</sub>, descomposición de la desigualdad, índice de Theil, índice de entropía generalizada.

## Inequality of Global Distribution of CO<sub>2</sub> Emissions by Sector: Decomposition and Sensitivity Study

### ABSTRACT

In this paper, inequality of global distribution of CO<sub>2</sub> emissions by sector is studied across the regions considered by the UNDP in the year 2009. Firstly, the research is carried out using the Theil-Bourguignon inequality index which can be decomposed into the within-group and the between-group inequality components. The greatest inequality in CO<sub>2</sub> emissions by sector occurs in regions that are formed by poor or developing countries. The results show also that the within-group inequality component is the main contributor to the whole inequality value. Secondly, the study is completed using the family of Generalized Entropy indexes, where the within-group inequality component is the main contributor to the whole inequality value too.

*Keywords:* CO<sub>2</sub> Distribution, Inequality Decomposition, Theil Index, Generalized Entropy Index.

Clasificación JEL: Q59, F00, C10

---

\* Los autores agradecen los comentarios realizados por los dos evaluadores anónimos y por el Consejo Editorial, los cuales han permitido mejorar este trabajo. Los autores agradecen también al Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto ECO2010-15455) por la financiación parcial de este trabajo.

---

Artículo recibido en diciembre de 2012 y aceptado en enero de 2013

Artículo disponible en versión electrónica en la página [www.revista-eea.net](http://www.revista-eea.net), ref. e-31101

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad llevada a cabo en los distintos sectores económicos origina emisiones atmosféricas que provocan el cambio climático, siendo el dióxido de carbono el gas de efecto invernadero más abundante en la atmósfera. Los resultados alcanzados en las recientes negociaciones internacionales sobre cambio climático, señalan que es necesario un mayor compromiso en la reducción de las emisiones de dicho gas para detener el calentamiento global.

La desigualdad de renta que existe entre las distintas regiones del mundo es el principal motivo por el cual urge frenar el nivel global de emisiones de CO<sub>2</sub>. Dicha desigualdad puede provocar que, la distribución de las consecuencias de dichas emisiones sea cuanto menos equitativa, existiendo una relación inversa entre la responsabilidad por las mismas y la fragilidad ante sus efectos. En este contexto, es importante tener en cuenta la desigualdad existente en la distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la hora de diseñar medidas que frenen el cambio climático.

En los últimos años, se han llevado a cabo diversos intentos de analizar la evolución internacional de la desigualdad en las emisiones de dióxido de carbono, como los presentados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 1997).

En varios trabajos sobre economía de la energía se han introducido, como herramienta de análisis, los índices utilizados tradicionalmente en los análisis de desigualdad de la renta<sup>1</sup>. En este sentido, Heil y Wodon (1997) emplearon la descomposición del índice de Gini propuesto por Yitzhaki y Lerman (1991) para estudiar la desigualdad en las emisiones de dióxido de carbono per cápita. Así mismo, Heil y Wodon (2000) utilizaron esta misma metodología para analizar la desigualdad futura en las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita a través de proyecciones hasta el año 2010, con el objetivo último de estudiar el impacto del Protocolo de Kyoto sobre dicha desigualdad. Por su parte, Hedenus y Azar (2005) consideraron razonable utilizar el índice de Atkinson (Atkinson, 1970), dado que cumple los axiomas básicos de un índice de desigualdad: satisface el principio de transferencias de Pigou-Dalton, es descomponible por grupos de población, es invariante ante cambios de escala e independiente del tamaño de la población (Sen, 1997).

Por otro lado, en el trabajo de Sun (2002), tras dividir los países que conforman la OCDE en distintos grupos, se analiza la desigualdad dentro de cada grupo para el periodo de tiempo 1971-1998. Para ello, se utiliza como herramienta de desigualdad la desviación media, considerando que todos los países tienen la misma importancia.

---

<sup>1</sup> En el trabajo de Navarro Espigares y Hernández Torres (2004) se presenta una revisión de la literatura sobre la distribución de la renta en España y en la Unión Europea.

En esta línea, Alcántara y Duro (2004) completaron el estudio iniciado por Sun (2002) proponiendo y empleando la segunda medida del índice de Theil (Theil, 1967), como alternativa idónea para analizar la desigualdad en la intensidad energética en los países que componen la OCDE. Por otro lado, en una de las secciones del trabajo de Padilla y Serrano (2006) se descompone la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> en los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos para cuatro grupos de países de distinto nivel de renta<sup>2</sup>, para el periodo de tiempo 1971-1999. Este análisis permite estudiar si una reducción en la desigualdad de las emisiones de CO<sub>2</sub> se debe a una mayor igualdad en la renta entre países ricos y pobres o si se debe a una mayor equidad entre los países con un mismo nivel de ingresos.

Finalmente, Groot (2010) mide la desigualdad existente en las emisiones de dióxido de carbono en base a los datos empíricos de la curva de concentración de Lorenz.

Dada la importancia de reducir las emisiones de dióxido de carbono, todos los sectores deben ser menos intensivos en CO<sub>2</sub>; sin embargo, lo anterior no implica que todos los sectores deban reducir sus emisiones en la misma proporción ya que, sus perspectivas de evolución son diferentes (IEA, 2010).

En este trabajo se analiza la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los distintos sectores económicos con el objetivo último de que, se puedan incorporar los resultados obtenidos en el diseño de políticas económicas ambientales, tanto globales como regionales. La variable emisiones de CO<sub>2</sub> se estudia para las regiones contempladas por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en el año 2009. Ahora bien, este objetivo se lleva a cabo mediante dos estudios complementarios. En primer lugar, se realiza un análisis de descomposición de la desigualdad mediante el índice de Theil-Bourguignon. Dicho índice de desigualdad permite ponderar los países objeto de estudio por su población y descomponer la desigualdad total en los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos. Cabe destacar que la mayor desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores se produce en regiones que están formadas por países pobres o en vías de desarrollo. Dado que los resultados proporcionan una mayor importancia relativa al componente de desigualdad dentro de los grupos, en segundo lugar, se replica el estudio de ambos componentes de desigualdad utilizando la familia de índices de entropía generalizada. Debido a que cada índice enfatiza la desigualdad existente en un tramo distinto de la distribución, este análisis permite estudiar la sensibilidad del peso de ambos componentes de desigualdad.

---

<sup>2</sup> Los países están agrupados atendiendo a la clasificación realizada por el Informe sobre Desarrollo Mundial del Banco Mundial (World Bank, 2002) según el nivel de renta per cápita del país sea bajo, medio-bajo, medio-alto o alto.

La estructura de este trabajo es la siguiente. Tras esta introducción, se detalla la distribución mundial de las emisiones de dióxido de carbono por sectores. Seguidamente, se realiza un análisis descriptivo de la distribución objeto de estudio. En el siguiente apartado, se muestran los resultados obtenidos cuando se utiliza como índice de desigualdad el índice de Theil (0). En el quinto apartado, tras elegir la familia de índices de entropía generalizada como herramienta para estudiar la sensibilidad de los componentes de desigualdad, se exponen los principales hallazgos surgidos en dicho análisis. Finalmente, se exponen las conclusiones.

## 2. DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR SECTORES

Los datos que se han utilizado en este análisis han sido extraídos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2011c). La variable objeto de estudio son las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la combustión de fuel, medidas en millones de toneladas per cápita, para los países de los cuales hay información disponible, atendiendo a la clasificación por regiones realizada por el PNUD<sup>3</sup>. Las emisiones han sido obtenidas usando la base de datos de la AIE, utilizando los métodos de estimación propuestos por las Directrices del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. El año de estudio es el 2009 por tratarse del último año para el cual la AIE dispone de información sobre cómo se desagrega la variable objeto de estudio -emisiones de dióxido de carbono- por sectores. El total de las emisiones de dióxido de carbono estimadas se desglosa atendiendo a los sectores de los que provienen las mismas. En este sentido, los sectores analizados son: el sector eléctrico, el aglomerado “otras industrias energéticas”, el sector industrial, el sector transporte, el sector transporte por carretera, el sector inmobiliario y, por último, el conjunto “otros sectores”<sup>4</sup>.

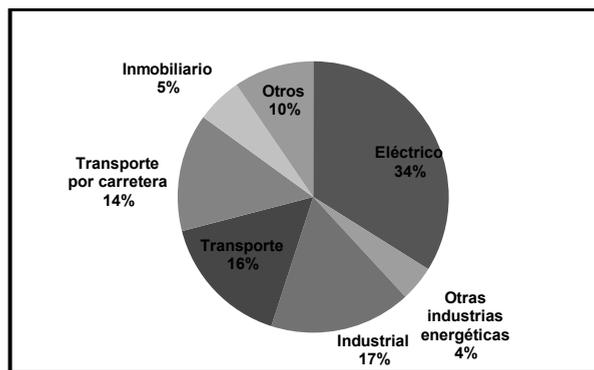
---

<sup>3</sup> En la Tabla A.1 se detalla la clasificación de los países analizados, atendiendo a las regiones contempladas por el PNUD.

<sup>4</sup> El sector eléctrico incluye las emisiones procedentes de los productores principales de generación de electricidad y calor; el aglomerado “otras industrias energéticas” contiene las emisiones provenientes del combustible quemado en las refinerías de petróleo, en las minas de carbón, petróleo y gas y en otras industrias productoras de energía; el sector industrial encierra las emisiones originarias de la quema de combustibles en la industria; el sector transporte incluye las emisiones procedentes de todas las actividades de transporte, con independencia del sector, a excepción de la marina internacional y los bunkers de la aviación; el sector transporte por carretera contiene las emisiones resultantes del uso de combustible en los vehículos de carretera; el sector inmobiliario recoge las emisiones procedentes de la quema de combustibles en los hogares y, por último, el conjunto “otros sectores” reúne las emisiones de dióxido de carbono de-

La Figura 1 muestra la distribución mundial de las emisiones de dióxido de carbono por sectores en el año 2009. Se puede observar que, en el año 2009, el sector eléctrico ha sido con diferencia el mayor generador de emisiones de dióxido de carbono dado que causó el 34 por ciento de las emisiones globales. Lo anterior se debe a que este sector es intensivo en carbón el cual, es una fuente de contaminación primordial que incentiva el calentamiento global. Se prevé que la demanda de electricidad en 2035 sea un 75 por ciento superior que la demanda del año 2008 debido a un incremento de la población y de la renta en los países en desarrollo. Dicho incremento es muy probable que propicie el aumento del número de procesos industriales eléctricos y dispositivos eléctricos en hogares y comercios. Sin embargo, la evolución de las emisiones generadas por este sector dependerá básicamente del tipo de combustibles empleados para producir electricidad y del desarrollo de energías renovables<sup>5</sup>. Además, conseguir un suministro de electricidad con un nivel bajo de emisiones permitiría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en todos los sectores, sobre todo en el sector industrial.

**Figura 1**  
Distribución mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en el año 2009



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Las emisiones procedentes de la industria suponen el 17 por ciento del total de emisiones de CO<sub>2</sub>. Según los estudios llevados a cabo por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2010), la creación de un sistema mundial de comercio de emisiones puede facilitar la transición hacia una tecnología menos

---

rivadas de las actividades comerciales, los servicios públicos, la agricultura, la silvicultura y la pesca que no han sido detalladas en las anteriores categorías (IEA, 2011b).

<sup>5</sup> En el trabajo de Cámara Sánchez, Flores García y Fuentes Saguar (2011) se analiza y cuantifica el impacto ambiental de las emisiones atmosféricas procedentes de las distintas ramas que componen el sector eléctrico en España.

contaminante en este sector. Además, es necesario que los gobiernos realicen reformas legislativas que sometan a todos los países a la restricción de emisiones<sup>6</sup>.

Por otro lado, la movilidad de mercancías y personas es fundamental para el desarrollo económico y la cohesión social. Sin embargo, a su vez, es responsable de una serie de problemas sociales y ambientales como la contaminación del aire, el ruido, la congestión de carreteras y los accidentes de tráfico.

De acuerdo con lo dicho, el sector transporte representó en 2009 el 16 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono globales. Cabe destacar que la mayoría de éstas provienen del transporte por carretera debido a que el tránsito de pasajeros representa la mayor proporción del consumo mundial de combustibles para el transporte<sup>7</sup>. La relevancia de este sector en la distribución de las emisiones de dióxido de carbono por sectores se debe principalmente a dos hechos que conciernen al crudo. Por un lado, la ausencia de combustibles sustitutos del petróleo y la leve introducción en los mercados de tecnologías alternativas<sup>8</sup>, provocan que la demanda del hidrocarburo sea inelástica ante variaciones en su precio. Por otro lado, el crecimiento económico experimentado por las economías emergentes favorece el incremento de la demanda de petróleo (IEA, 2011a).

Las emisiones derivadas de los inmuebles representan el 5 por ciento del total. Dado que en los países desarrollados, la mayoría de los edificios actuales seguirán en pie en el año 2050, la vía de ahorro en este sector vendrá por modernizar las instalaciones con tecnologías menos contaminantes. Sin embargo, en los países en desarrollo, donde la edificación está en auge, la estrategia consistirá en incorporar las nuevas tecnologías en las nuevas construcciones. Además, para poder reducir las emisiones en el sector residencial, es necesario un paquete de medidas normativas que aumenten el conocimiento de los consumidores sobre la eficiencia energética de las nuevas tecnologías.

### **3. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR SECTORES**

En la Tabla 1 se muestran las medias y desviaciones típicas de las variables objeto de estudio para las regiones de países contempladas por el PNUD. Teniendo en cuenta todos los sectores, se puede apreciar que la región con un mayor número medio de emisiones de CO<sub>2</sub> es Asia Oriental y Pacífico (787,71),

---

<sup>6</sup> Según Esteban, Feijóo y Hernández (2003) para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector industrial español en mayor medida es necesario que el gobierno establezca algún tipo de regulación energética.

<sup>7</sup> Igualmente, esta actividad es la fuente de emisiones de carbono con un mayor crecimiento.

<sup>8</sup> Por ejemplo, como la incorporada en los vehículos eléctricos.

seguida muy de lejos por la OCDE (447,98). La diferencia en emisiones medias que existe entre ambas zonas geográficas se debe en parte a la temprana implementación de medidas ambientales por parte de la segunda. El anterior comportamiento de Asia Oriental y Pacífico también se puede apreciar en el caso del sector eléctrico y del sector industrial aunque, en estos sectores, Asia Meridional es la segunda región que más contamina en términos medios.

**Tabla 1**

Medias y desviaciones típicas (D.T.) de la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones de países contempladas por el PNUD

Región	Total	Eléctrico	Otras industrias energéticas	Industrial	Transporte	Transporte por carretera	Inmobiliario	Otros	
Estados Árabes	Media	80,53	30,89	9,12	17,05	18,86	18,39	3,83	5,13
	N	17	17	16	17	17	17	17	17
	D.T.	96,93	39,02	15,60	21,81	23,87	23,20	4,86	5,92
Asia Oriental y Pacífico	Media	787,71	363,70	35,22	258,80	71,74	59,21	32,50	61,74
	N	10	10	9	10	10	10	10	10
	D.T.	2126,79	1030,55	86,39	709,56	143,10	109,30	90,05	163,59
Europa y Asia Central	Media	108,71	53,09	6,62	18,93	15,95	12,06	11,62	16,07
	N	30	30	24	29	30	30	27	30
	D.T.	281,04	148,48	14,13	51,44	41,32	25,73	24,37	30,85
América Latina y el Caribe	Media	64,45	14,75	8,75	14,46	22,75	21,27	3,65	6,40
	N	22	21	17	22	22	22	22	22
	D.T.	108,61	26,42	14,44	23,47	42,24	39,77	6,08	11,22
Asia Meridional	Media	387,12	175,68	16,74	87,58	51,80	48,47	33,47	58,10
	N	6	6	5	6	6	6	6	6
	D.T.	619,90	336,40	22,86	134,71	64,06	59,56	45,58	81,08
África Subsahariana	Media	24,05	12,22	0,81	3,36	5,44	5,17	1,57	2,53
	N	21	21	12	21	21	21	19	21
	D.T.	79,59	49,59	1,62	10,99	11,30	10,69	4,54	7,66
OCDE	Media	447,98	174,71	26,07	60,50	124,88	110,77	35,33	63,98
	N	24	24	22	24	24	24	24	24
	D.T.	1048,08	444,14	54,09	115,69	322,89	280,46	67,97	122,42
Total	Media	211,57	89,68	13,69	44,91	41,84	36,86	14,90	25,11
	N	130	129	105	129	130	130	125	130
	D.T.	774,50	361,20	37,52	208,96	151,00	130,15	43,10	75,45

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Cabe destacar que la OCDE es la región que más contamina de media en el sector transporte (124,88) y en el sector transporte por carretera (110,77). Lo anterior se puede asociar a una generalización del uso del automóvil en dicha región.

En el lado opuesto, África Subsahariana es la región que presenta los niveles medios de emisión más bajos tanto a nivel global (24,05) como en cada uno de los sectores estudiados. Asimismo, atendiendo a las medias regionales de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores, se observa que América Latina y el Caribe y los Estados Árabes son regiones con un nivel medio de emisión relativamente bajo.

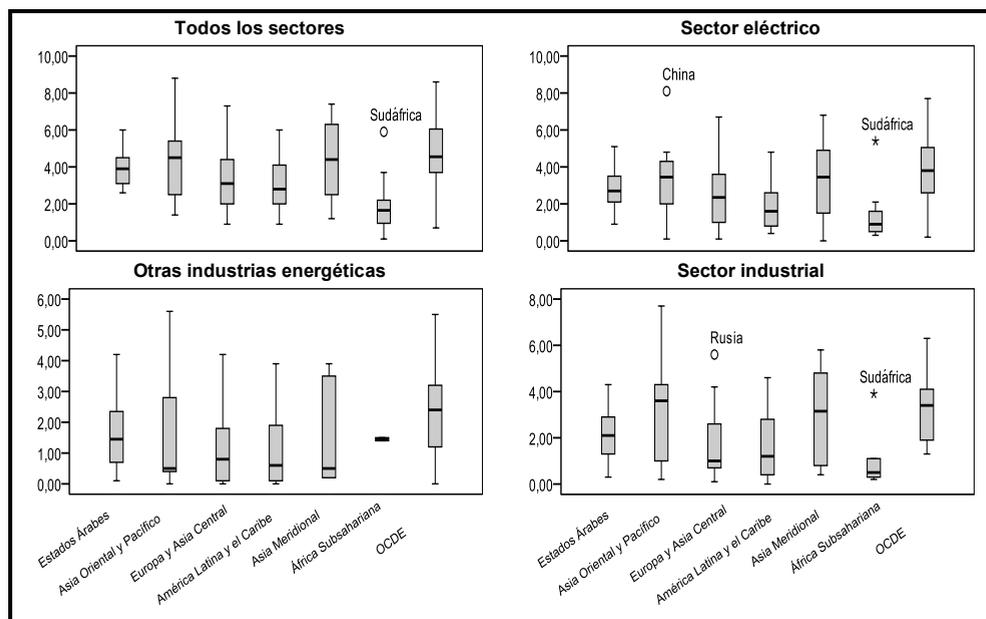
Las Figuras 2 y 3 muestran los diagramas de caja de la distribución mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en logaritmos para las regiones de países contempladas por el PNUD.

Los diagramas de caja permiten identificar la distribución y la dispersión de los datos de una variable. En cada caja se representa la mediana, los cuartiles 1 y 3, los valores atípicos y los valores extremos<sup>9</sup>.

**Figura 2**

Diagramas de caja de la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones de países contempladas por el PNUD (datos en logaritmos).

Todos los sectores, Sector eléctrico, Otras industrias energéticas, Sector industrial



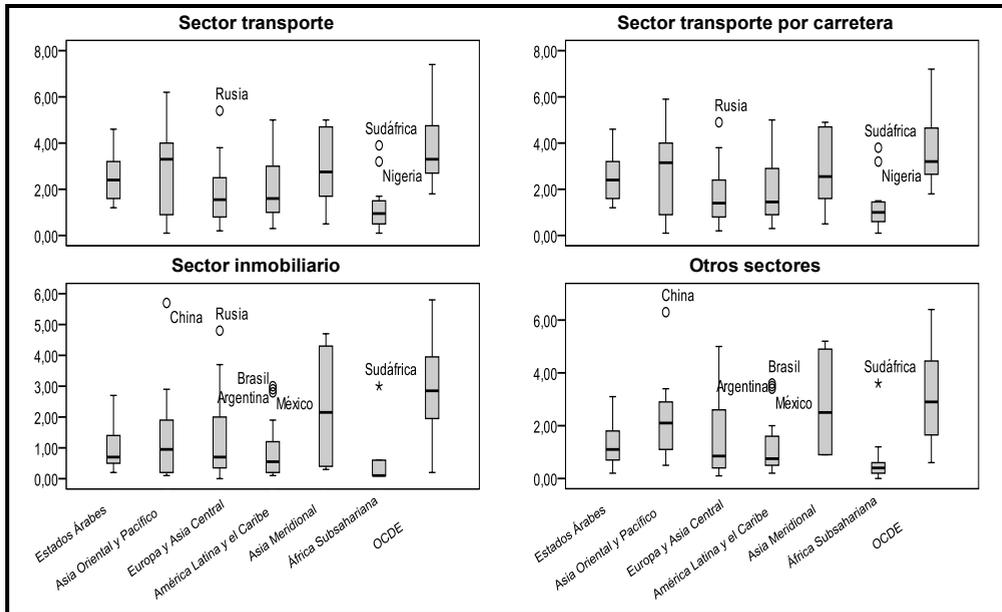
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA

<sup>9</sup> El límite superior se corresponde con el tercer cuartil mientras que el límite inferior con el primero; asimismo, la línea de dentro de la caja representa la mediana. Por otro lado, las barras verticales determinan el rango del 95 por ciento de los casos.

**Figura 3**

Diagramas de caja de la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones de países contempladas por el PNUD (datos en logaritmos).

Sector transporte, Sector transporte por carretera, Sector inmobiliario, Otros sectores



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

En primer lugar, se puede concluir de forma general que todos los sectores presentan una distribución de emisiones de CO<sub>2</sub> de carácter asimétrico.

Considerando a todos los sectores, se observa que África Subsahariana es la región con menor variabilidad en la distribución de emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que posee los diagramas de caja con menor amplitud. Asimismo, se puede apreciar que dicho comportamiento se extiende al caso de cada sector. En el lado opuesto, la OCDE, Asia Oriental y Pacífico y Asia Meridional son las regiones que muestran una mayor dispersión en la distribución mencionada con anterioridad.

Los valores atípicos que se observan corresponden a Sudáfrica y Nigeria para África Subsahariana; a Brasil, Argentina y México para América Latina y el Caribe; a Rusia para Europa y Asia Central y a China para Asia Oriental y Pacífico.

#### 4. DESCOMPOSICIÓN DE LA DESIGUALDAD EN LA DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR SECTORES

En este apartado se estudia la descomposición de la desigualdad en la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores mediante el índice de Theil (0), con el objetivo último de conocer qué porcentaje de la desigualdad total se puede atribuir a diferencias entre los grupos de población y cual a diferencias dentro de cada grupo considerado. Para poder llevar a cabo el objetivo anterior, se deben considerar las ventajas que poseen las medidas de desigualdad que son descomponibles aditivamente.

Entre todas las medidas de desigualdad que cumplen el anterior requisito, se elige la segunda medida del índice de Theil (Theil, 1967), dado que es el único índice de desigualdad que es descomponible por grupos de población, es diferenciable, simétrico, invariante ante cambios de escala y que satisface el principio de Pigou-Dalton<sup>10</sup> (Sen, 1973; Bourguignon, 1979 y Cowell, 1998).

De este modo, esta medida puede ser descompuesta de manera sencilla en dos componentes: un componente de desigualdad dentro de los grupos y un componente de desigualdad entre los grupos. El primer componente se calcula como la suma ponderada de los valores de desigualdad de cada región mientras que, el segundo componente muestra la desigualdad cuando sólo se consideran las diferencias entre la desigualdad media de cada región (Theil, 1967; Shorrocks, 1980)<sup>11</sup>.

Concretamente, el índice de Theil se puede definir como

$$T^{(S)}(\underline{c}) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln \left( \frac{\bar{c}}{c_i} \right) \quad \text{tal que} \quad \underline{c} = (c_1, \dots, c_n),$$

donde  $c_i$  denota las emisiones de dióxido de carbono per cápita del país  $i$ , esto es,  $c_i = CO_{2i}/N_i$  donde  $N_i$  es la población del país  $i$ ;  $p_i$  representa la proporción de población para el país  $i$  en la población mundial,  $\bar{c}$  es la media mundial de las emisiones de dióxido de carbono per cápita y, por último,  $\ln$  es el logaritmo neperiano.

<sup>10</sup> Según el criterio de Pigou-Dalton, cualquier transferencia de un país con un nivel alto de emisiones a otro con un nivel más bajo, la cual no invierta sus posiciones relativas, debe reducir o, al menos, no incrementar el valor del índice.

<sup>11</sup> No se ha considerado la descomposición del índice de Gini de Lerman and Yitzhaki porque, aunque identifica la desigualdad dentro de los grupos de países, no determina la desigualdad existente entre los distintos grupos ya que existe un porcentaje de desigualdad que no se descompone (error residual) (Lambert, 1993).

El límite inferior del índice es cero mientras que su límite superior depende del tamaño de la muestra. De este modo, un valor próximo a cero es indicativo de una situación equitativa mientras que, un valor cerca de 1 muestra un escenario de alta desigualdad<sup>12</sup>.

La descomposición de la desigualdad total en los componentes entre y dentro de los grupos viene dada por la siguiente expresión,

$$T^{(S)}(\underline{c}) = T_W^{(S)}(\underline{c}) + T_B^{(S)}(\underline{c}),$$

esto es,

$$T^{(S)}(\underline{c}) = \sum_{g=1}^G p_g \cdot T^{(S)}(\underline{c})_g + \sum_{g=1}^G p_g \cdot \ln \left( \frac{\bar{c}}{c_g} \right),$$

donde  $T_W^{(S)}(\underline{c})$  es el componente de desigualdad dentro de los grupos,  $T_B^{(S)}(\underline{c})$  es el componente de desigualdad entre los grupos,  $p_g$  es la proporción de población asociada al grupo o región  $g$ ,  $T^{(S)}(\underline{c})_g$  representa la desigualdad dentro del grupo  $g$  y, por último,  $\bar{c}_g$  denota la media de emisiones de dióxido de carbono per cápita en la región  $g$ .

Este estudio permite analizar la importancia de cada grupo. Una aportación pequeña a la desigualdad total del componente entre-grupos, revela que esta técnica tiene una restringida capacidad de descripción, siendo necesario la revisión de otras metodologías relacionadas con el concepto de desigualdad como el análisis de polarización<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> Theil (1967) también propuso un índice de desigualdad alternativo que se calcula intercambiando las posiciones de  $\bar{c}$  y  $c_i$  en el logaritmo neperiano y sustituyendo la ponderación de la población por ratios de emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, el índice de Theil ponderado por la población es una medida más apropiada porque: i) para analizar la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub>, las observaciones de éstas últimas se deben ponderar atendiendo a la proporción que la población de cada país representa sobre la población mundial (Duro, 2003; Duro y Padilla, 2006); ii) existen algunos problemas a la hora de interpretar los resultados de la descomposición por grupos cuando se emplea el índice ponderado por las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas (Shorrocks, 1980; Davies y Shorrocks, 1978).

<sup>13</sup> El concepto de polarización (Wolfson, 1994; 1997 y Esteban y Ray, 1994) surge debido a que las medidas de desigualdad no son satisfactorias en la formación de grupos en una sociedad. Dicho concepto permite, dada una determinada distribución, la formación de grupos heterogéneos entre sí cuyas disparidades internas son mínimas. Aunque inicialmente se emplearon las técnicas de polarización para estudiar la distribución de la renta (Gradín, 2000), Duro y Padilla (2008) emplearon esta metodología para analizar la distribución internacional de las emisiones de dióxido de carbono.

**Tabla 2**

Descomposición de la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en los componentes entre y dentro de grupos para las regiones del PNUD aplicando el índice de Theil

Sector	T(C)	T <sub>w</sub> (C)	T <sub>B</sub> (C)
Total	0,6120	0,3090	0,3030
Eléctrico	0,8216	0,5213	0,3003
Otras industrias energéticas	0,9485	0,5128	0,4357
Industrial	0,6261	0,3587	0,2674
Transporte	0,7783	0,2502	0,5281
Transporte por carretera	0,7904	0,2650	0,5254
Inmobiliario	0,7918	0,4047	0,3872
Otros	0,6976	0,3118	0,3858

*Fuente:* Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Los principales resultados se muestran en las Tablas 2 y 3. En la Tabla 2 se presenta la desigualdad existente en las emisiones de dióxido de carbono de los distintos sectores económicos para las regiones del PNUD aplicando el índice de Theil, así como, la descomposición de la desigualdad total en los componentes entre y dentro de los grupos.

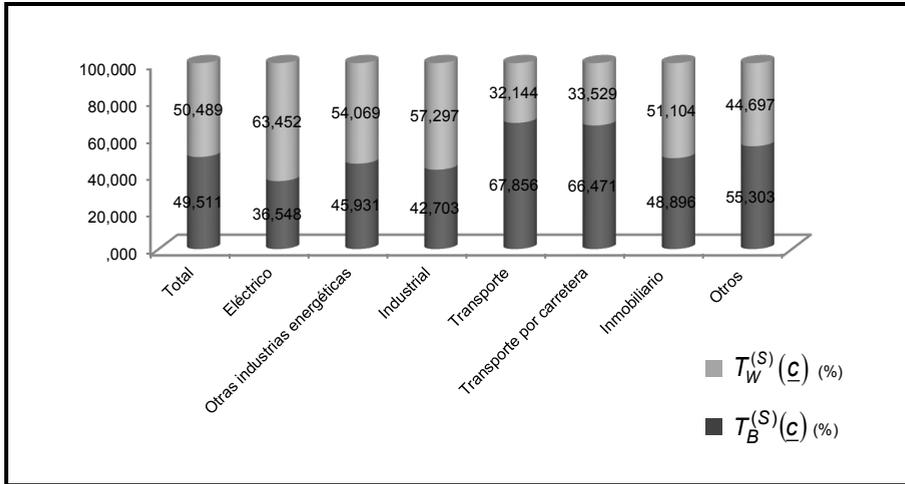
De acuerdo con el análisis empírico, se pueden obtener las siguientes conclusiones. En primer lugar, cabe destacar que la menor desigualdad se encuentra en la distribución de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> donde el índice de Theil toma un valor de 0,6120. Un grado de desigualdad parecido es el que manifiesta el sector industrial (0,6261). Por el contrario, el sector con mayor desigualdad es el aglomerado “otras industrias energéticas” (0,9485), seguido del sector eléctrico (0,8216).

En segundo lugar, atendiendo a la descomposición de la desigualdad total en los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos, se puede apreciar que ambos componentes contribuyen a la explicación de la desigualdad total en todos los sectores económicos. Lo anterior justifica la importancia de haber elegido la presente metodología la cual, considera la descomposición de la desigualdad total en ambos componentes. Además, el hecho de que el componente de desigualdad entre los grupos sea significativo, nos confirma la relevancia de las regiones de países consideradas en este análisis ya que existen extensas diferencias entre las mismas.

En la Figura 4 se muestra la importancia relativa del componente de desigualdad dentro de los grupos y del componente de desigualdad entre grupos en la desigualdad total (Cowell y Jenkins, 1995).

**Figura 4**

Descomposición de la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en los componentes entre y dentro de grupos para las regiones del PNUD aplicando el índice de Theil



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Los resultados muestran que el componente de desigualdad dentro de los grupos es el que de forma general más contribuye a la desigualdad total, desempeñando un papel relevante en el sector eléctrico (63,45 por ciento) y en el sector industrial (57,30 por ciento). Lo anterior revela que, a nivel regional, el reparto de la responsabilidad sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, procedentes de dichos sectores, es un aspecto que puede suscitar controversia.

Por otro lado, cabe destacar la moderada contribución de dicho componente a la desigualdad existente en el sector transporte (32,14 por ciento) y en el sector transporte por carretera (33,53 por ciento). En este caso, el reparto de la responsabilidad sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> que originan estas actividades dentro de cada región, debería ser ecuánime para todos los países que pertenecen a una misma zona geográfica.

Asimismo, cabe destacar la importancia del componente entre grupos en el sector del transporte (67,86 por ciento) y en el sector del transporte por carretera (66,47 por ciento). El resultado anterior indica que los avances tecnológicos se propagan en dos fases, como se indica en Duro y Padilla (2004). En un primer momento, se difunde esa tecnología baja en emisiones dentro de cada región y, en un segundo período, la transferencia tecnológica se lleva a cabo de una región a otra.

La Tabla 3 muestra la descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos para las regiones del PNUD -África Subsahariana, América

Latina y el Caribe, Asia Meridional, Asia Oriental y Pacífico, Estados Árabes, Europa y Asia Central y la OCDE.

**Tabla 3**

Descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones del PNUD aplicando el índice de Theil

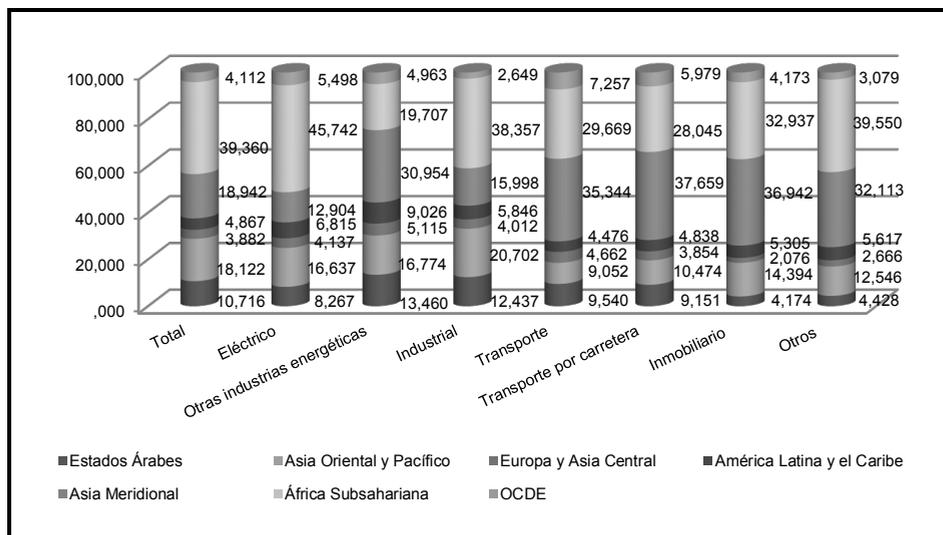
Sector	Estados Árabes	Asia Oriental y Pacífico	Europa y Asia Central	América Latina y el Caribe	Asia Meridional	África Subsahariana	OCDE	T <sub>w</sub>
Total	0,0331	0,0560	0,0120	0,0150	0,0585	0,1216	0,0127	0,3090
Eléctrico	0,0431	0,0867	0,0216	0,0355	0,0673	0,2385	0,0287	0,5213
O. Indust. Energ.	0,0690	0,0860	0,0262	0,0463	0,1587	0,1011	0,0255	0,5128
Industrial	0,0446	0,0743	0,0144	0,0210	0,0574	0,1376	0,0095	0,3587
Transporte	0,0239	0,0226	0,0117	0,0112	0,0884	0,0742	0,0182	0,2502
Tpte. Carretera	0,0243	0,0278	0,0102	0,0128	0,0998	0,0743	0,0158	0,2650
Inmobiliario	0,0169	0,0582	0,0084	0,0215	0,1495	0,1333	0,0169	0,4047
Otros	0,0138	0,0391	0,0083	0,0175	0,1001	0,1233	0,0096	0,3118

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Por su parte, la Figura 5 muestra la contribución (en porcentaje) de cada región al componente de desigualdad dentro de los grupos.

**Figura 5**

Descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones del PNUD aplicando el índice de Theil



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Se puede observar que, a nivel global, las regiones con menor desigualdad interior son Europa y Asia Central (3,88 por ciento), la OCDE (4,11 por ciento) y América Latina y el Caribe (4,87 por ciento). El grado de igualdad observado en Europa y Asia Central se puede asociar a una mayor uniformidad en las estructuras sectoriales de los países que componen dicha región geográfica. Por su parte, la OCDE se caracteriza por estar formada principalmente por países ricos. En este caso, la expansión por toda la región de tecnologías bajas en emisiones puede ser una de las causas que haya atenuado la desigualdad dentro de la misma. A diferencia del grupo de países anterior, la región de América Latina y el Caribe no está compuesta en su mayoría por países ricos, especializados en actividades propias del sector terciario. En su conjunto, dichas actividades suelen demandar una menor cantidad de energía que las actividades industriales. Por tanto, el bajo nivel de desigualdad observado en esta región no implica que las emisiones de CO<sub>2</sub> en valores absolutos hayan disminuido.

Asimismo, la región con mayor desigualdad interna es África Subsahariana (39,36 por ciento). El alto nivel de desigualdad observado en esta región se puede deber a las disparidades en términos de renta que soporta la misma.

Atendiendo al reparto de las emisiones entre los sectores económicos, África Subsahariana y Asia Meridional son las regiones con mayor desigualdad interna. Si bien, África Subsahariana reúne el mayor nivel de concentración observado en este estudio. Concretamente este hecho ocurre en el sector eléctrico donde alcanza un grado de desigualdad del 45,74 por ciento.

Como conclusión, indicar que la mayor desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores se produce en regiones que están formadas por países pobres o en vías de desarrollo.

## **5. ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LA DESIGUALDAD EN LA DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR SECTORES**

En el análisis de desigualdad, llevado a cabo con anterioridad, el componente de desigualdad dentro de los grupos es el que tiene una mayor importancia relativa en la desigualdad total. Sin embargo, en la mayoría de los estudios dedicados a la medición de la desigualdad de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en los que se ha utilizado el índice de Theil (0), se llega a la conclusión de que el componente de desigualdad entre grupos es el componente que tiene mayor capacidad explicativa de la desigualdad total, en comparación con el componente de desigualdad dentro de los grupos (Duro y Padilla, 2006; Padilla y Serrano, 2006).

Dado que cada medida suele enfatizar la concentración existente en un intervalo distinto de la distribución, los resultados obtenidos en los análisis de desigualdad pueden variar en función de qué índice de desigualdad se elija. No

obstante, debido a que en los tres estudios la herramienta de análisis es la misma, se descarta que sea éste el origen de la divergencia.

En consecuencia, la discrepancia en cuanto a los resultados obtenidos se puede deber principalmente a dos hechos. Por un lado, mientras que el resto de autores han empleado como variable el total de emisiones de CO<sub>2</sub>, en este trabajo se estudia la variable “emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores”. Por otro lado, mientras que los otros autores se han inclinado por un análisis temporal, en esta investigación se estudia el comportamiento de la variable en el año 2009.

Con el fin de poder comprobar la veracidad de lo expuesto con anterioridad, el objetivo que se persigue en esta sección es estudiar si el grado de desigualdad -total, entre y dentro de los grupos- depende de la sensibilidad que el índice muestre ante las transferencias de emisiones de CO<sub>2</sub> que se puedan producir en los diferentes tramos de la distribución.

Entre toda la gran variedad de indicadores de desigualdad que se pueden analizar, se elige la familia de índices de entropía generalizada por tres motivos. En primer lugar, porque el índice de Theil pertenece a esta familia de índices; en segundo lugar, porque permite estudiar la sensibilidad del peso de ambos componentes de desigualdad y, por último, y no por ello menos importante, porque posee las propiedades deseables para cualquier medida de desigualdad (Shorrocks, 1982; 1984).

A continuación se muestra la ecuación general del índice de Entropía Generalizada ponderado por la población y donde el parámetro  $\theta$  toma un valor distinto a cero y a uno,

$$GE^{(S)}(\underline{c}) = \frac{1}{\theta^2 - \theta} \left[ \sum_{i=1}^N p_i \left( \frac{c_i}{\bar{c}} \right)^\theta - 1 \right] \text{ para } \theta \neq 0, 1,$$

donde  $c_i$  denota las emisiones de dióxido de carbono per cápita del país  $i$ , esto es,  $c_i = CO_{2i}/N_i$  donde  $N_i$  es la población del país  $i$ ;  $p_i$  representa la proporción de población para el país  $i$  en la población mundial y  $\bar{c}$  es la media mundial de las emisiones de dióxido de carbono per cápita.

El límite inferior del índice es 0 el cual es propio de una distribución equitativa mientras que, en el lado opuesto, la máxima desigualdad viene dada por la expresión  $(n^{\theta-1} - 1)/(\theta^2 - \theta)$  o un valor  $\infty$  cuando  $\theta \leq 0$  (Cowell, 2011).

El parámetro  $\theta$  mide la aversión que la sociedad muestra hacia la desigualdad. En función del valor que adopte  $\theta$ , el índice de desigualdad dará una mayor importancia a las diferencias que se produzcan en ciertos tramos de la distribución de las emisiones de dióxido de carbono. De forma que, a medida que  $\theta$

decrece (crece), el índice se vuelve más sensible a las transferencias en la parte baja (alta) de la distribución<sup>14</sup> (Shorrocks, 1980; Jenkins y Van Kerm, 2009).

El índice de entropía generalizada,  $GE^{(S)}(\underline{c})$ , se puede descomponer de forma aditiva en los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos, según la siguiente expresión,

$$GE^{(S)}(\underline{c}) = GE_B^{(S)}(\underline{c}) + GE_W^{(S)}(\underline{c}), \text{ donde}$$

$$GE_B^{(S)}(\underline{c}) = \frac{1}{\theta^2 - \theta} \left[ \sum_{g=1}^G p_g \left( \frac{\bar{c}_g}{\bar{c}} \right)^\theta - 1 \right]$$

y

$$GE_W^{(S)}(\underline{c}) = \sum_{g=1}^G w_g \cdot GE^{(S)}(\underline{c})_g$$

donde el cálculo de los pesos del índice de desigualdad dentro de los grupos se corresponde con la siguiente expresión,

$$w_g = f_g^\theta \cdot p_g^{1-\theta} \text{ en la cual } f_g = \frac{\bar{c}_g}{\bar{c}} \cdot p_g,$$

siendo,  $GE_B^{(S)}(\underline{c})$  el componente de desigualdad entre los grupos,  $GE_W^{(S)}(\underline{c})$  el componente de desigualdad dentro de los grupos,  $p_g$  la proporción de población asociada a la zona geográfica  $g$ ,  $f_g$  la proporción de las emisiones del grupo  $g$  en las emisiones totales,  $\bar{c}_g$  la media de emisiones de dióxido de carbono per cápita en la región  $g$  y, por último,  $GE^{(S)}(\underline{c})_g$  la desigualdad dentro del grupo  $g$ .

El término  $GE_B^{(S)}(\underline{c})$  indica que todos los países de una región producen la media de las emisiones de CO<sub>2</sub> de esa región, independientemente de cómo se distribuyan internamente las emisiones en cada grupo (Elbers *et al.*, 2004). Sin embargo, el  $GE_W^{(S)}(\underline{c})$  no es, de forma general, una media ponderada de los valores de desigualdad dentro de cada región. Concretamente, dicho componente de desigualdad será una media ponderada de la desigualdad en cada grupo cuando

<sup>14</sup> Por ejemplo, cuando  $\theta = 2$ , el índice da la misma importancia a una transferencia de 10 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> de un país que emite 10 toneladas de emisiones a otro que emite 2 toneladas que a una transferencia de 1 tonelada de emisiones de CO<sub>2</sub> de un país que emite 1 millones de toneladas de emisiones a otro que emite 2 millones de toneladas de emisiones.

$\theta$  tome el valor 0 o 1 siendo, entonces, la suma de las ponderaciones igual a 1. Por tanto, la descomposición anterior permite estudiar la importancia de la dimensión geográfica en el análisis de desigualdad, dada la clara interpretación de ambos componentes.

En este sentido, realizando los cálculos oportunos, el índice de entropía generalizada, mencionado con anterioridad, se transforma en el índice de Theil (0) o desviación media del logaritmo cuando  $\theta \rightarrow 0$  y en el índice de Theil (1) o índice Hirschman-Herfindahl cuando  $\theta \rightarrow 1$ . En la Tabla 4 se muestran las expresiones de la familia de índices de entropía generalizada así como, la descomposición de los mismos en los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos.

**Tabla 4**  
Expresiones de la familia de índices de entropía generalizada

$\theta$	Desigualdad total	Componente de desigualdad entre grupos	Componente de desigualdad dentro de grupos
$\theta \neq 0,1$	$GE^{(S)}(c) = \frac{1}{\theta^2 - \theta} \left[ \sum_{i=1}^N p_i \left( \frac{c_i}{c} \right)^\theta - 1 \right]$	$GE_B^{(S)}(c) = \frac{1}{\theta^2 - \theta} \left[ \sum_{g=1}^G p_g \left( \frac{\bar{c}_g}{c} \right)^\theta - 1 \right]$	$GE_W^{(S)}(c) = \sum_{g=1}^G w_g \cdot GE^{(S)}(c)_g$
$\theta = 0$	$GE^{(S)}(c) = - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \ln \left( \frac{c_i}{c} \right) = \sum_{i=1}^N p_i \cdot \ln \left( \frac{c}{c_i} \right)$	$GE_B^{(S)}(c) = - \sum_{g=1}^G p_g \cdot \ln \left( \frac{\bar{c}_g}{c} \right)$	$GE_W^{(S)}(c) = \sum_{g=1}^G p_g \cdot GE^{(S)}(c)_g$
$\theta = 1$	$GE^{(S)}(c) = \sum_{i=1}^N p_i \cdot \frac{c_i}{c} \cdot \ln \left( \frac{c_i}{c} \right)$	$GE_B^{(S)}(c) = - \sum_{g=1}^G p_g \cdot \frac{\bar{c}_g}{c} \cdot \ln \left( \frac{\bar{c}_g}{c} \right)$	$GE_W^{(S)}(c) = \sum_{g=1}^G f_g \cdot GE^{(S)}(c)_g$

Fuente: Elaboración propia a partir de Cowel, 2011.

Atendiendo a dichas expresiones, se ha replicado el análisis de descomposición de la desigualdad para distintos valores<sup>15</sup> del parámetro  $\theta$ . Con este estudio, se pretende completar la investigación llevada a cabo con anterioridad y analizar la sensibilidad del peso de ambos componentes de desigualdad<sup>16</sup>.

En este sentido, el estudio de la importancia relativa de los componentes de desigualdad en la desigualdad total en función del valor de  $\theta$  muestra que el componente de desigualdad dentro de los grupos sigue siendo el componente que más contribuye a la desigualdad total, para los distintos sectores económicos.

<sup>15</sup> Concretamente, se ha realizado el estudio para  $\theta = -10, \theta = -5, \theta = -2, \theta = -1, \theta = 1, \theta = 2, \theta = 5$  y  $\theta = 10$ .

<sup>16</sup> En el Anexo se muestran los resultados obtenidos en el estudio para  $\theta = -1$  y  $\theta = 2$ , respectivamente.

Asimismo, aun cuando  $\theta$  toma distintos valores, el componente de desigualdad entre grupos representa un porcentaje significativo en la desigualdad total en todos los sectores económicos. Lo anterior pone de manifiesto que la desigualdad entre regiones es un componente que no se debe despreciar siendo la dimensión geográfica un aspecto a tener en cuenta en los análisis de desigualdad en la distribución mundial de emisiones de dióxido de carbono por sectores.

Cabe destacar que, a medida que el índice da más importancia a las transferencias en la parte alta de la distribución, el componente de desigualdad entre grupos contribuye en mayor medida a la desigualdad total.

De igual modo, se observan unos patrones de comportamiento seguidos por todos los sectores económicos y por el total de los mismos. Por un lado, cabe destacar que, cuando  $\theta = 1$ , el componente de desigualdad entre grupos alcanza su mayor importancia relativa en la desigualdad total. Por otro lado, dado que el efecto de este componente es prácticamente residual cuando  $\theta = 10$  y  $\theta = -10$ , se puede atribuir, entonces, el cien por cien de la desigualdad total al componente de desigualdad dentro de los grupos.

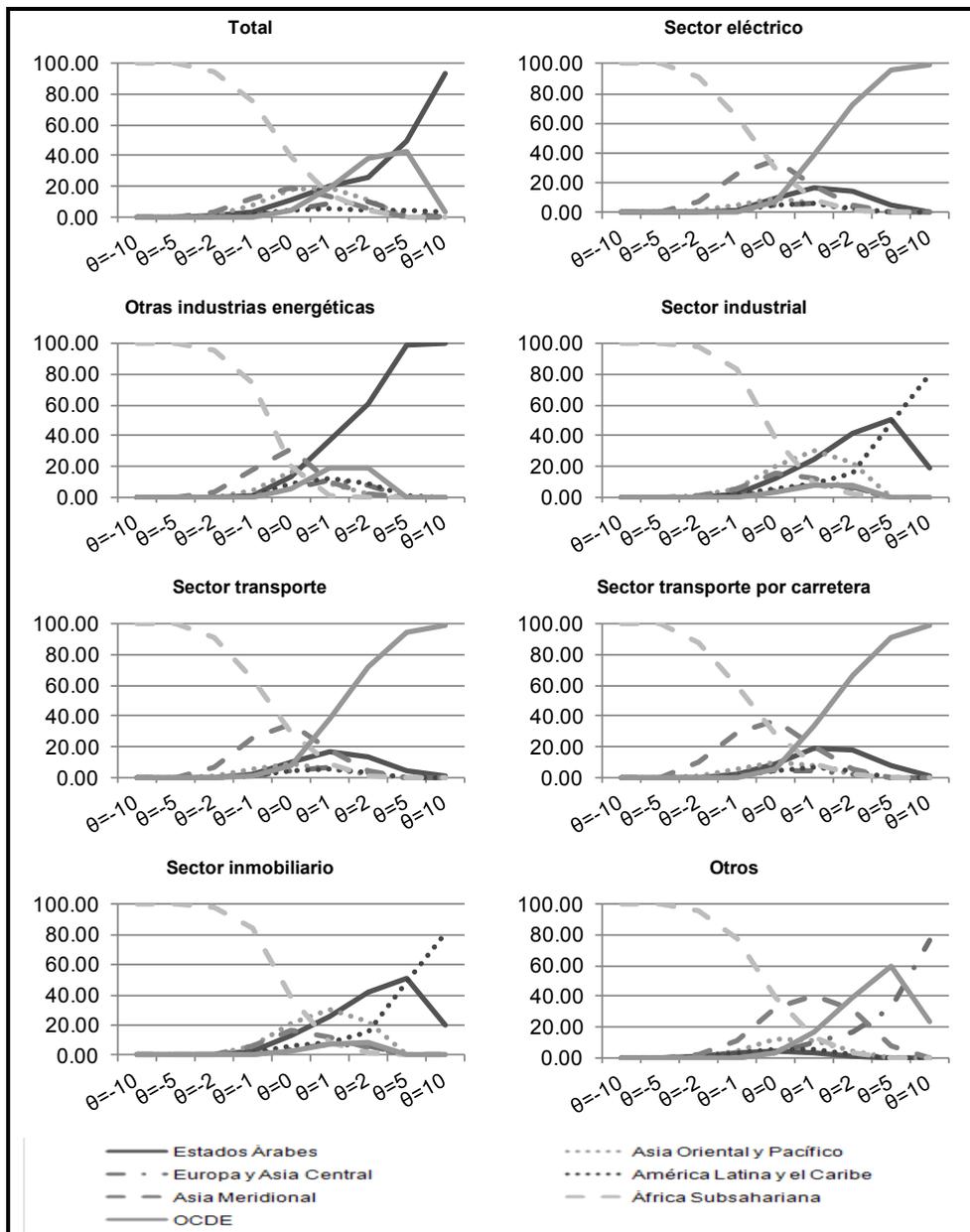
La Figura 6 muestra la descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones del PNUD en función del valor de  $\theta$ . Con los resultados de la Figura 6 se pretende estudiar qué tipo de países -los países que más emisiones de CO<sub>2</sub> producen o los que menos- son los que más contribuyen a la desigualdad. En este sentido, por ejemplo, cuando  $\theta$  tome el valor 0, el índice será más sensible a las transferencias en la parte baja de la distribución y, por tanto, un valor alto del mismo dará evidencia de la existencia de alta desigualdad entre los países con un nivel bajo de emisión.

De este modo, la región de África Subsahariana destaca por ser la única zona geográfica que tiene un alto grado de desigualdad interior cuando  $\theta = -10$ , es decir, cuando se da una mayor importancia a las transferencias de la parte baja de la distribución. En otras palabras, esta región muestra un alto grado de desigualdad entre los países que menos emisiones de dióxido de carbono producen, probablemente por la existencia de muchos países enormemente pobres cuya actividad económica esté basada en sectores que producen un nivel ínfimo de emisiones de CO<sub>2</sub>, en comparación con el resto de países que conforman dicha región.

En el lado opuesto, cabe destacar que los Estados Árabes y la OCDE son las regiones que muestran una mayor desigualdad de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre los países que más emisiones generan que entre los países que menos emisiones producen ( $GE_{-10}(\underline{c}) < GE_{10}(\underline{c})$ ).

**Figura 6**

Descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones del PNUD función del valor de  $\theta$



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la IEA.

Por su parte, la región de Europa y Asia Central muestra unos niveles de desigualdad interna muy bajos en todos los sectores estudiados, salvo en el aglomerado “otros sectores” donde se incrementa de forma considerable.

En cuanto a las regiones de Asia Oriental y Pacífico, América Latina, y el Caribe y Asia Meridional se puede observar que existe un bajo grado de concentración en ambas colas de la distribución. Esto se puede interpretar como un fenómeno de interdependencia sectorial dentro de cada región que puede haber contribuido a una reducción de la desigualdad de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los países que conforman una misma zona geográfica.

Los resultados previos ponen de manifiesto la complejidad que conlleva el estudio de la desigualdad en las emisiones de dióxido de carbono por sectores y la necesidad de tener en cuenta todos los indicadores disponibles para poder definir dicho fenómeno de forma exacta.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo se estudia la desigualdad en la distribución mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en el año 2009, utilizando los datos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía.

La distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores revela que, en el año 2009, el sector eléctrico ha sido con diferencia el mayor generador de emisiones, siendo el sector industrial el segundo sector más contaminante. Asimismo, el análisis descriptivo ilustra que dicha distribución es asimétrica en todos los sectores.

El análisis de desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de los distintos sectores económicos se ha llevado a cabo, en primer lugar, empleando la segunda medida del índice de Theil ya que, puede ser descompuesta de manera sencilla en los componentes de desigualdad entre y dentro de los grupos.

El anterior análisis muestra que el sector industrial es el sector con menor desigualdad en la distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub>; por el contrario, el sector con mayor desigualdad es el aglomerado “otras industrias energéticas”, seguido del sector eléctrico.

La importancia del componente “entre grupos” en el sector transporte y en el sector transporte por carretera indica que los avances tecnológicos se propagan, en un primer momento, dentro de las regiones y, en un segundo momento, de una región a otra, como se indica en Duro y Padilla (2004).

Los resultados muestran que el componente de desigualdad “dentro de los grupos” desempeña un papel muy importante en el sector eléctrico y en el sector industrial. Lo anterior revela que, a nivel regional, el reparto de la responsabilidad sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de dichos sectores, es un aspecto que puede suscitar controversia.

En cuanto a la contribución de cada región a la generación del componente de desigualdad dentro de los grupos, se puede observar que, a nivel global, las regiones con menor desigualdad interior son Europa y Asia Central, la OCDE y América Latina y el Caribe. Por el contrario, el alto nivel de desigualdad observado en África Subsahariana se puede deber a las disparidades en términos de renta que soporta dicha región.

En segundo lugar, se ha pretendido profundizar en el estudio de la descomposición de la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores, empleando la familia de índices de entropía generalizada. Dicho análisis permite estudiar la sensibilidad del peso de ambos componentes de desigualdad. Los resultados obtenidos muestran que el componente de desigualdad dentro de los grupos sigue siendo el componente con una mayor importancia relativa a pesar de las variaciones experimentadas por el parámetro  $\theta$ .

Si bien, el peso significativo del componente de desigualdad entre grupos en la desigualdad total, aun cuando  $\theta$  toma distintos valores, pone de manifiesto que la dimensión geográfica es un aspecto a tener en cuenta en los análisis de desigualdad en la distribución mundial de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Con la descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos, para distintos valores del parámetro  $\theta$ , se ha pretendido estudiar qué tipo de países son los que más contribuyen a la desigualdad en cada una de las regiones contempladas por el PNUD.

De este modo, la región de África Subsahariana destaca por presentar un alto grado de desigualdad interna entre los países que menos emisiones producen, probablemente, por la existencia de muchos países enormemente pobres que a su vez basan su economía en sectores primarios que producen pocas emisiones.

En el lado opuesto, cabe destacar que los Estados Árabes y la OCDE son las regiones que muestran una mayor desigualdad de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre los países que más emisiones generan.

Asimismo, el bajo grado de concentración en ambas colas de la distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> que presentan las regiones de Asia Oriental y Pacífico, América Latina, y el Caribe y Asia Meridional se puede interpretar como un fenómeno de interdependencia sectorial dentro de cada región. Dicha dependencia es la que puede haber contribuido a una reducción de la desigualdad de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los países que conforman una misma zona geográfica.

Ambos estudios muestran que los países en vías de desarrollo son los que poseen un mayor grado de desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores. Por tanto, teniendo en cuenta las aportaciones de Duro y Padilla (2006)<sup>17</sup>, se

---

<sup>17</sup> En el trabajo de Duro y Padilla (2006) se analizan los factores que pueden explicar la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita entre países, entre grupos de países y dentro de los grupos de países.

recomienda, en términos de política económica, el empleo de instrumentos que estimulen el crecimiento económico de los países más desfavorecidos y, en consecuencia, disminuyan la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita existente en dichas regiones.

Sin embargo, dado que para frenar el cambio climático no es necesaria la igualdad en las emisiones de dióxido de carbono sino, la reducción y control de las mismas, será preciso que las políticas ambientales implementadas cumplan un doble objetivo. Por un lado, dichas medidas deben permitir el crecimiento económico de las economías en desarrollo y, por otro lado, deben estabilizar el número de emisiones a nivel global.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ALCÁNTARA, V. y DURO, J.A. (2004): "Inequality of energy intensities across OECD countries: a note" en *Energy Policy*, 32: pp. (1257-1260).
- ATKINSON, A. B. (1970): "On the Measurement of Inequality" en *Journal of Economic Theory*, 2: pp. (244-263).
- BOURGUIGNON, F. (1979): "Decomposable Income Inequality Measures" en *Econometrica*, 47: pp. (901-920).
- CÁMARA SÁNCHEZ, A., FLORES GARCÍA, M. y FUENTES SAGUAR P.D. (2011): "Análisis económico y medioambiental del sector eléctrico en España" en *Estudios de Economía Aplicada*, 29-2: pp. (493-514).
- COWELL, F. A. (1998): "Intermediate and other Inequality Measures" en *Distributional Analysis Discussion Paper*, 42: *STICERD, London School of Economics*, London WC2A 2AE.
- COWELL, F. A. (2011): *Measuring Inequality* (Third ed.), Oxford: Oxford University Press.
- COWELL, F.A. y JENKINS, S.P. (1995): "How Much Inequality Can We Explain? A Methodology and an Application to the United States" en *Economic Journal*, 105: pp. (421-30).
- DAVIES, J. B. y SHORROCKS, A. F. (1978): "Assessing the Quantitative Importance of Inheritance in the Distribution of Wealth" en *Oxford Economic Papers*, 30: pp. (138-149).
- DURO, J. A. (2003): "Factor decomposition of spatial income inequality: a revision", Working Paper, 03.02, *Departamento de Economía Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona*.

- DURO, J.A. y PADILLA, E. (2006): "International Inequalities in per capita CO<sub>2</sub> emissions: a decomposition methodology by Kaya factors" en *Energy Economics*, 28: pp. (170-187).
- DURO, J.A. y PADILLA, E. (2008): "Analysis of the international distribution of per capita CO<sub>2</sub> emissions using the polarization concept" en *Energy Policy*, 36: pp. (456-466).
- ELBERS, C.; LANJOUW, P.; MISTIAEN, J.A.; ÔZLER, B. y SIMLER, K. (2004): "On the Inequal Inequalities of Poor Communities" en *The World Bank Economic Review*, 18(3): pp. (401-421).
- ESTEBAN, L. FEIJOÓ, M. y HERNÁNDEZ, J.M. (2003): "Eficiencia energética y regulación de la industria española ante el cambio climático" en *Estudios de Economía Aplicada*, 21-2: pp. (259-282).
- ESTEBAN, J. y RAY, D. (1994): "On the measurement of polarization" en *Econometrica*, 62: pp. (819-852).
- GRADÍN, C. (2000): "Polarization by sub-population in Spain 1973-91" en *Review of Income and Wealth*, 46: pp. (457-474).
- GROOT, L. (2010): "Carbon Lorenz curves" en *Resource and Energy Economics*, 32: pp. (45-64).
- HEDENUS, F. y AZAR, C. (2005): "Estimates of trends in global income and resource inequalities" en *Ecological Economics*, 55: pp. (351-364).
- HEIL, M.T. y WODON, Q.T. (1997): "Inequality in CO<sub>2</sub> emissions between poor and rich countries" en *Journal of Environment and Development*, 6: pp. (426-452).
- HEIL, M.T. y WODON, Q.T. (2000): "Future inequality in CO<sub>2</sub> emissions and the impact of abatement proposals" en *Environmental and Resource Economics*, 17: pp. (163-181).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2010): *Perspectivas sobre tecnología energética 2010*, OCDE, Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2011a): *World Energy Outlook 2011*, OCDE, Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2011b): *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Highlights 2011 Edition*, OCDE, Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2011c): *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion*, OCDE, Paris.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1997): "Greenhouse Gas Inventory Workbook en Houghton". En J.T. *et al.*, (eds.): *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2*, United Kingdom Meteorological Office, Bracknell.
- JENKINS, S. P. y VAN KERM, P. (2009): "The measurement of economic inequality". En Salverda, W., Nolan, B. y T. M. Smeeding (eds.): *The Oxford handbook of economic inequality* (pp. 40-67). Oxford: Oxford University Press.

- LAMBERT, P.J. (1993): *The Distribution and Redistribution of Income: A Mathematical Analysis*. Manchester: Manchester University Press.
- NAVARRO ESPIGARES, J. L. y HERNÁNDEZ TORRES, E. (2004): "Distribución y redistribución de la renta en la literatura española reciente" en *Estudios de Economía Aplicada*, 22-1: pp. (29-65).
- PADILLA, E. y SERRANO, A. (2006): "Inequality in CO<sub>2</sub> emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach" en *Energy Policy*, 34: pp. (1762-1772).
- SEN, A. (1973): *On Economic Inequality*. Oxford: Clarendon Press.
- SEN, A. (1997): "On Economic Inequality After a Quarter Century" en *On Economic Inequality*. Oxford: Clarendon Press.
- SHORROCKS, A. F. (1980): "The Class of Additively Decomposable Inequality Measures" en *Econometrica*, 48: pp. (613-625).
- SHORROCKS, A. F. (1982): "Inequality decomposition by factor components" en *Econometrica*, 50: pp. (193-211).
- SHORROCKS, A. F. (1984): "Inequality decomposition by population sub-groups" en *Econometrica*, 52: pp. (1369-1386).
- SUN, J.W. (2002): "The decrease in the difference of energy intensities between OECD countries from 1971 to 1998" en *Energy Policy* 30: pp. (631-635).
- THEIL, H. (1967): *Economics and Information Theory*. Amsterdam: North-Holland.
- WOLFSON, M. (1994): "When Inequalities Diverge" en *American Economic Review*, 84(2): pp. (353-358).
- WOLFSON, M. (1997): "Divergent inequalities: Theory and Empirical results" en *The Review of Income and Wealth*, 43: pp. (401-422).
- WORLD BANK (2002): *World Development Report*, World Bank, Washington, DC.
- YITZHAKI, S. y LERMAN, R.I. (1991): "Income stratification and income inequality" en *Review of Income and Wealth*, 37: pp. (313-329).

## APÉNDICE

**Tabla A.1**

Clasificación de países analizados, atendiendo a las regiones contempladas por el PNUD

África Subsahariana	América Latina y el Caribe	Asia Meridional	Asia Oriental y Pacífico	Estados Árabes	Europa y Asia Central	OCDE
Angola	Antigua y Barbuda*	Afganistán*	Camboya	Arabia Saudita	Albania	Alemania
Benín	Argentina	Bangladesh	China	Argelia	Armenia	Australia
Botsuana	Bahamas*	Bhután*	Corea, Rep.de*	Barhein	Azerbaiyán	Austria
Burkina Faso*	Barbados*	India	Fiji*	Djibouti*	Bielorrusia	Bélgica
Burundi*	Belice*	Irán	Filipinas	Egipto	Bosnia y Herzegovina	Canadá
Cabo Verde*	Bolivia	Maldivas*	Indonesia	Emiratos Árabes Unidos	Bulgaria	Corea, Rep. De
Camerún	Brasil	Nepal	Islas Marshall*	Iraq	Chipre	Dinamarca
Chad*	Chile	Pakistán	Islas Salomón*	Jordania	Croacia	España
Comoras*	Colombia	Sri Lanka	Lao, Rep. Dem. Popular*	Kuwait	Eslovaquia	Estados Unidos
Congo	Costa Rica		Kiribati*	Libano	Eslovenia	Finlandia
Costa de Marfil	Cuba		Malasia	Libia	Estonia	Francia
Eritrea	Dominica*		Micronesia*	Marruecos	Georgia	Grecia
Etiopía	Ecuador		Mongolia	Omán	Hungría	Irlanda
Gabón	El Salvador		Myanmar	Qatar	Kazajistán	Islandia
Gambia*	Granada*		Nauru*	Somalia*	Kirguistán	Italia
Ghana	Guatemala		Palau*	Siria	Letonia	Japón
Guinea*	Guyana*		Papúa Nueva Guinea*	Sudán	Lituania	Luxemburgo
Guinea-Bissau*	Haití		Samoa*	T. Palestinos Ocupados*	Macedonia (ERY)	Noruega
Guinea Ecuatorial*	Honduras		Tailandia	Túnez	Moldavia	Nueva Zelanda
Kenia	Jamaica		Timor Oriental*	Yemen	Montenegro*	Países Bajos
Lesoto*	México		Tonga*		Polonia	Portugal
Liberia*	Nicaragua		Tuvalu*		República Checa	Reino Unido
Madagascar*	Panamá		Vanuatu*		Rumania	República Checa*
Malawi*	Paraguay		Viet Nam		Rusia	Suecia
Mali*	Perú				Serbia	Suiza
Mauricio*	República Dominicana				Tayikistán	
Mauritania*	Saint Kitts y Nevis*				Turkmenistán	
Mozambique	Santa Lucía*				Turquía	
Namibia	San Vicente y las Granadinas*				Ucrania	
Níger*	Suriname*				Uzbekistán	
Nigeria	Trinidad y Tobago					
Rep. Centroafricana*	Uruguay					
Rep. Dem. del Congo	Venezuela					
Ruanda*						
Santo Tome y Príncipe*						
Senegal						
Seychelles*						
Sierra Leona*						
Sudáfrica						
Suazilandia*						
Tanzania						
Togo						
Uganda*						
Zambia						
Zimbabue						

(\*) Países no incluidos en el análisis por falta de datos.

Fuente: PNUD, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

**Tabla A.2**

Descomposición de la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en los componentes entre y dentro de grupos para las regiones del PNUD cuando  $\theta = -1$

Sector	T(C)	T <sub>w</sub> (C)	T <sub>B</sub> (C)	(T <sub>w</sub> (C)/T(C)) (%)	(T <sub>B</sub> (C)/T(C)) (%)
Total	2,4646	2,0518	0,4127	83,25	16,75
Eléctrico	84,2393	83,8343	0,4050	99,52	0,48
Otras industrias energéticas	13,9589	13,1373	0,8216	94,11	5,89
Industrial	4,3244	3,8541	0,4703	89,12	10,88
Transporte	2,1093	1,4087	0,7006	66,79	33,21
Transporte por carretera	2,0797	1,4029	0,6768	67,46	32,54
Inmobiliario	4,4565	3,9784	0,4782	89,27	10,73
Otros	2,5493	2,0707	0,4786	81,23	18,77

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la IEA.

**Tabla A.3**

Descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones del PNUD cuando  $\theta = -1$

Sector	Estados Árabes	Asia Oriental y Pacífico	Europa y Asia Central	América Latina y el Caribe	Asia Meridional	África Subsahariana	OCDE	T <sub>w</sub> (C)
Total	0,0608	0,1475	0,0134	0,0345	0,2481	1,5424	0,0053	2,0518
Eléctrico	0,1347	0,4090	0,0515	0,1776	9,0052	74,0361	0,0203	83,8343
Otras industrias energéticas	0,1256	0,5311	0,1297	0,1673	2,3474	9,8251	0,0111	13,1373
Industrial	0,0935	0,2157	0,0187	0,0649	0,2255	3,2294	0,0064	3,8541
Transporte	0,0268	0,0740	0,0201	0,0157	0,3669	0,9001	0,0051	1,4087
Transporte por carretera	0,0242	0,0794	0,0195	0,0189	0,4146	0,8419	0,0044	1,4029
Inmobiliario	0,0581	0,3618	0,0070	0,0588	0,3474	3,1345	0,0109	3,9784
Otros	0,0716	0,0997	0,0058	0,0547	0,2336	1,6015	0,0039	2,0707

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la IEA.

**Tabla A.4**

Descomposición de la desigualdad en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en los componentes entre y dentro de grupos para las regiones del PNUD cuando  $\theta = 2$

Sector	T(C)	T <sub>w</sub> (C)	T <sub>B</sub> (C)	(T <sub>w</sub> (C)/T(C)) (%)	(T <sub>B</sub> (C)/T(C)) (%)
Total	0,5270	0,2194	0,3076	41,63	58,37
Eléctrico	0,5825	0,2995	0,2831	51,41	48,59
Otras industrias energéticas	1,4574	1,1051	0,3523	75,83	24,17
Industrial	0,4620	0,2930	0,1691	63,41	36,59
Transporte	1,0606	0,3616	0,6989	34,10	65,90
Transporte por carretera	1,0648	0,3545	0,7104	33,29	66,71
Inmobiliario	0,7747	0,2807	0,4940	36,23	63,77
Otros	0,7085	0,2047	0,5037	28,90	71,10

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la IEA.

**Tabla A.5**  
Descomposición del componente de desigualdad dentro de los grupos en las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores para las regiones del PNUD cuando  $\theta = 2$

Sector	Estados Árabes	Asia Oriental y Pacífico	Europa y Asia Central	América Latina y el Caribe	Asia Meridional	África Subsahariana	OCDE	T <sub>w</sub> (C)
Total	0,0567	0,0241	0,0229	0,0084	0,0122	0,0103	0,0849	0,2194
Eléctrico	0,0547	0,0385	0,0460	0,0031	0,0044	0,0229	0,1298	0,2995
Otras industrias energéticas	0,6753	0,0194	0,0870	0,0975	0,0176	0,0004	0,2080	1,1051
Industrial	0,1217	0,0657	0,0181	0,0443	0,0144	0,0046	0,0242	0,2930
Transporte	0,0502	0,0061	0,0127	0,0102	0,0159	0,0049	0,2616	0,3616
Transporte por carretera	0,0635	0,0085	0,0083	0,0134	0,0205	0,0056	0,2347	0,3545
Inmobiliario	0,00596	0,00913	0,02724	0,00633	0,12246	0,00665	0,10292	0,2807
Otros	0,0022	0,0090	0,0347	0,0052	0,0655	0,0070	0,0810	0,2047

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de la IEA.