

# Departament d'Economia Aplicada

La desigualdad en las intensidades  
energéticas y la composición de la  
producción. Un análisis para los países  
de la OCDE

Juan Antonio Duro Moreno  
Vicent Alcantara Escolano  
Emilio Padilla Rosa

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

09.05



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials

Aquest document pertany al Departament d'Economia Aplicada.

Data de publicació : **Maig 2009**

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

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

# **La desigualdad en las intensidades energéticas y la composición de la producción. Un análisis para los países de la OCDE<sup>1</sup>**

Juan Antonio Duro Moreno<sup>a</sup>, Vicent Alcántara Escolano<sup>b</sup> y Emilio Padilla Rosa<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Economía, Universidad Rovira i Virgili

<sup>b</sup> Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona

## **RESUMEN**

Esta investigación analiza las desigualdades de las intensidades energéticas entre países de la OCDE, su evolución y sus causas. Estas intensidades constituyen uno de los principales factores determinantes de las emisiones per cápita y, por tanto, de las diferencias que se dan entre países y grupos de países. Se desarrolla una metodología que permite la descomposición de la desigualdad en los consumos de energía per cápita en factores explicativos, además de analizar la contribución de diferentes grupos de países. Destaca que, si bien las diferencias en afluencia económica son el factor más relevante en la explicación las desigualdades en el consumo energético per cápita, la desigualdad en intensidad energética juega un papel prominente en su reducción en el periodo analizado. A continuación, se desarrolla una metodología que permite determinar la importancia de las diferentes

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido financiado por el Instituto de Estudios Fiscales, Ministerio de Hacienda. Los autores también agradecen el apoyo del proyecto SEJ2006-04444 del Ministerio de Ciencia e Innovación y los proyectos autonómicos 2005SGR-177 y XREPP.

estructuras productivas y de las diferencias en eficiencia energética en el mayor o menor uso de energía por unidad de PIB en los diferentes países y grupos de países. Los resultados muestran que la especialización productiva gana peso en la explicación de las desigualdades en las intensidades energéticas, mientras que se da una importante tendencia a la igualación de la eficiencia energética entre países sector a sector. Esta tendencia explicaría, a su vez, el peso decreciente de la intensidad energética como factor explicativo de las desigualdades en consumos energéticos.

**Códigos JEL:** C69, D39, Q43.

**Palabras clave:** análisis *shift-share*, composición sectorial, eficiencia energética, desigualdades entre países, desigualdades entre regiones, intensidad energética.

## 1. Introducción

La intensidad energética (energía utilizada por unidad de PIB) constituye uno de los principales factores explicativos del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. En la conocida identidad de Kaya, ampliamente utilizada para analizar los principales factores determinantes de la evolución de las emisiones per cápita a lo largo del tiempo, entra como uno de los tres factores determinantes, de manera multiplicativa, junto al índice de carbonización (el contenido de carbono del combustible) y la afluencia (típicamente el PIB per cápita) (véase p. ej., Duro y Padilla, 2006).

Diversos autores han discutido sobre la mayor o menor importancia de la intensidad energética o el índice de carbonización para explicar las diferentes emisiones y su evolución (véase Alcántara y Roca, 2002). Mielnik y Goldemberg (1999) cuestionan la mayor importancia que, según ellos, se ha dado a la intensidad energética y destacan el hecho de que la intensidad energética sigue un patrón histórico más definido, mientras que el índice de carbonización tendría un comportamiento con mayor variabilidad y, por tanto, explicaría mejor las diferencias a lo largo del tiempo entre países. No obstante, Ang (1999) insiste en la mayor importancia de la intensidad energética. Según Alcántara y Padilla (2005), y sin que ello sea generalizable, los datos muestran que la variabilidad entre las grandes regiones del mundo consideradas en su estudio es mucho mayor en el caso de la intensidad energética que en el caso del índice de carbonización. Con datos de la AIE para 2001, el coeficiente de variación era del 45,64% en el primer caso frente a un 17,44% en el segundo. La intensidad energética para ese año oscilaba entre el valor de 628,02 toneladas de energía primaria en equivalente de petróleo por millón de dólares de la exURSS, a las 170,68 de Latinoamérica (3,67 veces más energía por unidad de PIB en la exURSS). El resultado refuerza la importancia de la intensidad energética en explicar la intensidad en emisiones de distintos países y por tanto el interés de estudiar los factores causantes de estas diferencias en sus intensidades energéticas.

Existen diversos estudios que analizan la evolución y las diferencias internacionales en la intensidad energética. Alcántara y Duro (2004) y Sun (2002), por ejemplo, analizan la disminución en la desigualdad en la intensidad

energética entre los países de la OCDE. Sun (2002) lo hace mediante un análisis de las desviaciones respecto a la media; mientras que en el caso de Alcántara y Duro (2004) se utiliza el índice de Theil, lo que permite ponderar las observaciones en función de su PIB, dando mayor importancia a los países con mayor participación en la producción total. Por otro lado, Miketa y Mulder (2005) analizan la convergencia en la productividad de la energía de 56 países en 10 sectores manufactureros, encontrando que se tienden a reducir las diferencias en las intensidades de estos sectores entre algunos países. Greening et al. (1997) comparan 6 métodos diferentes de descomposición para analizar la evolución de la intensidad energética de la industria en 10 países de la OCDE. En su estudio encuentran que la mayoría de cambios en la intensidad energética, que tiende a reducirse, podrían ser explicados por cambios en la intensidad energética de sectores individuales, más que por cambios en la composición sectorial de la producción.

La magnitud de la intensidad energética y de las diferencias que se dan entre países se asocia con la estructura sectorial, sesgada en mayor o menor grado hacia actividades más o menos consumidoras de energía, y con el grado de eficiencia energética. El estudio del papel de cada uno de los factores que influyen sobre las diferencias en las intensidades energéticas, tanto en términos estáticos como evolutivos, es de utilidad por sus implicaciones para las políticas públicas orientadas a reducir el consumo de energía —en su mayor parte aún proveniente de recursos no renovables que tienden a ser más escasos— y mitigar las emisiones contaminantes. Así, si el peso mayor se atribuye al componente estructural (sectorial), la reducción de las disparidades

en intensidades energéticas pasaría por el fomento de la convergencia en estructuras productivas, lo que, según diversas teorías, podría tardar en producirse. De otra manera, en caso de tener un papel significativo la eficiencia energética, esto llevaría a la prioridad de arbitrar, desde las administraciones, medidas de ahorro de corte (sectorialmente) transversal, dado el potencial de ahorro energético mediante medidas de eficiencia que existiría en los países con menor eficiencia energética.

En este trabajo se evalúa el peso de ambos factores como elementos explicativos de las disparidades en intensidades energéticas, entendiendo que los resultados pueden ser de utilidad para contribuir al diseño de las políticas reductoras del consumo de energía (y las emisiones de CO<sub>2</sub>). Para ello, se ha desarrollado un método *shift-share*, basado en el empleado por Esteban (2000) en su análisis de la productividad regional europea, que permite obtener de forma separada tres componentes analíticos: el estructural, ligado a la particular composición productiva del país; el diferencial, asociada al consumo energético específico de un país en cada rama; y, finalmente, un factor de interacción, que recogería el grado en el que el país está especializado en los sectores que en los que consume más energía por unidad de producción que el promedio de países. El análisis se ha aplicado al estudio de países de la OCDE, con una muestra que concentra casi la mitad del consumo de energía final y PIB mundial, para los cuales disponíamos de datos sectoriales referentes a consumos energéticos y PIB.

El trabajo se organiza de la forma siguiente. En la segunda sección se analiza el papel explicativo de las intensidades energéticas y el de la afluencia sobre las diferencias en consumos de energía per cápita, a partir de una descomposición multiplicativa del índice de Theil. En la tercera sección se descomponen las disparidades en intensidades energéticas para los países OCDE a partir de la aplicación de un método *shift-share*. El último apartado sintetiza las principales conclusiones obtenidas.

## **2. Las intensidades energéticas y las disparidades en consumos energéticos en los países de la OCDE**

Para evaluar de una forma sintética la importancia de las intensidades energéticas como elementos explicativos de las desigualdades en los consumos energéticos per cápita desarrollamos a continuación una adaptación para el caso del método de descomposición sugerido en Duro y Padilla (2006).

En primer lugar, tomamos como referencia un sencillo desglose bifactorial del consumo de energía per cápita de la manera siguiente:

$$\frac{E_{it}}{P_{it}} = \frac{E_{it}}{Y_{it}} * \frac{Y_{it}}{P_{it}} ; c_{it} = e_{it} * y_{it} \quad (1)$$

donde  $E_{it}$  es el consumo de energía correspondiente al país  $i$  en el momento  $t$ ;  $P_{it}$  es la población total;  $Y_{it}$  es el PIB;  $c$  es, por tanto, el consumo energético per cápita;  $e$  es el consumo por unidad de PIB (intensidad energética);  $y$  es el PIB per cápita (índice de afluencia económica).

Consecuentemente, los niveles de consumo per cápita, y sus incrementos, dependen tanto del factor intensidad energética, como de la afluencia (PIB per cápita).

En segundo lugar, y para esclarecer el papel de ambos factores en la explicación de las desigualdades globales en los consumos energéticos, se definen dos vectores hipotéticos de consumos, dejando que, en cada vector, sólo los valores de uno de los factores incluidos en (1) diverjan de la media. Así, tendríamos lo siguientes factores ficticios:

$$\begin{aligned} c_{it}^e &= e_{it} * \bar{y}_t \\ c_{it}^y &= \bar{e}_t * y_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

donde  $\bar{e}_t$ ,  $\bar{y}_t$  son las medias de los países de la muestra en el año t.

En este contexto, está demostrado (véase Duro y Padilla, 2006) que la aplicación del índice de Theil (Theil, 1967)<sup>2</sup> como índice de desigualdad de

---

<sup>2</sup> El índice de Theil ha sido utilizado en diversos trabajos sobre distribución y medio ambiente (véase, p. ej., Alcántara y Duro, 2004; Duro y Padilla, 2006; Padilla y Serrano, 2006). Sus ventajas analíticas se destacan p. ej, en Cowell (1995). Una de sus ventajas es que al ser una función logarítmica permite descomponer de manera aditiva una serie de factores multiplicativos.

referencia permite descomponer las desigualdades globales en los consumos per cápita,  $T(c,p)$ , en tres factores:

$$T(c,p) = T(c^e, p) + T(c^y, p) + \log\left(1 + \frac{\sigma_{e,y}}{\bar{c}_e}\right) \quad (3)$$

Donde  $\sigma_{e,y}$  es la covarianza entre los dos factores y  $\bar{c}_e$  es el promedio del primer factor ficticio<sup>3</sup>.

De esta forma, la desigualdad total puede descomponerse, de manera perfecta, en dos índices, que reflejarían la contribución parcial de cada uno de los factores a la desigualdad global, y un último factor de interacción que recogería la correlación interfactorial. Nótese que, bajo este enfoque, la importancia atribuible a cada factor puede percibirse como la cantidad de desigualdad que persistiría si sólo se permitiera que variara entre países el factor examinado, mientras que se iguala a la media de la muestra el otro factor. El tercer factor recoge el efecto de la interacción conjunta de ambos factores sobre las disparidades globales. De esta manera, el efecto global atribuible a cada componente procedería de su contribución parcial más este efecto indirecto. Un signo positivo indicaría que ambos factores tienden a reforzarse aumentando, o en su caso disminuyendo, la desigualdad. Un signo negativo implicaría efectos

<sup>3</sup> Por otra parte, obsérvese que si  $\frac{\sigma_{e,y}}{\bar{c}_e}$  es suficientemente pequeño, el componente de

interacción se puede aproximar a la expresión  $\frac{\sigma_{e,y}}{\bar{c}_e}$ .

de compensación entre ambos factores. En otras palabras, un signo positivo del factor interacción indica hasta qué punto los países con mayor intensidad energética tienden a ser también los que tienen mayor PIB per cápita, reforzándose ambas desigualdades.

Esta metodología de descomposición puede, además, extenderse para analizar los componentes de la desigualdad inter e intragrupal. Así, otra característica del índice Theil es que también puede descomponerse por subgrupos de población de la siguiente forma (Theil, 1967; Shorrocks, 1980):

$$T(c) = \sum_{g=1}^G p_g T(c)_g + \sum_{g=1}^G p_g * \ln\left(\frac{\bar{c}}{c_g}\right) \quad (4)$$

donde  $p_g$  es el ratio de población del grupo  $g$ ;  $T_g$  denota la desigualdad interna en el grupo  $g$ ;  $c_g$  representa las emisiones de CO<sub>2</sub> 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 de manera multiplicativa como en (3). El segundo término —el componente intergrupal— es justo un índice de Theil ponderado por población y, por tanto, la aplicación de nuestra metodología también es directa.

La Tabla 1 muestra los resultados de descomponer las desigualdades en consumos energéticos per cápita en los dos factores —siguiendo la

descomposición multiplicativa del índice de Theil que se ha planteado—, para varios años seleccionados del período 1980-2006 y países OCDE<sup>4</sup>. Los datos proceden de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

**Tabla 1: Papel de las Intensidades Energéticas en la explicación de las disparidades en consumos energéticos entre países OCDE**

	<b>Disparidades Consumos Energéticos</b>	<b>Intensidades Energéticas</b>	<b>Afluencia</b>	<b>Interacción</b>
<b>1980</b>	0,2025	0,0652 (32,2%)	0,0908 (44,8%)	0,0465 (22,9%)
<b>1985</b>	0,1820	0,0538 (29,6%)	0,0974 (53,5%)	0,0308 (16,9%)
<b>1990</b>	0,1588	0,0417 (26,3%)	0,1017 (64,0%)	0,0154 (9,7%)
<b>1995</b>	0,1551	0,0347 (22,4%)	0,1053 (67,9%)	0,0151 (9,7%)
<b>2000</b>	0,1526	0,0257 (16,9%)	0,1023 (67,0%)	0,0246 (16,1%)
<b>2006</b>	0,1315	0,0192 (14,6%)	0,0941 (71,6%)	0,0182 (13,9%)

---

<sup>4</sup> Los países incluidos son: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Corea, Luxemburgo, México, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, República Eslovaca, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos.

Nota: entre paréntesis figuran los pesos relativos.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la AIE.

Los resultados de la Tabla 1 muestran una clara tendencia a la convergencia en el consumo energético per cápita de los países de la OCDE. El factor determinante de la reducción en las disparidades ha sido la convergencia experimentada por las intensidades energéticas. Las desigualdades en las intensidades energéticas se han visto reducidas en un 70,6%, pasando de representar el 32,2% de la desigualdad total a representar tan sólo el 14,6%. Expresado en otros términos, el 64,8% de la reducción de las desigualdades en los consumos de energía per cápita se debería a la reducción en las disparidades en intensidad energética entre los países de la OCDE. El resto de la reducción se debería a la evolución del factor interacción, es decir, cada vez sería menor la correlación entre mayores intensidades y mayores PIB per cápita.

En la actualidad, el grueso de las desigualdades se debe a las desigualdades en el PIB per cápita (factor afluencia), que habrían pasado de explicar el 44,8% al 71,6%. Este resultado se explicaría por la fuerte reducción en la contribución a la desigualdad de los otros factores, ya que la desigualdad en este factor apenas habría aumentado su contribución absoluta a la desigualdad.

En consecuencia, dado su protagonismo en la evolución de las desigualdades en el consumo energético, resulta de especial interés conocer los factores que explican esta evolución de las disparidades en la intensidad energética y, en concreto, analizar el papel de la composición de la producción y la eficiencia energética en este proceso, cuestiones que se desarrollan en la sección 3.

A continuación, se ha procedido a descomponer los componentes inter-grupos e intra-grupos llevando a cabo la descomposición establecida en (4) y considerando tres grupos: Norteamérica, Pacífico y Europa<sup>5</sup>. Las Tablas 2 y 3 muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 2. Papel de las Intensidades Energéticas en la explicación de las disparidades entre grupos en consumos energéticos per cápita de los países de la OCDE**

	<b>Disparidades Consumos Energéticos</b>	<b>Componente inter-grupos</b>	<b>Intensidades Energéticas</b>	<b>Afluencia</b>	<b>Interacción</b>
1980	0,2025	0,0722 (35,6%)	0,0291 (40,3%)	0,0091 (12,6%)	0,0340 (47,1%)
1985	0,1820	0,0583 (32,1%)	0,0200 (34,4%)	0,0102 (17,5%)	0,0281 (48,1%)

<sup>5</sup> Siendo un análisis para países de la OCDE, y por tanto países industrializados, se ha optado por una clasificación por zonas geográficas, para analizar los diferentes patrones que se dan en éstas.

1990	0,1588	0,0493 (31,0%)	0,0196 (39,7%)	0,0073 (14,8%)	0,0224 (45,5%)
1995	0,1551	0,0452 (29,2%)	0,0180 (39,9%)	0,0068 (15,0%)	0,0204 (45,1%)
2000	0,1526	0,0453 (29,7%)	0,0151 (33,3%)	0,0080 (17,6%)	0,0223 (49,1%)
2006	0,1315	0,0369 (28,1%)	0,0111 (30,2%)	0,0075 (20,2%)	0,0183 (49,6%)

Nota: entre paréntesis figuran los porcentajes (respecto al total en cursiva, respecto al componente intergrupal el resto). Los grupos son Norteamérica, Pacífico y Europa.

Fuente: elaboración propia a partir de datos AIE.

**Tabla 3. Papel de las Intensidades Energéticas en la explicación de las disparidades intragrupales en consumos energéticos de los países de la OCDE**

	<b>Disparidades Consumos Energéticos</b>	<b>Componente intragrupal</b>	<b>Intensidades Energéticas</b>	<b>Afluencia</b>	<b>Interacción</b>
1980	0,2025	0,1303 (64,4%)	0,0455 (34,9%)	0,0817 (62,7%)	0,0031 (2,4%)
1985	0,1820	0,1236 (67,9%)	0,0406 (32,8%)	0,0871 (70,5%)	-0,0041 (-3,3%)

1990	0,1588	0,1096 (69,0%)	0,0299 (27,3%)	0,0944 (86,2%)	-0,0148 (-13,5%)
1995	0,1551	0,1098 (70,8%)	0,0241 (21,9%)	0,0985 (89,7%)	-0,0128 (-11,6%)
2000	0,1526	0,1073 (70,3%)	0,0167 (15,6%)	0,0943 (87,9%)	-0,0038 (-3,5%)
2006	0,1315	0,0946 (71,9%)	0,0113 (11,9%)	0,0867 (91,6%)	-0,0034 (-3,6%)

Nota: entre paréntesis figuran los porcentajes (respecto al total en cursiva, respecto al componente intergrupal el resto). Los grupos son Norteamérica, Pacífico y Europa.

Fuente: elaboración propia a partir de datos IEA.

Los resultados para los grupos de países seleccionados muestran el papel predominante de las desigualdades intragrupales en la explicación de la desigualdad en los consumos energéticos per cápita. La tendencia es, además, a una reducción importante del peso relativo de la desigualdad inter-grupos, que del 35,6% pasa a explicar únicamente el 28,1% de la desigualdad total. No obstante, teniendo en cuenta que la clasificación se ha hecho por criterios geográficos, no deja de ser significativo que la agrupación escogida sirva para explicar alrededor de la tercera parte de la desigualdad en los consumos energéticos per cápita que se da a lo largo del periodo.

Ambos componentes de la desigualdad, el inter-grupal y el intra-grupal, se ven fuertemente reducidos durante el periodo, lo que explica la fuerte caída en la desigualdad global. El componente intergrupal se ve reducido en 0,353 mientras que el intragrupal en 0,357. En términos porcentuales la caída del componente intergrupal es mucho mayor, al verse reducido a prácticamente la mitad (un 48,9%), mostrando una clara convergencia entre los diferentes grupos de países. No obstante, la convergencia entre los países de cada grupo también ha sido relevante, con una caída en la desigualdad de un 27,4%.

Respecto al componente intergrupal, se puede destacar que la reducción de su valor se explica fundamentalmente por la reducción de la relevancia en las desigualdades del factor intensidad energética, si bien también cabe destacar la fuerte reducción del componente de interacción. Destaca, asimismo en este caso, el menor peso del factor afluencia respecto al análisis de la desigualdad global o al de la desigualdad intra-grupos (pasando de un 12,6% en 1980 a un 20,2% en 2006). Es decir, las diferencias en el PIB per cápita entre los tres grupos de países seleccionados son menos relevantes que las atribuibles a los otros factores en su determinación de las diferencias intergrupales. Otro elemento a destacar es el importante peso del factor interacción que, a pesar de decrecer en términos absolutos, explica cerca de la mitad de la desigualdad. Este valor positivo significativo indica que los grupos con mayor intensidad energética tienden a ser también los que tienen mayor PIB per cápita (sería el caso de Norteamérica), reforzándose ambas desigualdades.

Respecto a la desigualdad intra-grupos, los resultados muestran que el grueso de las desigualdades se explica por el factor afluencia, que aumenta su magnitud (en términos relativos y absolutos) a lo largo del periodo, representando un 91,6% de la desigualdad total en 2006. De nuevo, el factor que explica la fuerte reducción de la desigualdad en los consumos per cápita es la fuerte reducción del componente de intensidades energéticas, cuya contribución a la desigualdad se reduce en un 75,2%, siendo su contribución a la desigualdad intragrupal de tan sólo el 11,9% al final del periodo. Destaca, por otra parte, el peso insignificante del factor de interacción, en contraste con lo encontrado para la desigualdad intergrupal. En este sentido, dentro de los grupos no se correlacionan los mayores niveles de intensidad energética con mayor afluencia, sino más bien al contrario, aunque en muy pequeña magnitud<sup>6</sup>.

En síntesis, lo más destacable en los resultados que muestran las tres tablas, es la fuerte reducción de la contribución a la desigualdad de las disparidades en intensidades energéticas. Si tomamos el subperiodo 1995-2006, empleado

---

<sup>6</sup> Especificaciones alternativas de los grupos llevarían a resultados algo diferentes en la relevancia de los diferentes factores. Por ejemplo, una división de grupos de acuerdo con la renta per cápita llevaría a un cambio en la importancia del componente afluencia en el caso inter e intragrupal, de forma que aumentaría notablemente la contribución de la afluencia a la desigualdad intergrupal y se vería reducida su contribución a la intragrupal. Por otro lado, dada la importancia de la desigualdad en afluencia en la desigualdad en los consumos per cápita, una división de países de acuerdo con la renta también llevaría a una mayor importancia de la desigualdad inter-grupos, respecto a la desigualdad intragrupal.

en el análisis de la siguiente sección, las conclusiones no se ven modificadas. A lo largo del periodo se dan importantes ganancias en la eficiencia el uso de la energía, que se traducen en una menor intensidad energética, y un crecimiento sostenido del PIB per cápita. Se podría interpretar, además, de los resultados, que la difusión de tecnologías eficientes habría sido más relevante dentro de los grupos considerados que entre estos grupos. En el periodo, las desigualdades en el PIB per cápita entre los países de la OCDE no experimentan variaciones significativas.

En el siguiente apartado estudiamos los factores que han llevado a una fuerte reducción de las intensidades energéticas que, como hemos visto, ha causado una importante reducción en las desigualdades del consumo energético per cápita.

### **3. Análisis de los factores explicativos de las desigualdades en las intensidades energéticas**

Las intensidades energéticas vienen definidas como la cantidad de energía consumida por unidad de PIB,  $\frac{E_i}{Y_i}$ . Este factor refleja tanto el grado de eficiencia energética como la estructura sectorial existente en una economía. Así, para un país  $i$  podemos escribir:

$$e_i = \frac{E_i}{Y_i} = \sum_{j=1}^k \left( \frac{E_{ij}}{Y_{ij}} \right) \left( \frac{Y_{ij}}{Y_i} \right) = \sum_{j=1}^k e_{ij} s_{ij} \quad (5)$$

donde los subíndices  $i$  y  $j$  denotan país y sector respectivamente;  $E$  es el volumen de consumo energético;  $Y$  es el PIB;  $e$  es la intensidad energética;  $s$  es el peso de cada sector en la economía del país en cuestión.

De esta manera, es inmediato observar que un país puede mostrar una intensidad energética mayor que la media, bien porque esté especializado de manera diferencial en sectores con elevadas intensidades energéticas, bien porque el país muestre intensidades mayores sector a sector que el promedio o por ambas cosas a la vez. Así, aunque no hubiera ninguna disparidad respecto a la intensidad energética de cada sector en distintos países, las diferencias en intensidades energéticas podrían emerger por el sólo hecho de tener patrones de especialización diferentes.

Para evaluar la relevancia de estos dos factores podemos utilizar como referencia una metodología basada en la técnica elaborada por Esteban (2000) en su análisis de las diferencias en las productividades regionales europeas.

En primer lugar, definimos la intensidad energética promedio como:

$$e = \frac{E}{Y} = \sum_{j=1}^k e_j * s_j \quad (6)$$

donde  $e_j$  y  $s_j$  son la intensidad energética en el sector  $j$  y su peso en términos de VAB en el nivel medio de los países considerados.

Para aislar el papel jugado por la estructura sectorial del país en su intensidad energética podemos expresar (6) como:

$$e_i = \sum_{j=1}^k e_{ij} s_{ij} = \sum_{j=1}^k [(s_{ij} - s_j) + s_j (e_{ij} - e_j) + e_j] \quad (7)$$

Manipulando algebraicamente, esta expresión puede escribirse:

$$e_i - e = \sum_{j=1}^k (s_{ij} - s_j)e_j + \sum_{j=1}^k (e_{ij} - e_j)s_j + \sum_{j=1}^k (e_{ij} - e_j)(s_{ij} - s_j) \quad (8)$$

De este modo, la diferencia en intensidad energética entre el país y el promedio de la muestra (en nuestro caso, una muestra de países de la OCDE) puede descomponerse en tres partes: el primer sumatorio expresa el papel explicativo de la especialización sectorial diferencial del país en cuestión (*componente estructural*); el segundo, refleja el peso atribuible a que el país mantiene, o no, consumos energéticos diferenciales por unidad de producción (*componente de eficiencia energética*); y el tercero captura si el país está especializado diferencialmente en los sectores en los que el país consume más energía por unidad de producción que el promedio de países (*componente asignativo*).

O, de manera simplificada,

$$e_i - e = \pi_i + \gamma_i + \delta_i \quad (9)$$

Donde  $\pi_i$  es el componente estructural;  $\gamma_i$  es el componente de eficiencia energética;  $\delta_i$  es el componente asignativo.

Una vez identificada la manera de extraer el papel de la estructura sectorial en cada país, el siguiente paso es obtener indicaciones sobre su peso en las disparidades internacionales en las intensidades energéticas y su evolución. Para ello, tomamos la expresión (9) como base, estandarizamos todos los sumandos dividiendo por  $e$  y aplicamos una descomposición de la varianza, con lo que nos queda la siguiente expresión:

$$\text{var}\left(\frac{e_i - e}{e}\right) = \text{var}\left(\frac{\pi_i}{e}\right) + \text{var}\left(\frac{\gamma_i}{e}\right) + \text{var}\left(\frac{\delta_i}{e}\right) + 2\text{Cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right) + 2\text{Cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\delta_i}{e}\right) + 2\text{Cov}\left(\frac{\delta_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right) \quad (10)$$

Puede observarse que la medida de dispersión que aparece en el término de la izquierda reúne las principales características requeridas a todo índice de desigualdad satisfactorio (Cowell, 1995). En concreto, es una medida independiente de la escala y que se aproxima a la varianza logarítmica, medida muy utilizada en el campo de la desigualdad y de la convergencia. La varianza puede tomarse tanto en su versión simple, peso homogéneo de las observaciones, o ponderada, en este caso a partir del peso de la producción de cada país. Por coherencia con el uso del índice de Theil, y con el ejercicio llevado a cabo en la sección anterior, los resultados presentados hacen referencia a los cálculos ponderados.

Por otra parte, para determinar la contribución individualizada total de cada componente a la desigualdad internacional en intensidades energéticas, es necesario establecer algún criterio que permita asignar los componentes de correlación a los diferentes factores individuales explicativos. A falta de otras indicaciones, Shorrocks (1983) sugiere la alternativa de asignar de manera

uniforme los componentes interactivos a los diversos factores involucrados. De esta manera, quedaría una descomposición “ limpia” de los componentes interactivos:

$$\text{var}\left(\frac{e_i - e}{e}\right) = \text{var}_a\left(\frac{\pi_i}{e}\right) + \text{var}_a\left(\frac{\gamma_i}{e}\right) + \text{var}_a\left(\frac{\delta_i}{e}\right) \quad (11)$$

donde

$$\text{var}_a\left(\frac{\pi_i}{e}\right) = \text{var}\left(\frac{\pi_i}{e}\right) + \text{cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right) + \text{cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\delta_i}{e}\right) \quad (12)$$

$$\text{var}_a\left(\frac{\gamma_i}{e}\right) = \text{var}\left(\frac{\gamma_i}{e}\right) + \text{cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right) + \text{cov}\left(\frac{\gamma_i}{e}, \frac{\delta_i}{e}\right) \quad (13)$$

$$\text{var}_a\left(\frac{\delta_i}{e}\right) = \text{var}\left(\frac{\delta_i}{e}\right) + \text{cov}\left(\frac{\delta_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right) + \text{cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\delta_i}{e}\right) \quad (14)$$

Una de las cuestiones abiertas a discusión en este tipo de análisis es el número de sectores a considerar en el trabajo aplicado, con lo que parece oportuno dedicar algún comentario al respecto. El empleo de una elevada pormenorización sectorial tendería, *ceteris paribus*, a producir elevados valores del factor estructural, en detrimento del resto. Por el contrario, una excesiva agregación sectorial tendería a arrojar mayores similitudes sectoriales y, por tanto, a reducir el valor empírico de este componente. En nuestro caso, los datos sectoriales sobre consumos energéticos y PIBs están disponibles para catorce ramas de actividad, lo cual se puede considerar un número de ramas razonable para obtener un análisis sectorial provechoso. Por otro lado, la

disponibilidad de información se restringe a 17 países de la OCDE<sup>7</sup>. Éstos suponen algo más del 80% de los consumos energéticos y el PIB del total de países de la OCDE incluidos en el análisis de la sección anterior. Además, los datos disponibles sólo permiten realizar el análisis para la última década. Por otra parte, el número más pequeño de países y los países concretos incluidos hacen menos relevante una descomposición por grupos de países de manera análoga a lo realizado en la sección anterior, de forma que se realiza el análisis para el conjunto de países y no por grupos.

Los sectores incluidos en el análisis son: Siderurgia; Química y petroquímica; Minerales no metálicos; Equipamiento de transporte; Maquinaria; Minería y extracción; Alimentación y tabaco; Papel, pulpa e impresión; Madera y productos de madera; Construcción; Textil y cuero; Industria no-especificada; Comercio y servicios públicos; Agricultura y silvicultura.

La Tabla 4 muestra los cálculos obtenidos mediante la descomposición de la varianza ponderada, en consistencia con el enfoque utilizado en la sección anterior (y el uso del Theil, un índice ponderado), en base a la expresión (10), para la muestra de países OCDE disponibles y los años 1995, 2000 y 2005. La Tabla 5 presenta los resultados tras aplicar la regla de imputación de Shorrocks (1983).

---

<sup>7</sup> Los países incluidos son: Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Italia, Japón, Corea, Luxemburgo, Holanda, Portugal, España, Suecia, Reino Unido y EEUU.

**Tabla 4. Descomposición *shift-share* de las disparidades internacionales en intensidades energéticas en países OCDE**

	<i>Desigualdad global</i>	<i>Comp. estructural</i> $\text{var}\left(\frac{\pi_i}{e}\right)$	<i>Comp. eficiencia</i> $\text{var}\left(\frac{\gamma_i}{e}\right)$	<i>Comp. asignativo</i> $\text{var}\left(\frac{\delta_i}{e}\right)$	Covarianzas		
					$2\text{Cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right)$	$2\text{Cov}\left(\frac{\pi_i}{e}, \frac{\delta_i}{e}\right)$	$2\text{Cov}\left(\frac{\delta_i}{e}, \frac{\gamma_i}{e}\right)$
<b>1995</b>	0,0532	0,0189 (35.4%)	0,0600 (112.8%)	0,0084 (15.8%)	-0,0271 (-50.9%)	0,0104 (19.6%)	0,0174 (-32.7%)
<b>2005</b>	0,0385	0,0232 (60.2%)	0,0274 (71.1%)	0,0054 (13.9%)	-0,0149 (-38.6%)	0,0049 (12.6%)	-0,0074 (-19.3%)

Fuente: elaboración propia a partir de datos de AIE y OCDE.

**Tabla 5. Descomposición *shift-share* de las disparidades internacionales en intensidades energéticas en países OCDE aplicando la regla de Shorrocks**

	<i>Desigualdad global</i>	<i>Comp. estructural</i> $\text{var}\left(\frac{\pi_i}{e}\right)$	<i>Comp. eficiencia</i> $\text{var}\left(\frac{\gamma_i}{e}\right)$	<i>Comp. asignativo</i> $\text{var}\left(\frac{\delta_i}{e}\right)$
<b>1995</b>	0,0532	0,0105 (19.8%)	0,0378 (71.0%)	0,0049 (9.2%)
<b>2005</b>	0,0385	0,0182 (47.3%)	0,0162 (42.2%)	0,0041 (10.6%)

Fuente: elaboración propia a partir de datos de AIE y OCDE.

Los resultados muestran una evolución claramente diferenciada de los diferentes componentes explicativos de las disparidades en intensidades energéticas.

En primer lugar, los datos indican que la reducción experimentada en las disparidades en intensidades energéticas —que, según vimos en el apartado anterior, es la fuerza motriz de la convergencia en consumos energéticos per cápita— hay que atribuirla al efecto del componente de eficiencia energética. Es decir, la reducción en las desigualdades en intensidades energéticas se ha producido por una importante convergencia en los consumos energéticos transversal a los diferentes sectores. Tomando como referencia la asignación de acuerdo con la regla de Shorrocks (Tabla 5), la contribución del componente de disparidad en eficiencia energética se habría reducido en un 57,1%, y habría pasado de explicar el 71% de las desigualdades totales a explicar tan solo un 42,2%.

Por el contrario, el componente estructural ha aumentado su papel en los últimos diez años, atenuando en parte, el importante proceso de convergencia global en intensidades descrito anteriormente. Tras un aumento de su contribución del 73,3%, al final del periodo, pasa a ser el factor más importante en la explicación de las desigualdades totales en intensidad energética entre países, pasando de representar el 19,8 al 47,3% de esta desigualdad.

En cuanto al componente asignativo arroja un valor positivo que, si bien no es demasiado elevado, ha aumentado entre los años considerados. Este resultado significa que se daría cierta tendencia de los países a la especialización en aquellas industrias en las que no se es especialmente eficiente en el uso de

energía respecto al resto de países, lo cual sería una situación poco satisfactoria desde el punto de vista de la eficiencia energética global.

En el Anexo 1 se puede observar la descomposición de los factores *shift-share* individuales en los diferentes componentes. Hay que tener en cuenta que en el cálculo los diferentes países están ponderados según su peso, que en el caso de Estados Unidos sería superior al 40% para ambos periodos.

Según Greening et al. (1997) la mayor parte de la reducción en la intensidad energética observada en los 10 países de la OCDE objeto de su estudio se debería a mejoras en la eficiencia energética en los diferentes sectores, mientras que la composición de la producción habría contribuido o bien a promover o a retrasar los efectos de esas reducciones en los distintos países. En nuestro trabajo se muestra cómo, no únicamente la mejora en la eficiencia energética de los diferentes sectores habría contribuido a la reducción, sino que también habría contribuido notablemente a la tendencia a la igualación en los diferentes países de la OCDE considerados.

Nuestros resultados también serían coherentes con los encontrados en el trabajo de Miketa y Mulder (2005), quienes encuentran evidencia a la convergencia de la productividad de la energía (la inversa de la intensidad energética) para 10 sectores en 56 países (24 industrializados y 32 no industrializados), siendo ésta especialmente relevante en los sectores menos intensivos en energía. No obstante, según Miketa y Mulder (2005) el proceso de convergencia en la intensidad energética de esos sectores se tendería a dar

más bien dentro de algunos grupos de países, persistiendo las diferencias entre diferentes “estados estacionarios” a los que tenderían diferentes grupos de países. Nuestro trabajo muestra cómo la convergencia se daría en el uso de energía sector a sector en diferentes países, si bien los diferentes patrones de especialización habrían atenuado la igualación de la intensidad energética entre países.

#### **4. Conclusiones**

En este trabajo se han analizado las disparidades en intensidades energéticas entre los países OCDE con un doble enfoque. En primer lugar, se ha evaluado su papel como determinantes de las disparidades en consumos energéticos per cápita. En segundo lugar, se ha evaluado el impacto que han tenido las divergentes estructuras sectoriales y las diferentes eficiencias energéticas en los distintos países en dicho patrón.

Los principales resultados obtenidos los podemos sintetizar en dos bloques. En primer lugar, los resultados muestran que la reducción en las diferencias en intensidades energéticas entre países ha jugado un papel fundamental en la reducción en las disparidades en consumos energéticos per cápita en los países de la OCDE. Esta evolución ha conducido a que en el 2006 estas disparidades expliquen menos del 15% de las disparidades globales en consumo energético per cápita, mientras que las diferencias en los niveles de PIB per cápita han pasado a ser el factor que explica actualmente más de un 70% de esas disparidades. Un análisis por grupos geográficos (Europa,

Norteamérica y Pacífico) muestra una mayor relevancia de la reducción de las intensidades energéticas dentro de estos grupos, si bien también se reducen las intensidades entre las zonas geográficas consideradas.

En segundo lugar, el análisis del papel que han jugado la eficiencia energética y las divergencias estructurales en este proceso, realizado a partir de una descomposición *shift-share* de la varianza, muestra la mayor relevancia de la reducción de las desigualdades en intensidad energética sector a sector en los diferentes países, mientras que el componente de especialización sectorial habría contribuido a aumentar las diferencias, sin llegar a contrarrestar el primer efecto. Como consecuencia, la evidencia obtenida indicaría que las diferencias en estructuras capturarían ya cerca de la mitad de las disparidades en intensidades energéticas, muy por encima del papel que jugaban en 1995 en la explicación de las desigualdades.

A partir de los resultados puede interpretarse que las estrategias de difusión de tecnologías y ahorro tendentes a igualar a la baja las intensidades energéticas sector a sector habrían tenido un impacto muy relevante en la reducción de las desigualdades energéticas en el periodo de 10 años analizado, siendo también la principal explicación que llevaría a la reducción en las desigualdades en los consumos per cápita entre países. Aún quedaría un importante camino por recorrer en ese sentido, ya que estas diferencias continúan siendo las más relevantes. No obstante, una política en ese sentido no llevaría a anular las disparidades en intensidades energéticas globales debido a la existencia de patrones de especialización sectorial diferentes y, de hecho, los resultados

muestran cómo ésta especialización ha contribuido de forma creciente en la última década a la desigualdad de intensidad energética entre países. En este sentido, las predicciones de la Teoría Económica sobre los efectos de la globalización y la integración sobre los patrones de especialización y sus disparidades no son concluyentes (Puga, 1999). No obstante, un resultado del estudio que evidenciaría una situación negativa es cierta tendencia relativa a la especialización en aquellas industrias en las que se es menos eficiente —en términos de uso de energía— respecto a otros países, resultado que merece mayor análisis en futuros desarrollos de la presente investigación.

## Referencias

- Agencia Internacional de la Energía (AIE), (2009) *Energy Balances of OECD countries*. AIE, OCDE, París
- Alcántara, V. y Duro, J.A. (2004), “Inequality of energy intensities across OECD countries”, *Energy Policy*, 32, 1257-1260.
- Alcántara, V. y Padilla, E., (2005), “Análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo”, Revista de Economía Crítica, n. 4, julio, 17-37.
- Ang, B.W., (1999), “Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?”, *Energy Policy*, 27, 943-946.
- Cowell, F., (1995), *Measuring Inequality*, Blackwell.
- Duro, J.A. y Padilla, E. (2006), “International inequalities in per capita CO<sub>2</sub> emissions: a decomposition methodology by Kaya factors”, *Energy Economics*, 28, 170-187.
- Esteban, J., (2000), “Regional Convergence in Europe and the Industry Mix: a Shift-Share Analysis”, *Regional Science and Urban Economics*, 30, 353-364.
- Greening, L.A., Davis, W.B., Schipper, L. y Khrushch, M., (1997), “Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries”, *Energy Economics* 19, 375-390.
- Mielnik, O. y Goldemberg, J. (1999): “The evolution of the “carbonization index” in developing countries”, *Energy Policy*, 27, 307-308.

- Miketa, A., y Mulder, P., (2005), "Energy productivity across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors: Patterns of growth and convergence", *Energy Economics*, 27, 429-453.
- Padilla, E. y Serrano, A. (2006), "Inequality in CO<sub>2</sub> emissions across countries and its relationship with income inequality: a distributive approach", *Energy Policy*, 34, 1762-1772.
- Puga, D., (1999), "The rise and fall of regional inequalities", *European Economic Review*, 43, 303-334.
- Roca, J. y Alcántara, V., (2002), "Economic growth, Energy Use, and CO<sub>2</sub> emissions", en Blachwood, J.R. (Ed.) *Energy Research at the Cutting Edge*. Nova Science Publishers, Nueva York, 123-134.
- Shorrocks, A., (1980), "The class of additively decomposable inequality measures", *Econometrica* 48, 613-625.
- Shorrocks, A., (1983), "The Impact of Income Components on the Distribution of Family Incomes", *Quarterly Journal of Economics*, 98, 2, 311-326.
- Sun, J.W., (2002), "The decrease in the difference of energy intensities between OECD countries from 1971 to 1998", *Energy Policy* 30, 631-635.
- Theil, H., (1967), *Economics and Information Theory*, Amsterdam: North Holland.

## Anexo 1

### A1: Componentes por países de la descomposición de factores *shift-share*, año 1995

	$(e_i - e)/e$	$\pi_i/e$	$\gamma_i/e$	$\delta_i/e$
<b>Austria</b>	-20,17%	3,47%	-20,25%	-3,39%
<b>Bélgica</b>	27,18%	19,44%	6,50%	1,23%
<b>Dinamarca</b>	-20,36%	-4,67%	-21,61%	5,92%
<b>Finlandia</b>	110,15%	29,15%	37,92%	43,08%
<b>Francia</b>	-19,94%	-6,85%	-12,20%	-0,89%
<b>Alemania</b>	-20,05%	4,17%	-21,13%	-3,09%
<b>Grecia</b>	-35,33%	-8,58%	-27,75%	1,01%
<b>Italia</b>	-32,49%	9,09%	-39,32%	-2,26%
<b>Japón</b>	2,52%	7,44%	-4,25%	-0,66%
<b>Corea</b>	59,15%	36,97%	45,00%	-22,82%
<b>Luxemburgo</b>	16,25%	4,28%	-24,27%	36,24%
<b>Holanda</b>	11,02%	5,08%	0,09%	5,84%
<b>Portugal</b>	-19,03%	12,66%	-31,38%	-0,31%
<b>España</b>	-28,92%	11,36%	-38,54%	-1,74%
<b>Suecia</b>	74,99%	15,70%	41,94%	17,34%
<b>Estados Unidos</b>	7,99%	-9,48%	21,38%	-3,92%

Fuente: elaboración propia a partir de datos de AIE y OCDE.

### A2: Componentes por países de la descomposición de factores *shift-share*, año 2005

	$(e_i - e)/e$	$\pi_i/e$	$\gamma_i/e$	$\delta_i/e$
<b>Austria</b>	-1,82%	15,26%	-11,86%	-5,23%
<b>Bélgica</b>	24,28%	16,40%	4,67%	3,21%
<b>Dinamarca</b>	-22,01%	-3,12%	-19,01%	0,12%
<b>Finlandia</b>	118,75%	25,24%	46,98%	46,53%
<b>Francia</b>	-25,71%	-9,77%	-15,10%	-0,83%
<b>Alemania</b>	-14,86%	10,00%	-20,49%	-4,37%
<b>Grecia</b>	-35,62%	-2,93%	-36,58%	3,89%
<b>Italia</b>	-19,26%	5,01%	-23,76%	-0,51%
<b>Japón</b>	12,99%	11,21%	5,63%	-3,85%
<b>Corea</b>	48,81%	46,15%	19,40%	-16,73%
<b>Luxemburgo</b>	-17,02%	-10,74%	-11,16%	4,88%
<b>Holanda</b>	15,34%	0,54%	9,78%	5,02%
<b>Portugal</b>	-0,87%	4,13%	-6,41%	1,41%
<b>España</b>	-9,20%	6,91%	-18,28%	2,17%
<b>Suecia</b>	37,44%	12,16%	20,85%	4,43%
<b>Estados Unidos</b>	-0,15%	-10,31%	13,93%	-3,76%

Fuente: elaboración propia a partir de datos de AIE y OCDE.

# Últims documents de treball publicats

NUM	TÍTOL	AUTOR	DATA
09.05	La desigualdad en las intensidades energéticas y la composición de la producción. Un análisis para los países de la OCDE	Juan Antonio Duro Moreno Vicent Alcantara	Maig 2009
09.04	Measuring intergenerational earnings mobility in Spain: A selection-bias-free approach	Maria Cervini Pla	Maig 2009
09.03	The monetary policy rules and the inflation process in open emerging economies: evidence for 12 new EU members	Borek Vasicek	Maig 2009
09.02	Spanish Pension System: Population Aging and Immigration Policy	Javier Vázquez Grenno	Abril 2009
09.01	Sobre los subsistemas input-output en el análisis de emisiones contaminantes. Una aplicación a las emisiones de CH4 en Cataluña	Francisco M. Navarro Gálvez Vicent Alcántara	Març 2009
08.10	The monetary policy rules in EU-15: before and after the euro	Borek Vasicek	Desembre 2008
08.09	Agglomeration and inequality across space: What can we learn from the European experience?	Rosella Nicolini	Desembre 2008
08.08	Labor Supply Response to International Migration and Remittances in the Republic of Haiti	Evans Jadotte	Setembre 2008
08.07	Industrial districts, innovation and I-district effect: territory or industrial specialization?	Rafael Boix	Juny 2008
08.06	Why Catalonia will see its energy metabolism increase in the near future: an application of MuSIASEM	J. Ramos-Martin, S. Cañellas-Bolta	Juny 2008
08.05	Do creative industries cluster? Mapping Creative Local Production Systems in Italy and Spain	Luciana Lazzaretti, Rafael Boix, Francesco Capone	Març 2008
08.04	Los distritos industriales en la Europa Mediterránea: los mapas de Italia y España	Rafael Boix	Febrer 2008
08.03	Different trajectories of exosomatic energy metabolism for Brazil, Chile and Venezuela: using the MSIASM approach	Jesus Ramos-Martin, Nina Eisenmenger, Heinz Schandl	Gener 2008
08.02	An application of MSIASM to Chinese exosomatic energy metabolism	Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Jesus Ramos-Martin	Gener 2008
08.01	Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MUSIASEM): An Outline of Rationale and Theory	Mario Giampietro, Kozo Mayumi, Jesus Ramos-Martin	Gener 2008