

Un modelo Input-output de la energía para la estimación del efecto rebote indirecto en los hogares

Freire González, Jaume

ENT Environment and Management

Dirección: Sant Joan 39, 1, 08800 Vilanova i la Geltrú (Barcelona)

Teléfono : +34938935104 Fax : +34938935104 E-mail: jfreire@ent.cat

Universidad Autònoma de Barcelona

Campus de Bellaterra. Edifici B, 08193 Bellaterra (Barcelona).

Abstract

The rebound effect occurs when an improvement in energy efficiency does not produce all the expected energy savings or, paradoxically, increases energy consumption (Jevons, 1865). This is due to the responses of households and firms to the cost reduction produced by an efficiency improvement. Literature distinguishes direct rebound effect, i.e. that related to the increase in the energy consumption of the energy service itself; indirect, i.e. produced by changes in the demand of other goods and services; and economy-wide effects, due to new equilibriums in prices and quantities. This research presents a methodology for estimating indirect rebound effect of energy efficiency improvements in households using energy Input-output analysis. Considering that, initially, an improvement of energy efficiency in households produces energy savings, the derived monetary savings are used to increase the consumption of the energy service itself (direct rebound effect) and for the consumption of other goods and services that need energy to be produced (indirect rebound effect).

In this context, direct and indirect energy needs, deriving from changes in household consumption patterns can be evaluated using an energy Input-output model in physical terms, reducing the energy savings initially expected. The identification of key sectors in energy consumption from backward linkages coefficients allows observing the magnitude of the rebound effect at best and at worst case scenario.

An application of the model for efficiency improvements in electricity use in households in Catalonia is presented. The construction of the model has been made from Input-output Tables for Catalonia, as well as electricity consumption of the different economic sectors from energy balances.

Keywords: Rebound effect, Energy efficiency, Energy Input-output, Re-spending, Households consumption.

Topic: 9 - Applications of input-output tables.

Resumen

El efecto rebote se produce cuando una mejora de eficiencia energética no produce todo el ahorro energético previsto o paradójicamente incrementa el consumo energético (Jevons, 1865). Esto es debido a las respuestas de hogares y empresas frente a la reducción de costes que supone una mejora de la eficiencia. La literatura distingue entre efecto rebote directo, si después de la mejora aumenta el consumo del propio servicio energético; indirecto, por los cambios en la demanda de otros bienes y servicios; y efectos sobre toda la economía, cuando se producen reequilibrios en precios y cantidades.

En esta investigación se presenta una metodología para la estimación el efecto rebote indirecto de las mejoras de eficiencia energética en los hogares a partir de un análisis Input-output de la energía. Considerando que una mejora de la eficiencia energética en los hogares produce un ahorro energético inicial, el consiguiente ahorro monetario es utilizado para un mayor consumo del propio bien (efecto rebote directo) o para el consumo de otros bienes y servicios que necesitan energía para ser producidos (efecto rebote indirecto).

En este contexto, las necesidades energéticas directas e indirectas de cambios en los patrones de consumo de los hogares pueden ser evaluadas a partir de un modelo Input-output de la energía en términos físicos, reduciendo el ahorro energético inicialmente previsto. La determinación de los sectores clave en el consumo de energía a partir de los coeficientes de arrastre permite contemplar la magnitud del efecto rebote en el mejor y en el peor de los escenarios. Se presenta una aplicación del modelo para las mejoras de eficiencia en el uso de la electricidad en los hogares en Catalunya. La construcción del modelo se ha realizado a partir de las Tablas Input-output de Catalunya, así como de los consumos de electricidad de los diferentes sectores económicos a partir de los balances energéticos.

Palabras clave: Efecto rebote, Eficiencia energética, Input-output de la energía, Responding, Consumo de los hogares.

Área temática: 9 - Aplicaciones de las tablas input-output.

Introducción

Cuando se habla de eficiencia energética, el efecto rebote incluye todos aquellos mecanismos que hacen que las mejoras de eficiencia energética no deriven en los ahorros de energía que se esperaba que se producirían, o incluso que el consumo final de energía sea mayor que el que había antes de la mejora de eficiencia.

Esto se debe a las respuestas de los agentes económicos ante los efectos de las mejoras producidas. Un incremento de la eficiencia en la provisión de un determinado servicio energético produce una reducción del coste efectivo del mismo, que aumenta la renta disponible del agente económico que utilizaba el servicio. El hecho de que se pueda conseguir la misma cantidad de trabajo útil utilizando una menor cantidad de energía, libera una cantidad de recursos económicos que se pueden utilizar incrementando el uso del mismo servicio energético (efecto rebote directo) o consumiendo otros bienes y servicios que también utilizan energía, tanto en su uso como bien de consumo final, como al llevar a cabo su producción (efecto rebote indirecto).

La forma adecuada de evaluar el efecto rebote indirecto no está claramente definida en la literatura, ya que, del mismo modo que sucede con el efecto rebote directo, no ha sido una temática muy desarrollada por la literatura empírica, habiendo diferentes visiones y metodologías de evaluación. Para el caso del efecto rebote indirecto se dispone de menor evidencia empírica que para el caso del efecto rebote directo, lo que genera más incertidumbres en torno a los métodos más adecuados de estimación.

Esta investigación se centra en el desarrollo de una metodología, así como en la evaluación empírica del efecto rebote directo e indirecto estáticos, centrado en las mejoras de eficiencia de la electricidad en los hogares en Catalunya.

Se puede considerar que el efecto rebote indirecto proviene de dos fuentes (Sorrell, 2007):

1. Contenido energético. La energía requerida para producir e instalar las medidas que mejoran la eficiencia energética. Este efecto ocurre antes de que la mejora de eficiencia energética se produzca. Dado que esta fuente de efecto indirecto requiere un análisis específico para cada medida de eficiencia energética, queda fuera del alcance de este trabajo (de contenido más genérico), pero debería considerarse cuando se evalúa el efecto de posibles medidas en materia de eficiencia energética.

2. Efectos secundarios. El consumo indirecto de energía derivado de estas mejoras. Estos son los efectos indirectos que se producen posteriormente a la aplicación de la medida. Estos son objeto de las estimaciones realizadas en esta investigación.

1. Revisión de la literatura empírica del efecto rebote indirecto

La literatura empírica existente sobre efecto rebote indirecto (a menudo mezclado con los efectos sobre toda la economía) se basa principalmente en cuatro grandes tipologías de estudios (Sorrell, 2007):

1. Estudios de elasticidades de sustitución.
2. Estudios de modelaje macroeconómico.
3. Estudios de Modelaje de Equilibrio General computable (MEGC).
4. Estudios de energía, productividad y crecimiento económico.

En este apartado se realiza una breve revisión de la literatura empírica sobre el efecto rebote indirecto así como del análisis Input-output generalizado ambiental, ya que es la metodología a partir de la cual se desarrollan los modelos. Esta tipología de modelización estaría entre los puntos 3 y 4 (es decir, entre los estudios de Modelaje de Equilibrio General computable y los estudios de energía, productividad y crecimiento económico), ya que a pesar de representar una modelización de equilibrio general, presentan características propias, como el hecho de estar contruidos en términos de unidades físicas de energía.

Hay pocos estudios que realicen estimaciones del contenido energético de las medidas que provocan una mejora de la eficiencia energética y estos se encuentran sobre todo focalizados en los usos domésticos.

Algunos autores que han desarrollado y utilizado la metodología Input-output aplicada a la energía han sido Cumberland (1966), Strout (1967), Ayres y Kneese (1969), Bullard y Herendeen (1975), Griffin (1976), Blair (1979), Casla y Wilbur (1984), Proops (1988), entre otros. Recientemente, los desarrollos del análisis input-output y el uso de la energía se han centrado en desarrollar extensiones del marco Input-output de Leontief. Se pueden obtener estimaciones del contenido energético de diversas categorías de bienes y servicios a partir de un análisis Input-output de la energía, de un análisis del ciclo de vida (*life-cycle analysis*, LCA), o una combinación de ambos (Chapman, 1974; Herendeen y Tanak, 1976; Kok *et al.*, 2006).

En algunos estudios, la evidencia empírica del efecto rebote indirecto ha sido orientada hacia efecto renta producido por la introducción de mejoras de eficiencia en servicios energéticos que se encuentran cercanos a la saturación. Este incremento de la renta disponible estimula el consumo y la demanda de energía. Algunos autores han utilizado esta interpretación (Jala, 2002; Carlsson-Kanyama *et al.*, 2005; Cohen *et al.*, 2005; Takase y Kondo, 2005) encontrando que las necesidades indirectas de energía derivadas de la mejora de eficiencia energética en los hogares son mayores que los ahorros directos que han producido esas mismas mejoras.

Un estudio que relaciona directamente los cambios en los patrones de consumo en los hogares con el efecto rebote es el de Druckman *et al.* (2010). A partir de un modelo Input-output casi-multirregional para la economía del Reino Unido, simulan los

efectos sobre las emisiones de CO₂ de cambios en los patrones de consumo de los hogares debidos a determinadas acciones de ahorro de energía llevadas a cabo de manera voluntaria. Concretamente estimaron el efecto "re-spending" de realizar estas acciones. Encontraron un efecto rebote indirecto de entre el 12% y el 512% en el peor de los casos, con unos resultados esperados más probables del 34%, en función de los sectores sobre los que se realizaba el re-spending.

2. Aspectos teóricos y metodológicos para la estimación del efecto rebote indirecto

A partir del marco de análisis Input-output de Leontief,¹ y una matriz de consumos energéticos sectoriales, se pueden establecer vectores de intensidades energéticas para una estructura productiva, en términos de unidades de energía, en relación a las unidades monetarias (Herendeen y Tanak, 1976; Proops, 1988; Alcántara, 1995, entre otros):

$$E = \frac{e}{x} \quad (1)$$

donde e es el vector de consumo total de energía de las diferentes fuentes energéticas, y x es el vector de producciones sectoriales.

$$E = (E_{gj})_{m \times n} \quad \begin{matrix} j = 1, 2, \dots, n \\ g = 1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (2)$$

Cada elemento E_{gj} expresa el consumo de energía de las diversas fuentes energéticas del tipo g (en términos físicos) por unidad de output (en términos monetarios) del sector j .

Por lo tanto, la matriz E representa un conjunto de coeficientes económico-ambientales, tales que:

$$Ex = e \quad (3)$$

Sustituyendo x por la expresión del modelo de Leontief, se obtiene la siguiente expresión:

$$e = E(I - A)^{-1}y \quad (4)$$

Dónde A es la matriz de coeficientes técnicos, la expresión $(I - A)^{-1}$ es la matriz inversa de Leontief y el vector y representa demanda final sectorial.

¹ Para un amplio desarrollo del modelo Input-output de Leontief ver Miller y Blair (2009).

Aislado la matriz de la expresión anterior, que se llamará F :

$$F = E(I - A)^{-1} \quad (5)$$

Se obtiene un operador lineal que transforma un incremento de la demanda final en un incremento del vector de consumos energéticos. Cada elemento de esta matriz F_{ij} (coeficientes de arrastre) representa la cantidad de energía adicional consumida por el sector i y si la demanda final del sector j se incrementa en una unidad, recogiendo los efectos directos e indirectos, es decir, mostrando el potencial de arrastre del sector j en el consumo de energía.

4.1. Modelización re-spending

A nivel teórico se puede argumentar que una mejora de la eficiencia energética en los hogares produciría *ceteris-paribus*, una modificación en los patrones de consumo de las familias. Una vez conocida la renta liberada por el menor gasto monetario en energía (debida a la mejora de eficiencia), se puede observar cómo se modificaría la demanda final del resto de bienes y servicios en los hogares ante este incremento de la renta disponible.

4.1.1. Modificación exógena en los patrones de consumo en los hogares

A continuación se muestra la formalización del efecto rebote directo e indirecto de una modificación de los patrones de consumo de los hogares, independientemente de cuál sea la causa que ha provocado la modificación del patrón. Los desarrollos que se presentan en este apartado son una adaptación propia de los que aparecen en Druckman *et al.* (2010), con la introducción del modelo Input-output de la energía desarrollado en el apartado anterior.

A continuación se obtiene una expresión que define el efecto rebote en este contexto. El efecto rebote se puede expresar como:

$$ER = \frac{\text{Ahorros calculados} - \text{Ahorros reales}}{\text{Ahorros calculados}} \quad (6)$$

Si los ahorros calculados sin tener en cuenta el efecto rebote son H y el consumo de energía adicional por el efecto rebote directo y el efecto re-spending en otros bienes y servicios es E , la variación en el consumo de energía por el efecto re-spending se puede representar como:

$$ER = \frac{\Delta H - (\Delta H - \Delta E)}{\Delta H} = \frac{\Delta E}{\Delta H} \quad (7)$$

Se puede definir el incremento del consumo de energía por re-spending como:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n u_i \Delta x_i p_i + u_s \Delta s \quad (8)$$

donde u_i sería el operador F que transformaría los incrementos del gasto y los ahorros monetarios en consumo energético. En el marco metodológico que se desarrolla en este trabajo, para el caso del gasto final de los hogares, sería el operador del modelo Input-output de la energía, obtenido de la expresión (5).

Partiendo de la siguiente situación de equilibrio en los hogares:

$$y = x_s p_s + \sum_{i=1}^n x_i p_i + s \quad (9)$$

donde y es la renta del hogar o el presupuesto total, x_s es la cantidad del servicio energético (o de energía), p_s es el precio de la energía; x_i la cantidad del bien o servicio i , p_i es el precio del bien o servicio i , y s es el ahorro.

Considerando que:

$$\Delta x_s p_s = \sum_{i=1}^n \Delta x_i p_i \quad (10)$$

Es decir, que el ahorro monetario en consumo energético se reparte entre el resto de sectores. La expresión (9) se puede expresar de la siguiente manera:

$$y = \Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \Delta x_i p_i + s \quad (11)$$

A continuación, definimos una propensión marginal a ahorrar (r) como:

$$r = \frac{s}{y} \quad (12)$$

De esta expresión se obtiene la proporción de la renta ahorrada:

$$\Delta s = r \Delta y \quad (13)$$

De las expresiones (11) y (13), se obtiene:

$$(1-r)y = \Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \Delta x_i p_i \quad (14)$$

Por otro lado, se puede considerar la variación del gasto en un bien o servicio en función de la variación de la renta, a través de la elasticidad renta del gasto ($\eta_y(x_i p_i)$):

$$\eta_y(x_i p_i) = \frac{\Delta x_i p_i}{\Delta y} \frac{y}{x_i p_i} \quad (15)$$

Entonces:

$$\Delta x_i p_i = \eta_y(x_i p_i) \frac{\Delta y}{y} x_i p_i \quad (16)$$

Sustituyendo la expresión (16) en la ecuación (14) se obtiene la siguiente expresión:

$$(1-r)y = \Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) \frac{\Delta y}{y} x_i p_i \quad (17)$$

$$y = \frac{\Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) \frac{\Delta y}{y} x_i p_i}{(1-r)} \quad (18)$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (16):

$$\Delta x_i p_i = \eta_y(x_i p_i) \frac{(1-r)\Delta y}{\Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) \frac{\Delta y}{y} x_i p_i} x_i p_i \quad (19)$$

Utilizando esta expresión y las ecuaciones (8) y (13), se obtiene la siguiente expresión definidora del incremento del consumo de energía por el efecto re-spending:

$$\Delta E = \left(\frac{(1-r)\Delta y}{\Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) \frac{\Delta y}{y} x_i p_i} \right) u_i \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) x_i p_i + u_s r \Delta y \quad (20)$$

Entonces se puede calcular el efecto rebote a partir de la expresión (7), como:

$$ER = \frac{\Delta E}{\Delta H} = \frac{1}{\Delta H} \left(\frac{(1-r)\Delta y}{\Delta x_s p_s + \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) \frac{\Delta y}{y} x_i p_i} \right) u_i \sum_{i=1}^n \eta_y(x_i p_i) x_i p_i + u_s r \Delta y \quad (21)$$

4.1.2. Modificación de los patrones de consumo en los hogares inducida por una mejora de la eficiencia energética

En este apartado se muestran los nuevos desarrollos metodológicos que se han realizado en este trabajo para la estimación del efecto rebote directo e indirecto estáticos debido a una modificación de los patrones de consumo de los hogares, cuando esta modificación ha sido causada por una mejora de la eficiencia energética.

En el contexto de la modelización re-spending expuesta, se parte de la siguiente situación de equilibrio:

$$y = x_E p_E + \sum_{i=1}^n x_i p_i + s \quad (22)$$

donde y es la renta del hogar o el presupuesto total, x_E es la cantidad del servicio energético (o de energía); p_E es el precio de la energía; x_i la cantidad del bien o servicio i , p_i es el precio del bien o servicio i , y s es el ahorro.

Suponiendo que la renta, el precio de la energía y el ahorro se mantienen constantes, se puede expresar el modelo aislando el nuevo gasto del resto de bienes y servicios:

$$\sum_{i=1}^n x_i p_i' = y - x_E p_E' - s \quad (23)$$

También se puede expresar como:

$$\sum_{i=1}^n x_i p_i' = y - \left(1 + \frac{\Delta x_E}{x_E} \right) x_E p_E - s \quad (24)$$

La expresión (24) es la ecuación general de equilibrio para el cálculo del gasto que realizan el resto de sectores económicos ante una variación del gasto monetario en el sector energético. A partir de esta se pueden determinar multitud de escenarios de gasto del resto de sectores.

Dado que se realiza la hipótesis de que la variación del gasto de los hogares en el sector energético viene dada por la mejora de la eficiencia y el efecto rebote directo

correspondiente, a continuación se muestran los desarrollos que permiten expresar el modelo en estos términos.

Bajo las hipótesis de exogeneidad y simetría, se puede estimar el efecto rebote directo de un servicio energético a partir de la elasticidad precio de la demanda de energía, a partir de la relación (Khazzoom, 1980; Berkhout *et al.*, 2000; Binswanger, 2001; Sorrell, 2007):

$$\eta_{\varepsilon}(E) = -\eta_{P_s}(x_s) - 1 \quad (25)$$

Dado que la propia definición del efecto rebote es:

$$\eta_{\varepsilon}(E) = \frac{\Delta x_E}{x_E} \frac{\varepsilon}{\Delta \varepsilon} \quad (26)$$

Se puede aislar la variación porcentual del consumo de energía, quedando la expresión:

$$\frac{\Delta x_E}{x_E} = \eta_{\varepsilon}(E) \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \quad (27)$$

Incorporando la variación porcentual de la ecuación (27) en la ecuación (24) y sustituyendo la elasticidad eficiencia energética de la demanda de energía por la expresión (25), queda la expresión:

$$\sum_{i=1}^n x_i p_i' = y - \left[1 + \left(-\eta_{P_s}(x_s) - 1 \right) \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \right] x_E p_E - s \quad (28)$$

A partir de esta expresión, y bajo las hipótesis de exogeneidad y simetría (Sorrell, 2007), para la derivación del efecto rebote directo, se pueden construir varios escenarios re-spending a partir del efecto rebote directo para el consumo de energía y de la variación porcentual de eficiencia energética que reflejen nuevos patrones de consumo. Estos deben ser tales que la suma del nuevo gasto en cada uno de los bienes y servicios cumpla las condiciones establecidas en la ecuación (28).

3. Estimaciones del efecto rebote indirecto del consumo de electricidad en los hogares en Catalunya

En este apartado se ha desarrollado empíricamente el modelo mostrado para Catalunya. A partir de la construcción de varios escenarios y realizar simulaciones, se obtienen estimaciones del efecto rebote directo e indirecto estáticos de las mejoras de eficiencia producidas en los aparatos que utilizan energía eléctrica en los hogares en Catalunya.

Para poder construir los modelos mencionados se han obtenido, por un lado, datos anuales para el período 2000-2008 del consumo de energía eléctrica en Catalunya

por sectores económicos, de las estadísticas y balances energéticos que elabora el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de España.² Por otra parte, se han utilizado las Tablas Input-output 2005 publicadas por el Instituto de Estadística de Catalunya (IDESCAT) (Idescat, 2007). Finalmente se han obtenido los valores del efecto rebote directo para la electricidad en los hogares en Catalunya estimados por Freire González (2010).

5.1. Escenarios para las simulaciones

A continuación se definen los escenarios de simulación elegidos una vez construido el modelo para Catalunya.

A. Escenario de referencia: escenario que no considera el efecto rebote directo ni indirecto. Se ha utilizado para calcular el efecto rebote por comparación con los otros escenarios.

B. Escenario elasticidad-renta: una vez producida la mejora de eficiencia en los hogares, este escenario contempla la redistribución de los ahorros monetarios logrados en función de las elasticidades-renta de la demanda de cada sector.

C. Escenario proporcional: una vez producida la mejora de eficiencia en los hogares, este escenario contempla la redistribución de los ahorros monetarios logrados a partir de la proporción de gasto que supone cada sector sobre el total de gasto que realizan los hogares.

5.2. Resultados de las simulaciones

Para obtener estimaciones del efecto rebote directo más indirecto estáticos, se ha comparado el consumo total de electricidad inducido por el escenario basado en elasticidades-renta y por el escenario proporcional en relación al consumo de electricidad del escenario de referencia, que no contempla efecto rebote, tal y como muestra la expresión (7) (variación inicialmente esperada del consumo de electricidad).

Los escenarios escogidos para la simulación proporcionan un efecto rebote directo e indirecto estáticos de entre el 55,79% (escenario proporcional) y el 56,47% (escenario basado en elasticidades-renta) en el corto plazo, y entre el 64,77% (escenario proporcional) y el 65,31% (escenario basado en elasticidades-renta) en el largo plazo, lo que implica que una mejora de la eficiencia de la electricidad en los hogares catalanes que debiera suponer un ahorro de electricidad de 10 unidades, acabaría produciendo un ahorro de entre 4,4 y 4,5 unidades en el corto plazo y de entre 3,5 y 3,6 unidades en el largo plazo.

² Los datos mencionados pueden encontrarse en:
<http://www.mitvc.es/energia/balances/Paginas/Index.aspx>.

4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

En esta investigación se han analizado los efectos de una mejora de la eficiencia en el uso de la electricidad en los hogares desde una vertiente estructural estática, es decir, sin considerar los efectos de la propia mejora sobre cambios en la estructura productiva, la productividad y el crecimiento económico. El análisis realizado estaría en consonancia con los estudios existentes sobre análisis del ciclo de vida a partir del análisis Input-output, ya que se analiza, en un marco estático de equilibrio general, la energía necesaria de un nuevo patrón de consumo obtenido a partir de las mejoras de eficiencia energética.

El único estudio similar que se conoce que calcula el efecto rebote directo e indirecto a partir de modelización Input-output y un modelo re-spending es el caso de Druckman *et al.* (2010), pero a diferencia del presente estudio, en aquel se calcula el efecto rebote derivado de cambios en los patrones de consumo voluntariamente adoptados por los hogares, mientras que en la presente investigación, la variación de los patrones de consumo es inducida por una mejora de la eficiencia en la electricidad en los hogares. Encontraron unos resultados de entre el 12% y el 512%, para los casos extremos, con unos resultados más probables del 34%, más bajos que los encontrados en el presente trabajo.

En futuras investigaciones sería necesario mejorar las hipótesis realizadas respecto al comportamiento de los hogares a la hora de tomar decisiones de consumo. Para obtener mejores aproximaciones al efecto rebote directo e indirecto estáticos es necesario obtener escenarios re-spending que se ajusten a la realidad de la economía objeto de análisis. Esto podría realizarse a través de la estimación de modelos (*Almost Ideal Demand System*, AIDS), realizando estimaciones de las elasticidades renta / cruzadas entre el precio de los servicios energéticos (o directamente la mejora de la eficiencia energética, en caso de existir datos disponibles) y la demanda del resto de bienes y servicios de la economía. La falta de suficientes datos (o de su correspondencia con los datos de la contabilidad regional) hace que no sea posible un análisis de este tipo para Catalunya.

A nivel teórico también se tendría que desarrollar con mayor profundidad y modelizar el papel del ahorro, así como el comportamiento de las decisiones entre ahorro e inversión, y sus consecuencias, tanto a nivel microeconómico como macroeconómico.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a ENT Environment and Management las facilidades ofrecidas en el desarrollo de la presente investigación, y especialmente a Ignasi Puig Ventosa y a Marta Jofra Sora por su ayuda y comentarios.

Referencias

- Alcántara, V. (1995) **Economía y contaminación atmosférica: hacia un nuevo enfoque desde el análisis Input-output**. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Ayres, R.U., A.V. Kneese (1969) Pollution, Consumption, and Externalities, **American Economic Review**, LIX, 282–296.
- Berkhout, P. H., Muskens, J. C., J. W. Velthuisen (2000) Defining the rebound effect, **Energy Policy**, 28, pp. 425–432.
- Binswanger, M. (2001) Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?, **Ecological Economics** 36 (1), pp. 119–132.
- Blair, P. (1979). **Multiobjective regional energy planning**, (Boston MA: Martinus Nijhoff).
- Bullard, C. W., R. A. Herendeen (1975) The energy cost of goods and services. **Energy Policy** 3 (4), pp. 268–278.
- Carlsson-Kanyama, A., Engstrom, R., R. Kok (2005) Indirect and direct energy requirements of city households in Sweden, **Journal of Industrial Ecology**, 9 (1-2), pp. 221–236.
- Casler, S., S. Wilbur (1984) Energy input-output analysis, a simple guide, **Resources and Energy** 6, pp. 187–201.
- Chapman, P. (1974) Energy costs: a review of methods, **Energy Policy**, 2 (2), pp. 91–103.
- Cohen, C., Lenzen, M., R. Schaeffer (2005) Energy requirements of households in Brazil. **Energy Policy**, 33, pp. 555–562.
- Cumberland, J.H. (1966) A regional Interindustry model for analysis of development objectives. **Papers of the regional science association**, 17, pp. 65-94.
- Druckman, A., Chitnis, M., Sorrell, S., T. Jackson (2010) **An investigation into the rebound and backfire effects from abatement actions by UK households**. Working Paper Series 05-10, University of Surrey.
- Freire González, J. (2010) Empirical evidence of direct rebound effect in Catalonia. **Energy Policy** 38 (5), pp. 2309–2314.
- Griffin, J. (1976) **Energy Input-output modelling**. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute, November.
- Herendeen, R., J. Tanak (1976) The energy cost of living. **Energy**, 1(2), pp. 165–78.
- Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat) (2007) **Les Taules Input-output de Catalunya 2001**. Generalitat de Catalunya, Barcelona.

- Jalas, M. (2002) A time use perspective on the materials intensity of consumption. **Ecological Economics** 41 (1), pp. 109–123.
- Khazzoom, J. D. (1980) Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances. **Energy Journal**, 1, pp. 21–39.
- Kok, R., R. M. J. Benders, H. C. Moll (2006) Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input–output energy analysis: A comparison of methods and a discussion of results. **Energy Policy**, 34(17), pp. 2744–61.
- Miller, R.E, P.D. Blair (2009) **Input-output analysis: foundations and extensions**, 2nd edition. (Cambridge University Press, New York).
- Proops, J. L. R. (1988). **Energy intensities, input-output analysis and economic development**, en: “Input-Output Analysis: current developments”, Ciascini.
- Sorrell, S. (2007) *The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. UK Energy Research Centre. October, 2007.
- Strout, A. (1967) **Technological change and U.S. energy consumption**. Tesis doctoral, University of Chicago.
- Takase, K.Y., Kondo, K., A. Washizu (2005) An analysis of sustainable consumption by the waste input–output model. **Journal of Industrial Ecology**, 9 (1-2), pp. 201–219.